

# PHYSIQUE

2<sup>ème</sup> année de l'enseignement secondaire  
**Technologie de l'informatique**

## AUTEURS

<b>Ardaoui KOUAS</b>	Inspecteur des écoles préparatoires et des lycées
<b>M'hamed EL GHADHAB</b>	Inspecteur des écoles préparatoires et des lycées
<b>Mahmoud GAZZAH</b>	Conseiller pédagogique
<b>Mohamed TRABELSI</b>	Professeur principal

## EVALUATEURS

<b>Ftough DAOUD</b>	Inspecteur général de l'éducation
<b>Slaheddine MIMOUNI</b>	Inspecteur des écoles préparatoires et des lycées
<b>Abdelhafidh GHARBI</b>	Professeur universitaire

# AVANT – PRO

---

*Le* présent ouvrage de physique est destiné aux élèves de 2<sup>ème</sup> année secondaire, filière technologie de l’informatique. Il est conforme au programme officiel et répond aux nouvelles orientations du système éducatif.

Il est conçu de façon à :

- ✧ faire acquérir aux élèves des connaissances structurées et des savoir-faire rigoureux pouvant servir de base pour l’enseignement scientifique ultérieur;
- ✧ les motiver en leur proposant des démarches qui s’appuient sur leur environnement familial.

*Visant* à la fois la construction du savoir et le développement de la dextérité manuelle chez les apprenants, la plupart des activités proposées sont expérimentales et peuvent être traitées sous forme de travaux pratiques ou cours.

*A* la fin de certaines leçons, les élèves trouveront un exercice corrigé destiné à les aider à mieux maîtriser la matière étudiée.

*Le* manuel propose aussi des activités documentaires permettant une ouverture pluridisciplinaire sur l’histoire des sciences, l’analyse des textes scientifiques et les problèmes de consommation ou d’environnement.

A propos de l’évaluation, on distinguera trois niveaux de difficultés :

- ✧ la simple restitution du cours, dans la rubrique “Est-ce que je connais ? ”
- ✧ l’aptitude à appliquer le cours, dans la rubrique “Est-ce que je sais appliquer ? ”
- ✧ l’aptitude à raisonner dans la rubrique “ Est-ce que je sais raisonner ? ”

*Nous* espérons qu’ainsi conçu ce manuel de physique, où les intentions scientifiques et pédagogiques se soutiennent mutuellement, rendra un service efficace aux élèves comme à leurs professeurs.

*Les* auteurs accueilleront, avec le plus grand intérêt, les remarques et les suggestions des collègues, susceptibles de l’améliorer et les en remercient d’avance.

---

L E S   A U T E U R S

# SOMMAIRE

## SOMMAIRE

	<b>Thème 1 : Circuits électriques et électroniques</b>	10
<b>Chapitre 1 :</b>	<b>Puissance et énergie électriques</b>	12
<b>Chapitre 2 :</b>	<b>Conductibilité électrique</b>	33
<b>Chapitre 3 :</b>	<b>Caractéristiques des dipôles passifs et actifs</b>	47
	3-1- Caractéristiques des dipôles récepteurs passifs	
	3-2- Caractéristiques des dipôles récepteurs actifs	
	3-3- Caractéristiques des dipôles générateurs	
	3-4- Point de fonctionnement	
<b>Chapitre 4 :</b>	<b>La diode</b>	99
<b>Chapitre 5 :</b>	<b>Le transistor</b>	110
	5-1- Le transistor bipolaire	
	5-2- Caractéristiques électriques d'un transistor NPN monté en émetteur commun	
	5-3- Fonctions d'un transistor	
<b>Chapitre 6 :</b>	<b>Courant alternatif</b>	178
	6-1- Tension alternative	
	6-2- Le courant du secteur	
	6-3- Adaptation: le transformateur	
	6-4- Redressement du courant alternatif	
	<b>Thème 2 : Forces, mouvements et pression</b>	232
<b>Chapitre 1 :</b>	<b>Forces et équilibre</b>	234
	1-1- Equilibre d'un solide soumis à trois forces coplanaires et non parallèles	
	1-2- Equilibre d'un solide assujéti à tourner autour d'un axe fixe	
<b>Chapitre 2 :</b>	<b>Mouvements d'un point matériel : Etude cinématique</b>	286
	2-1- Mouvement rectiligne uniformément varié	
	2-2- Mouvement circulaire uniforme.	
<b>Chapitre 3 :</b>	<b>Pression</b>	304
	3-1- Principe fondamental de l'hydrostatique	
	3-2- Pression atmosphérique	
	<b>Thème 3 : Energie et contrôle</b>	338
<b>Chapitre 1 :</b>	<b>Energie cinétique - Energies potentielles- Energie thermique</b>	340
	1-1- Energie cinétique et énergies potentielles	
	1-2- Energie thermique	
<b>Chapitre 2 :</b>	<b>Travail et puissance</b>	371
	<b>Thème 4 : Lumière</b>	390
<b>Chapitre 1 :</b>	<b>Réflexion de la lumière</b>	392
<b>Chapitre 2 :</b>	<b>Réfraction de la lumière</b>	409

**PROGRAMME DE SCIENCES PHYSIQUES  
POUR LES ÉLÈVES DE 2<sup>ÈME</sup> ANNÉE SECONDAIRE  
FILIÈRE TECHNOLOGIE DE L'INFORMATIQUE.**

**I -CIRCUITS ELECTRIQUES ET ELECTRONIQUES**

Objectifs spécifiques	Contenu
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Appliquer la relation <math>P = U.I</math> pour déterminer la puissance électrique mise en jeu dans une portion de circuit électrique.</li> <li>- Appliquer la relation <math>W = P. \Delta t</math> pour déterminer l'énergie électrique mise en jeu dans une portion de circuit pendant une durée <math>\Delta t</math></li> <li>- Exprimer l'énergie électrique en joule et en kilowatt-heure.</li> <li>- Lire une facture de consommation d'énergie électrique de la STEG</li> <li>- Distinguer un récepteur actif d'un récepteur passif.</li> </ul>	<p><b>I-Puissance et énergie électriques</b></p> <p><b>I -1.</b> Puissance : <math>P = U.I</math> ; unité internationale: le watt (W)</p> <p><b>I -2.</b> Relation entre énergie et puissance: <math>W = P.\Delta t</math></p> <p><b>I -3.</b> Effet Joule: Intérêts et inconvénients</p> <p><b>I -4.</b> Récepteurs actifs et récepteurs passifs</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comparer des conductibilités électriques.</li> <li>- Mesurer une résistance électrique avec un ohmmètre.</li> </ul>	<p><b>II- Conductibilité électrique</b></p> <p><b>II -1.</b> Bons et mauvais conducteurs</p> <p><b>II -2.</b> Notion de résistance électrique</p> <p><b>II -3.</b> Influence de la température</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Construire point par point ou acquérir éventuellement à l'ordinateur la caractéristique d'un dipôle.</li> <li>- Reconnaître un conducteur ohmique et particulièrement le résistor par l'aspect de sa caractéristique <math>U = f(I)</math>.</li> <li>- Expliquer le principe de fonctionnement du rhéostat ou du potentiomètre.</li> <li>- Appliquer la loi d'Ohm relative à un conducteur ohmique pour calculer l'une des grandeurs I, U et R connaissant les deux autres.</li> <li>- Lire la valeur de la résistance d'un conducteur ohmique en utilisant le code des couleurs.</li> <li>- Déterminer la résistance du dipôle équivalent à l'association de conducteurs ohmiques en série, en parallèle et à l'association mixte.</li> <li>- Appliquer la loi de Joule.</li> <li>- Tracer la caractéristique <math>U = f(I)</math> d'un récepteur actif.</li> <li>- Appliquer la loi d'Ohm relative à un récepteur actif.</li> <li>- Calculer le rendement d'un récepteur actif.</li> <li>- Tracer la caractéristique <math>U = f(I)</math> d'un générateur.</li> <li>- Mesurer la f.e.m. E d'un générateur.</li> </ul>	<p><b>III- Caractéristiques intensité-tension de dipôles électriques</b></p> <p><b>III -1.</b> Récepteurs passifs</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tracé de la caractéristique <math>U=f(i)</math> d'une lampe à incandescence, d'une diode et d'un résistor</li> <li>- Loi d'Ohm relative à un conducteur ohmique</li> <li>- Associations de résistors en série et en parallèle.</li> <li>- Loi de Joule.</li> </ul> <p><b>III -2.</b> Récepteurs actifs</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tracé de la caractéristique <math>U=f(I)</math></li> <li>- Loi d'Ohm relative à un récepteur actif</li> <li>- Puissance utile et rendement</li> </ul> <p><b>III -3.</b> Dipôle générateur</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tracé de la caractéristique <math>U=f(I)</math>.</li> <li>- Loi d'Ohm relative à un générateur.</li> <li>- Puissance utile et rendement.</li> <li>- Associations de générateurs : <ul style="list-style-type: none"> <li>* en série</li> <li>* en parallèle</li> <li>* en opposition:</li> </ul> </li> </ul> <p>Charge d'une batterie</p> <p><b>III -4.</b> Adaptation d'un dipôle récepteur à un dipôle générateur en utilisant</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- la méthode graphique</li> <li>- la méthode analytique : loi de Pouillet</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Appliquer la loi d'Ohm relative à un générateur.</li> <li>- Calculer le rendement d'un générateur.</li> <li>- Caractériser le générateur équivalent à une association de générateurs en série et à une association en parallèle.</li> <li>- Déterminer le point de fonctionnement d'un circuit électrique</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tracer la caractéristique <math>I = f(U)</math> d'une diode.</li> <li>- Linéariser la caractéristique d'une diode.</li> <li>- Déterminer graphiquement le point de fonctionnement d'une diode.</li> </ul>	<p><b>IV. La diode</b>  <b>IV.1</b> Constitution  <b>IV.2</b> Caractéristique <math>I = f(U)</math> : tracé et linéarisation  <b>IV.3</b> La diode zéner  - Description et symbole  - Caractéristique <math>I = f(U)</math>  - Application : stabilisation d'une tension ou d'un courant.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distinguer un transistor NPN d'un transistor PNP .</li> <li>- Réaliser un montage en émetteur commun d'un transistor NPN.</li> <li>- Reconnaître les différents modes de fonctionnement d'un transistor.</li> <li>- Tracer les caractéristiques de transfert d'entrée et de sortie d'un transistor NPN monté en émetteur commun.</li> <li>- Déterminer le point de fonctionnement d'un transistor à l'aide de son réseau de caractéristiques.</li> <li>- Calculer le coefficient d'amplification en courant d'un transistor.</li> <li>- Réaliser un montage électronique en vue d'une application pratique simple.</li> <li>- Analyser une chaîne électronique.</li> </ul>	<p><b>V. Le transistor</b>  <b>V-1.</b> Constitution, symboles et modes de montage :  Le transistor NPN et le transistor PNP  <b>V-2.</b> Modes de fonctionnement d'un transistor NPN : effet transistor  - Transistor bloqué  - Transistor passant  - Transistor saturé  <b>V-3.</b> Caractéristiques d'un transistor NPN  - Caractéristique d'entrée :  <math>V_{BE} = f(I_B)</math> avec <math>V_{CE}</math> constante  - Caractéristique de transfert :  <math>I_C = f(I_B)</math> avec <math>V_{CE}</math> constante  - Caractéristique de sortie  <math>I_C = f(V_{CE})</math> avec <math>I_B</math> constante  <b>V-4.</b> Polarisation d'un transistor avec un seul générateur.  <b>V-5.</b> Fonctions d'un transistor  - Fonction analogique : amplification de signaux.  - Fonction logique : la commutation  <b>V-6.</b> Application : les détecteurs.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reconnaître une tension variable.</li> <li>- Déterminer la période et la fréquence d'une tension périodique.</li> <li>- Reconnaître une tension alternative.</li> <li>- Mesurer à l'aide d'un voltmètre une tension.</li> <li>-Reconnaître une tension alternative sinusoïdale.</li> <li>- Donner les caractéristiques de la tension du secteur.</li> <li>- Reconnaître les dangers du courant du secteur et appliquer les règles de sécurité.</li> <li>-Utiliser à bon escient un transformateur.</li> <li>- Calculer le rapport en tension et celui en intensité d'un transformateur.</li> <li>- Schématiser et réaliser un montage permettant de redresser un courant alternatif.</li> </ul>	<p><b>VI. -Courant alternatif</b>  <b>VI -1.</b> Tension alternative : période et fréquence, mesure d'une tension efficace  <b>VI -2.</b> Le courant du secteur    <b>VI -3.</b> Adaptation:  le transformateur, autre exemple de quadripôle.    <b>VI-4.</b> Redressement du courant alternatif</p>

## II - FORCES, MOUVEMENTS ET PRESSION

Objectifs spécifiques	Contenu
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distinguer un système indéformable d'un système déformable.</li> <li>- Identifier les forces intérieures et les forces extérieures appliquées à un système.</li> <li>- Etablir expérimentalement la relation entre trois forces coplanaires et non parallèles auxquelles est soumis un solide en équilibre.</li> <li>- Appliquer la condition d'équilibre d'un solide soumis à trois forces coplanaires et non parallèles.</li> <li>- Calculer le moment d'une force par rapport à un axe fixe qui lui est orthogonal.</li> <li>- Appliquer le théorème des moments.</li> <li>- Expliquer le principe de fonctionnement d'une machine simple.</li> </ul>	<p><b>I. Forces et équilibre</b></p> <p><b>I-1.</b> Système mécanique: définitions du point matériel, du système matériel, du système indéformable et du système déformable.</p> <p><b>I-2.</b> Equilibre d'un solide soumis à trois forces coplanaires et non parallèles Application à la détermination des forces de frottement</p> <p><b>I-3.</b> Equilibre d'un solide assujéti à tourner autour d'un axe fixe</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Moment d'une force par rapport à un axe fixe</li> <li>• Moment d'un couple de forces</li> <li>• Théorème des moments</li> </ul> <p><b>Applications :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Machines simples (leviers, poulie à axe fixe, treuil</li> <li>* Balance Roberval</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reconnaître un mobile en mouvement rectiligne uniformément varié.</li> <li>- Reconnaître un mobile en mouvement circulaire uniforme.</li> <li>- Déterminer la vitesse angulaire d'un mobile en mouvement circulaire uniforme ainsi que sa période.</li> </ul>	<p><b>II. Le mouvement d'un point matériel : étude cinématique</b></p> <p><b>II-1.</b> Mouvement rectiligne uniformément varié</p> <p><b>II-2.</b> Mouvement circulaire uniforme</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vitesse angulaire</li> <li>- Période et fréquence</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Appliquer le principe fondamental de l'hydrostatique.</li> <li>- Mettre en évidence l'existence de la pression atmosphérique</li> <li>- Lire une carte météorologique pour prévenir le temps qu'il fera.</li> </ul>	<p><b>III. Pression</b></p> <p><b>III-1.</b> Pression en un point d'un liquide</p> <p><b>III-2.</b> Principe fondamental de l'hydrostatique</p> <p><b>III-3.</b> Pression atmosphérique</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mise en évidence</li> <li>- Prévisions météorologiques</li> </ul> <p>Application aux vases communicants</p>

### III -ENERGIE ET CONTRÔLE

Objectifs spécifiques	Contenu
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reconnaître les facteurs dont dépend l'énergie cinétique.</li> <li>- Reconnaître les facteurs dont dépend l'énergie potentielle de pesanteur et l'énergie potentielle élastique.</li> <li>- Distinguer les différents effets d'un transfert d'énergie par chaleur d'un système vers un autre.</li> <li>- Différencier entre énergie thermique et température.</li> <li>- Calculer le travail d'une force constante au cours d'un déplacement linéaire et au cours d'un déplacement quelconque.</li> <li>- Distinguer un travail moteur d'un travail résistant.</li> <li>- Appliquer la formule de la puissance moyenne</li> </ul> $P = \frac{W}{\Delta t}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>- Calculer le rendement de machines simples.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>I. Energie cinétique</b> et facteurs dont elle dépend</li> <li><b>II. Energies potentielles</b> (de pesanteur et élastique) et facteurs dont elles dépendent</li> <li><b>III. Energie thermique</b> : effets et modes de propagation</li> <li><b>IV. Le travail : autre mode de transfert d'énergie</b></li> <li><b>IV-1</b> Définition du travail, unité : le joule (J)</li> <li><b>IV-2</b> Travail d'une force constante</li> <li><b>V Puissance et rendement</b></li> <li><b>V-1</b> Définition de la puissance moyenne, unité: le watt W</li> <li><b>V-2</b> Puissance des machines simples et rendement.</li> </ul>

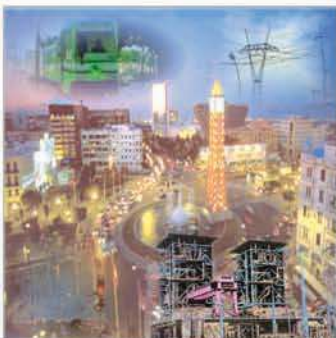
### IV -LUMIÈRE

Objectifs spécifiques	Contenu
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Appliquer les lois de Descartes relatives à la réflexion au tracé de la marche des rayons lumineux et à la construction de l'image donnée par un réflecteur plan.</li> <li>- Appliquer les lois de Descartes relatives à la réfraction au tracé de la marche des rayons lumineux.</li> <li>- Expliquer le transport de la lumière par une fibre optique.</li> <li>- Expliquer la dispersion de la lumière blanche par un prisme.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>I. Réflexion de la lumière</b></li> <li><b>I-1.</b> Définition</li> <li><b>I-2.</b> Lois de Descartes</li> <li><b>I-3.</b> Principe du retour inverse de la lumière.</li> <li><b>I-4.</b> Image d'un objet réel et celle d'un objet virtuel données par un miroir plan.</li> <li><b>II. Réfraction de la lumière</b></li> <li><b>II-1.</b> Définition</li> <li><b>II-2.</b> Lois de Descartes.</li> <li><b>II-3.</b> Réfraction limite et réflexion totale.</li> <li><b>II-4.</b> Applications: <ul style="list-style-type: none"> <li>-Les fibres optiques.</li> <li>-Dispersion de la lumière blanche par un prisme.</li> </ul> </li> </ul>

# J'APPRENDS À UTIL

## Chapitre

### Puissance et énergie électriques



Par ses 20 centrales électriques et son réseau interconnecté avec les pays du Maghreb et de l'Europe, la STEG produit chaque année une énergie électrique environ de 10.000 GWh.

Photo  
du chapitre

- \* Les objectifs
- \* Les prérequis

### Equilibre d'un solide soumis à trois forces coplanaires et non parallèles

#### Je dois être capable :

- ♦ de distinguer un système indéformable d'un système déformable.
- ♦ d'identifier les forces intérieures et les forces extérieures appliquées à un système.
- ♦ d'établir expérimentalement la relation entre trois forces coplanaires et non parallèles auxquelles est soumis un solide en équilibre.
- ♦ d'appliquer la condition d'équilibre d'un solide soumis à trois forces coplanaires et non parallèles.

#### Je dois d'abord tester mes acquis :

- 1- Consulter le dictionnaire pour définir le mot « statique ».
- 2- Quelle est dans le système international l'unité de la valeur d'une force ?
- 3- Citer des exemples de force de contact, de force à distance et de force de liaison.
- 4- Recopier et compléter les phrases suivantes.
  - Lorsque deux corps (A) et (B) interagissent, (A) exerce sur (B) une force notée  $F_{A \rightarrow B}$  et ..... exerce sur ..... une force notée  $F_{B \rightarrow A}$ .
  - Les forces  $F_{A \rightarrow B}$  et  $F_{B \rightarrow A}$  constituent ..... de l'interaction.
- 5- Répondre par vrai ou faux en justifiant la réponse.
  - Un solide soumis à deux forces directement opposées est obligatoirement immobile.
  - Le poids d'un corps est l'un des éléments d'une interaction.
  - Un fil permet de transmettre à une de ses extrémités, la force subie par l'autre extrémité.
- 6- Un solide repose sur un plan horizontal. La réaction du plan est :
  - verticale, dirigée vers le bas
  - verticale, dirigée vers le haut

Contenu  
du thème

## Contenu du thème

- Chapitre 1 : **Energie cinétique.**  
**Energies potentielles (de pesanteur et élastique).**  
**Energie thermique.**
- Chapitre 2 : **Le travail : autre mode de transfert d'énergie.**  
**Puissance et rendement.**

Activités  
Observations  
Interprétations  
Conclusion

Dans le système international, l'énergie cinétique s'exprime en **Joule (J)**.  
Le **Joule** est, à peu près, l'énergie cinétique acquise par une masse de 100g qui tombe d'une hauteur de 1 m, en chute libre.  
Elle peut s'exprimer aussi en eV, MeV et en GeV.  
Un électron-volt :  $1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{ J}$  ;  
Un méga -électron-volt :  $1\text{MeV} = 10^6\text{eV}$   
Un giga -électron-volt :  $1\text{GeV} = 10^9\text{eV}$ .

#### De quoi dépend l'énergie cinétique d'un objet ?

- Lancer deux objets identiques avec des vitesses nettement différentes.  
On fournit plus d'énergie pour lancer l'objet qui a la plus grande vitesse.  
L'objet le plus rapide a donc la plus grande énergie cinétique.
- Exemple :** pour une voiture, au cours d'un accident, elle subit et elle cause plus de dégâts lorsqu'elle roule à 200 km/h, que lorsqu'elle roule à 30 km/h.  
**L'énergie cinétique d'un objet augmente avec sa vitesse.**
- Lancer, avec environ la même vitesse, deux objets de masses nettement différentes.  
Pour lancer les deux objets à la même vitesse, on fournit plus d'énergie pour lancer l'objet le plus lourd.
- A vitesses égales, l'objet le plus lourd a la plus grande énergie cinétique.
- Exemple :** l'importance du dégât subi par une automobile en mouvement lors d'un choc frontal avec un camion animé de la même vitesse s'explique par la différence des énergies cinétiques.  
**L'énergie cinétique d'un objet dépend de sa masse M et de sa vitesse V. plus la vitesse V est grande, plus l'énergie cinétique est grande. plus la masse M est grande, plus l'énergie cinétique est grande.**

**Exemple :** Pour enfoncer un pieu dans le sol, au moment où la percussion va avoir lieu, le mouton possède une énergie cinétique d'autant plus grande qu'il est plus lourd et que sa vitesse est plus élevée.

**Remarque :**  
Comme la vitesse d'un objet dépend du repère choisi, son énergie cinétique en dépendra aussi.

# ISER MON MANUEL

## EXERCICES

### Est ce que je connais ?

1. J'ai appris deux relations importantes que je dois retenir et savoir les transformer.  
 a- Je reçois en complément avec  $P$ ,  $U$  et  $I$  les expressions suivantes :  
 $P = \dots$  ;  $U = \dots$  ;  $I = \dots$   
 Je précise les noms des grandeurs figurant dans ces relations ainsi que les unités internationales utilisées.  
 b- Je reçois en complément avec  $W$ ,  $P$  et  $\Delta t$  les expressions suivantes :  
 $W = \dots$  ;  $P = \dots$  ;  $\Delta t = \dots$   
 Je précise les noms des grandeurs figurant dans ces relations ainsi que les unités internationales utilisées.

2. Je reçois puis je relie par une flèche chaque appareil à sa puissance.

Lampe d'éclairage	0,75 W
Fer à repasser	75 W
Téléviseur	750 W
Four électrique	2250 W
Calculatrice	225 W

### Est ce que je sais appliquer ?

1. Les petites lampes à vis ne portent pas d'indications de puissances électriques, mais de tensions et d'intensités.  
 Calculer les puissances électriques consommées par les lampes suivantes :  
 $L_1$  (1,5V – 120mA) ;  $L_2$  (6V – 350mA).
2. Un tourne vis électrique porte les indications suivantes (9V – 12W).  
 a- Que signifient ces indications ?  
 b- Calculer l'intensité du courant électrique qui traverse le tourne vis en fonctionnement normal.
3. Une lampe porte les indications (220V – 100W).  
 a- Calculer l'intensité du courant électrique qui traverse la lampe lorsqu'elle est...

## Les exercices

- \* connaître
- \* appliquer
- \* raisonner

## L'ESSENTIEL

La puissance électrique d'un dipôle est une grandeur physique qui caractérise la rapidité du transfert d'énergie électrique entre ce dipôle et le reste du circuit ou le milieu extérieur: c'est l'énergie électrique transférée par unité de temps.

La puissance consommée par un dipôle récepteur alimenté par une tension continue est donnée par la relation :



La puissance nominale d'un dipôle récepteur est la puissance consommée par le récepteur lorsqu'il est alimenté sous sa tension nominale.

Un dipôle récepteur de puissance  $P$ , consommé pendant une durée  $\Delta t$  une énergie  $W$  donnée par la relation :



L'énergie électrique consommée par une installation est la somme des énergies électriques consommées par les divers appareils qui la composent.

Un dipôle récepteur passif convertit toute l'énergie électrique qu'il consomme en énergie thermique.

Un dipôle récepteur actif convertit une partie de l'énergie électrique qu'il consomme en énergie thermique.

L'effet joule est la transformation de l'énergie électrique en énergie thermique.



[http://www.steg.com.tw/fr/chemis\\_res/estimez.php](http://www.steg.com.tw/fr/chemis_res/estimez.php)  
[http://licencier.free.fr/energie\\_puissance.html](http://licencier.free.fr/energie_puissance.html)  
<http://www.ac-orleans-tours.fr/physique/physel/trois/indphy.htm>  
<http://cm1cm2.ceyreste.free.fr/elec.html>  
<http://www.ac-bordeaux.fr/Pedagogie/Physique/Physico/Electro/e08puiss.htm>  
<http://www.cybersciences.com/Cyber-Quebec/Science-Dimension/caehee.htm>  
[http://www.mr-berthelot.fr/Free/wonder\\_precision\\_assuree.htm](http://www.mr-berthelot.fr/Free/wonder_precision_assuree.htm)

- 16 -

## L'essentiel du chapitre

## Les sites à visiter

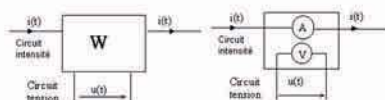
## Comment ça marche ?

### Le wattmètre

Un wattmètre mesure la puissance consommée par un dipôle, par la mesure simultanée de l'intensité du courant qui le traverse et de la tension à ses bornes.

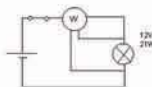


Représentation symbolique du wattmètre :  
 Le wattmètre comprend 2 circuits électriques : un circuit intensité et un circuit tension.



Attention : Lors de l'utilisation du wattmètre, il faut respecter séparément les calibres tension et intensité et non le calibre puissance.

Exemple : Mesure de la puissance absorbée par une lampe.



## Comment ça marche

## Activités documentaires

### Activité I : La cuisson à micro-ondes Une nouvelle technologie qui économise de l'énergie

La cuisson à l'aide d'un micro-onde tend à se généraliser, faisant valoir les intérêts suivants :  
 -La décongélation des surgelés.  
 -La cuisson rapide.  
 -Le chauffage rapide des plats cuisinés.  
 -La cuisson sans corps gras.

#### Quel est le principe de fonctionnement du four à micro-ondes ?

Au cœur du four à micro-ondes se trouve un « magnétron » qui crée des micro-ondes, à partir d'une énergie électrique provenant du secteur.

Les ondes produites sont envoyées vers les aliments pour être ensuite absorbées par leurs molécules d'eau. L'énergie de ces ondes excite les molécules d'eau qui se mettent à vibrer 2,5 billions de fois par seconde : le frottement ainsi créé chauffe les molécules et génère la chaleur qui est à l'origine de la cuisson.

La puissance électrique absorbée par un four micro-ondes est presque la moitié de celle absorbée par un four électrique classique.

#### Je cherche :

- 1- Le chauffage par micro-ondes est-il dû à l'effet joule ?
- 2- Chercher dans le dictionnaire la signification du mot « billion ».
- 3- La cuisson de 250g de viande nécessite 25 minutes dans un four électrique classique de puissance nominale 3500 W, par contre dans un four à micro-ondes de puissance nominale 1500W, cette cuisson ne dure que 10 minutes. Déterminer la différence de prix de revient si le kWh vaut 116 millimes.

### Activité II : Refroidir votre ordinateur par l'eau (Le Watercooling)

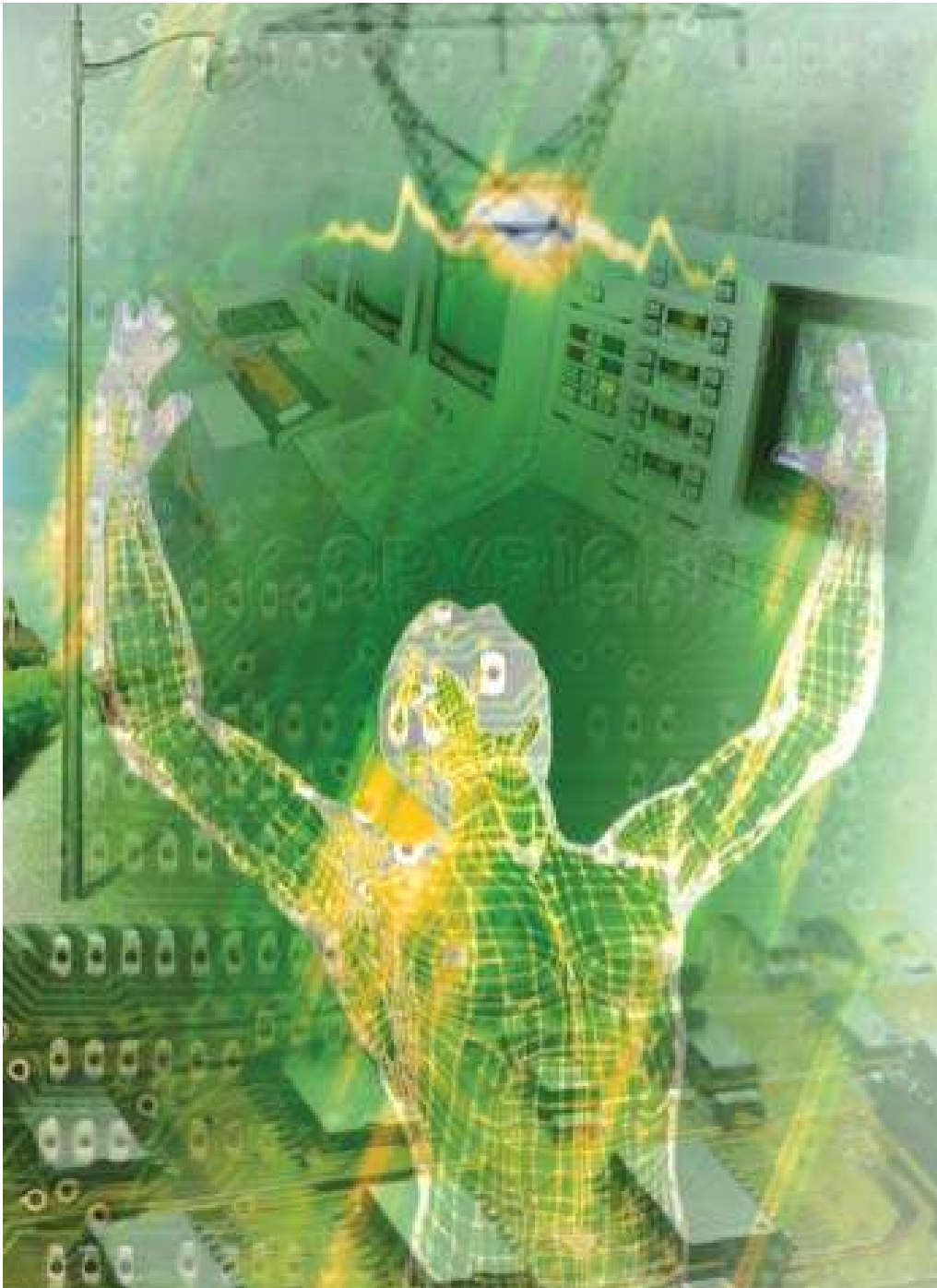
Un processeur, comme tout appareil électrique ou électronique consommant du courant, est soumis à l'effet Joule, il chauffe, tout comme le filament d'une ampoule.

Pour travailler correctement, le CPU (Central Processing Unit) devrait impérativement avoir une température inférieure à une limite dépendante de la technologie employée. Pour un...

- 22 -

## Activités documentaires

# CIRCUITS ELECTRIQUES ET ELECTRONIQUES



*P  
r  
e  
m  
i  
e  
r  
  
t  
h  
è  
m  
e*

# Contenu du thème



1

Chapitre 1 : **Puissance et énergie électriques.**

Chapitre 2 : **Conductibilité électrique.**

Chapitre 3 : **Caractéristiques intensité-tension  
des dipôles électriques.**

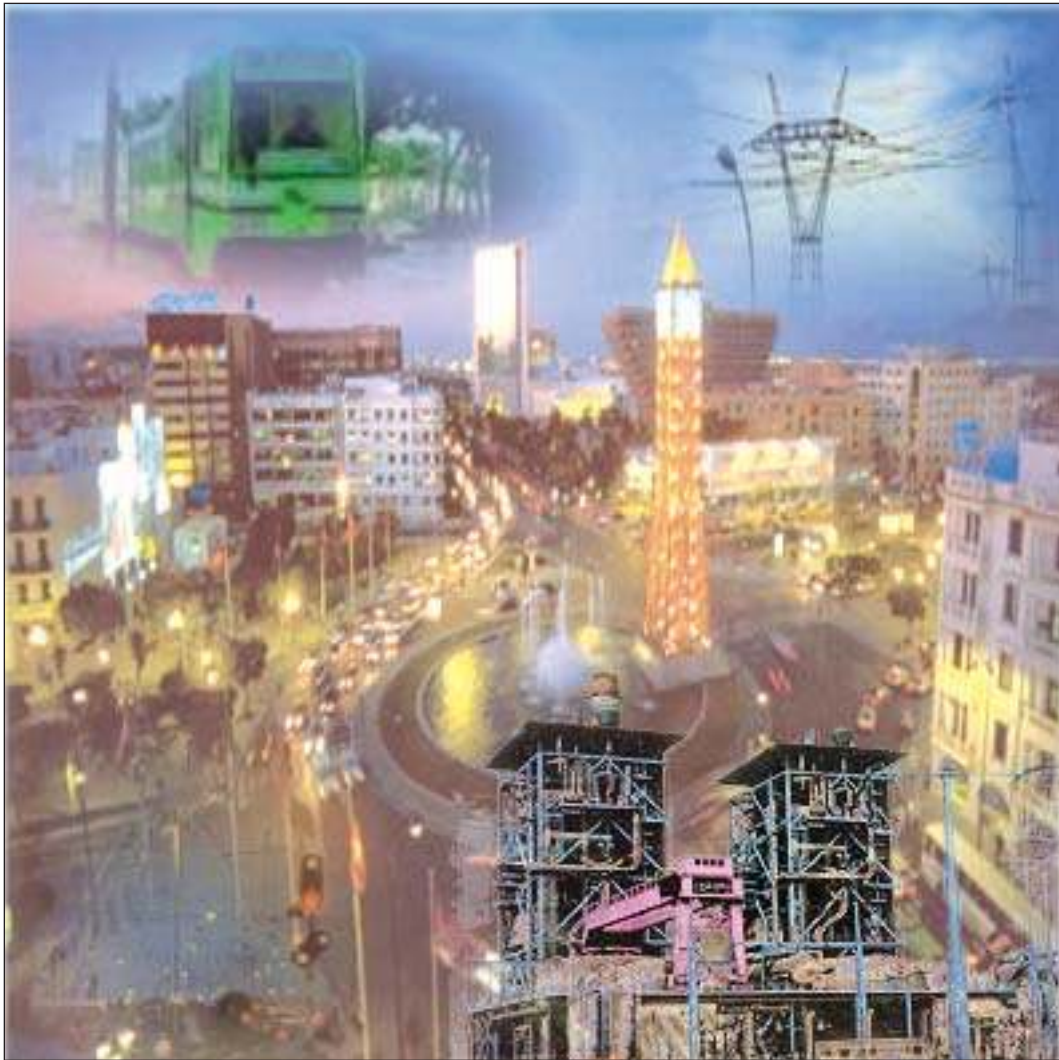
Chapitre 4 : **Diode**

Chapitre 5 : **Transistor.**

Chapitre 6 : **Courant alternatif.**

# Chapitre 1

## Puissance et énergie électriques



Par ses 20 centrales électriques et son réseau interconnecté avec les pays du Maghreb et de l'Europe, la STEG produit chaque année une énergie électrique environ de 10.000 GWh.

# Contenu du chapitre 1

- ◆ Puissance électrique :  $P = U.I$   
Unité internationale : le watt (W)
- ◆ Relation entre énergie et puissance :  $W = P. \Delta t$
- ◆ Effet Joule : Intérêts et inconvénients.
- ◆ Récepteurs actifs et récepteurs passifs.

# Puissance et énergie électriques

## Je dois être capable :

- ❖ d'appliquer la relation  $P=U.I$  pour déterminer la puissance électrique mise en jeu dans une portion de circuit.
- ❖ d'appliquer la relation  $W=P. \Delta t$  pour déterminer l'énergie électrique mise en jeu dans une portion de circuit pendant une durée  $\Delta t$ .
- ❖ d'exprimer l'énergie électrique en joules et en kilowatt-heures.
- ❖ de lire une facture de consommation d'énergie électrique de la STEG (Société Tunisienne d'Electricité et de Gaz).
- ❖ de distinguer un récepteur passif d'un récepteur actif.

## Je dois d'abord tester mes acquis :

**Je recopie la phrase complétée avec la bonne réponse:**

1- Dans un nœud d'un circuit en dérivation, la somme des intensités des courants qui y arrivent est :

- a- égale à la somme de ceux qui en partent.
- b- nulle.
- c- négative.

2- Le cadran d'un voltmètre comporte 100 graduations, son calibre est de 10 V. Lorsque son aiguille se trouve sur la graduation 50, cela veut dire que la tension mesurée par l'appareil vaut :

- a- 0,5 V.
- b- 5 V.
- c- 10V.
- d- 50 V.

3- Dans une installation domestique, tous les appareils électriques sont conçus pour fonctionner sous une même tension (220V) car leur montage est :

- a- série .
- b- mixte .
- c- parallèle.

4- Dans le système international des unités, l'énergie s'exprime en :

- a- électron-volt (eV).
- b- joule (J).
- c- newton (N).
- d- kilowattheure (kWh).

5- Une lampe est :

- a- une source d'énergie .
- b- un convertisseur d'énergie.

6- L'énergie électrique est :

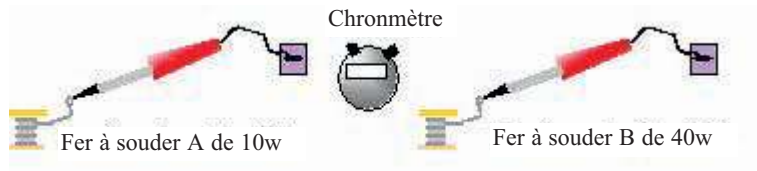
- a- le travail des forces mécaniques.
- b- le travail des forces électriques.

## Je construis mes savoirs :

### 1 Qu'est ce que la puissance électrique ?



Mettre deux fers à souder en contact chacun avec un bout d'étain. Alimenter les au même instant et comparer les temps nécessaires pour atteindre la fusion de l'étain.



L'étain fond plus rapidement avec le fer à souder B.



- Le fer à souder est un convertisseur d'énergie : Il transforme l'énergie électrique en énergie thermique.
- L'étain fond : il y a un transfert d'énergie du fer à souder vers l'étain.
- Avec le fer à souder B l'étain fond plus rapidement :
  - Le transfert d'énergie du fer à souder vers l'étain est plus rapide avec B qu'avec A. On dit aussi que le fer à souder B cède de l'énergie plus rapidement que le fer à souder A.
  - Chaque seconde l'énergie cédée par le fer à souder B est plus importante que celle cédée par le fer à souder A. On dit que la puissance électrique du fer à souder B est plus grande que celle du fer à souder A.

La puissance électrique d'un dipôle est une grandeur physique qui caractérise la rapidité du transfert d'énergie électrique entre ce dipôle et le reste du circuit ou le milieu extérieur.






La puissance électrique est une grandeur physique mesurable. Les indications 40W et 10W lues respectivement sur les fers à souder A et B représentent leurs puissances électriques :  $P_B = 40W$  et  $P_A = 10W$  ;  $P_B > P_A$ .

**Unité de la puissance :** Le **watt** de symbole (**W**) est l'unité de puissance dans le système international des unités; on utilise également ses multiples et ses sous multiples :

1mW (milliwatt) = $10^{-3}$ W	1MW (Mégawatt) = $10^6$ W
1kw (kilowatt) = $10^3$ W	1GW (Gigawatt) = $10^9$ W

L'instrument de la mesure de la puissance est le **wattmètre**. ( voir « comment ça marche ? » )

Ordre de grandeurs de quelques puissances :

Gigawatt (GW)	Mégawatt (MW)	Kilowatt (kW)	Watt (W)	milliwatt (mW)
				
Centrale nucléaire	Train électrique	Machine à laver	Ordinateur	Calculatrice

## 2 Y'a t-il une relation entre la puissance, l'intensité et la tension ?

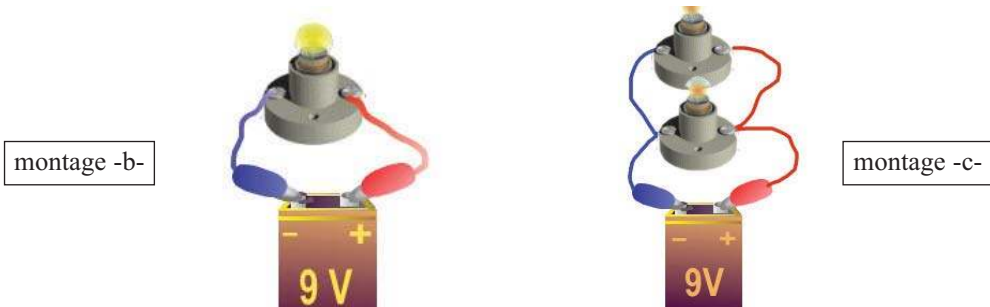


On dispose de trois lampes identiques, sur chacune d'elles on lit l'indication de tension 6V, une pile de 4,5V et deux piles de 9V.

Réaliser successivement les deux expériences suivantes :



La lampe du montage -b- brille plus que celle du montage -a-.



Les deux lampes du montage -c- brillent moins que celle du montage -b- .

- Lorsque la tension augmente l'éclairement de la lampe augmente : la puissance consommée par la lampe augmente.
- Les deux lampes dans le montage- c- sont montées en parallèle et alimentées par la même tension que la lampe dans le montage -b- .
- L'intensité du courant qui traverse chacune d'elles est inférieure à celle dans le montage -b- .

Lorsque l'intensité du courant qui traverse une lampe diminue, son éclairement diminue : la puissance qu'elle consomme diminue.

La puissance consommée par un dipôle récepteur dépend de :

- la tension  $U$  appliquée entre ses bornes ;
- l'intensité  $I$  du courant qui le traverse .

On admet que :

La puissance  $P$  consommée par un dipôle récepteur alimenté sous une tension continue est donnée par le produit de l'intensité  $I$  du courant qui le traverse par la tension  $U$  à ses bornes.

$$P = U.I$$

Si la tension est exprimée en volts ( $V$ ) et l'intensité en ampères ( $A$ ), la puissance est exprimée en **watts** ( $W$ ).

Remarque : La relation  $P = U.I$  est aussi applicable en courant alternatif pour un récepteur à effet thermique (lampe à incandescence, fer à repasser, fer à souder, réchaud électrique...).

$U$  et  $I$  sont les valeurs mesurées respectivement par un voltmètre et un ampèremètre.

3

### Qu'appelle t-on puissance nominale d'un appareil électrique ?



Alimenter une lampe (220V/75W) par une tension alternative variable, augmenter la tension progressivement et lire l'indication du wattmètre.



- Lorsque la tension d'alimentation atteint la valeur 220V, la lampe donne son éclairage normal et le wattmètre indique la puissance inscrite sur la lampe.
- Observer les indications encadrées en rouge sur les photos ci après :



Lampe infrarouge pour l'élevage des volails



Starter pour tube fluorescent



Plaque signalitique que l'on trouve sur certains appareils



- Un appareil fonctionne normalement lorsqu'il est alimenté par sa tension nominale indiquée par son fabricant.
- Les inscriptions 150 W sur la lampe, 60 W sur le starter et 750W sur la plaque désignent, pour chaque appareil, la puissance qu'il peut consommer en fonctionnement normal.

La puissance nominale d'un récepteur est la puissance consommée par l'appareil lorsqu'il est alimenté par sa tension nominale. Elle est en général indiquée par le fabricant.

### Remarques :

- 1- La relation  $P=U.I$  est valable pour tout récepteur fonctionnant en courant continu, même lorsque l'appareil ne fonctionne pas dans les conditions nominales ;  $P$  représente alors la puissance réellement consommée par un récepteur.
- 2- Un récepteur électrique est caractérisé par sa tension et sa puissance nominales.
- 3- La relation  $P=U.I$  peut se présenter sous la forme  $I = \frac{P}{U}$ . Sous cette forme elle permet de calculer l'intensité du courant que traverse un récepteur de puissance nominale  $P$ , alimenté sous sa tension nominale.

4

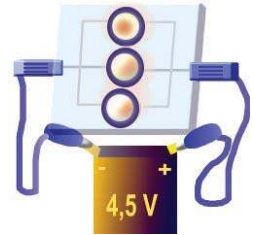
### De quoi dépend l'énergie électrique consommée par un appareil ?



- Brancher simultanément sur deux piles identiques (4,5V)
- d'une part un dipôle formé par une lampe (3,5V – 1 W) ;
  - d'autre part un dipôle formé par trois lampes identiques (3,5V- 1 W) montées en parallèle.



- Avec le temps, l'éclat des lampes va diminuer pour disparaître, d'abord (après une durée  $\Delta t$ ) avec les trois lampes dont la puissance nominale totale est de 3W, plus tard (après environ  $3 \Delta t$ ) avec la lampe seule de puissance nominale de 1W.



**Remarque** : L'usure des piles peut durer quelques heures.



- Puisque les piles sont identiques, chacune pourrait fournir sensiblement la même énergie  $W$ .
- Une lampe seule a mis plus de temps pour consommer cette énergie.
- Les trois lampes ont mis un temps plus court pour consommer cette énergie.
- Pour une même énergie disponible, plus la puissance est grande plus la durée de consommation est courte et inversement.

L'énergie électrique  $W$  consommée par un appareil électrique de puissance  $P$  constante pendant une durée  $\Delta t$  est égale au produit de sa puissance par la durée de fonctionnement.

$$W = P \cdot \Delta t$$

Si la puissance est exprimée en watts (**W**) et le temps en secondes (**s**), l'énergie est exprimée en joules (**J**).

**Remarque** : L'expression  $W=P \cdot \Delta t$  conduit à  $P = \frac{W}{\Delta t}$  donc la puissance renseigne sur l'énergie électrique transférée par unité de temps.

### Comment la STEG facture t-elle la consommation d'énergie électrique pour ses clients ?

- A l'entrée de chaque réseau électrique domestique ou industriel, on trouve un compteur d'énergie électrique installé par la STEG.

- Le rôle de cet appareil est la mesure de l'énergie électrique consommée par le réseau d'un client de la STEG.
- Ce compteur mesure l'énergie en **kilowatt-heures (kWh)** et non en joules. Le kilowatt-heure est l'unité usuelle de l'énergie électrique.



compteur d'énergie électrique

$$1 \text{ Kilowatt-heure (1kwh)} = 1000 \times 3600 = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

### Que représentent les diverses cellules d'une facture d'électricité domestique de la STEG ?

Actuellement tous les quatre mois, la STEG remet à ses clients deux factures :

La première est une facture intermédiaire, par contre la seconde est la facture de la consommation réelle d'énergie pour une durée de quatre mois.

Références		INDEX		Consom	P. U.	Montant-cons	Frais fixes	S/TOTAL
Libelle	Quantité	Nouv	Anc					
(1) 01084 133 0		(3) 12205 (4)	(5) 11510	(6) 695	(7) 102	(8) 69718	(9) 1650	(10) 71 368
إضاءة	04							
غاز	04	1973	1890	83	173	14051	1000	15.051
المعلوم لفائدة أجرة والتلفزة								5.980
الإتاوات TVA								(11) 9.789
		(12) 102.168		(13) 52.200	(14) 0.039	(15) 50.000		(16) 12.08.2004

La source de cette facture est le site de la STEG : [www.steg.com.tn](http://www.steg.com.tn)

- (1) Référence : Référence du client dans la base des données de la STEG ;
- (2) Prochaine relève : La date à laquelle se présente l'agent de la STEG chez vous pour relever la dernière indication du compteur ;
- (3) Nombre mois : La durée de consommation en mois
- (4) Nouv : Nombre des kWh indiqué par le compteur le 21/07/2004 ;
- (5) Anc : Nombre des kWh indiqué par le compteur le 25/03/2004
- (6) Consom (\*) : Consommation en kWh pendant les quatre mois (Consom = Nouv - Anc) ;
- (7) P.U : Le prix du kWh de la dernière tranche (ce prix n'est pas fixe, il varie selon la consommation) ;
- (8) Montant Cons ;
- (9) Frais fixes ;

- (10) S/Total ; (sous-total)
- (11) TVA ; (Taxes sur la Valeur Ajoutée)
- (12) Total ;
- (13) A déduire ; montant de la facture précédente (facture intermédiaire)
- (14) Arriérés ;
- (15) Net à payer ;
- (16) A payer avant: la facture doit être payée avant cette date.

(\*) L'énergie électrique consommée par une installation est la somme des énergies consommées par chaque dipôle récepteur de cette installation. (voir fiche TP)

## 5 L'énergie électrique peut-elle être transformée et en quoi ?



Brancher une mine de crayon aux bornes d'une pile de 9V (la mine de crayon est un conducteur).



La mine s'échauffe, elle devient même incandescente.



- L'énergie électrique reçue par la mine se transforme en énergie thermique.
- Ce conducteur transforme intégralement l'énergie électrique qu'il reçoit en énergie thermique.




**Est ce que tout récepteur transforme intégralement l'énergie électrique qu'il reçoit en énergie thermique?**



		
Lampes à incandescence	Fer à repasser	Grill électrique

**Ces récepteurs transforment intégralement toute l'énergie électrique consommée en énergie thermique.**



		
Moteur électrique	Electrolyseur	Sèche-cheveux

Des appareils, tels que les ventilateurs, les perceuses, les moulins à café, les véhicules électriques sont entraînés par des moteurs électriques. Ces moteurs fournissent l'énergie mécanique nécessaire au fonctionnement de l'appareil. Ce sont des convertisseurs d'énergie électrique en énergie mécanique.

L'électrolyseur est un convertisseur d'énergie électrique en énergie chimique.

**Ces récepteurs transforment une partie de l'énergie électrique consommée en une énergie autre que l'énergie thermique.**

**Remarque :** Moteur et électrolyseur sont le siège d'une transformation d'une partie de l'énergie électrique en énergie thermique. Pour s'en rendre compte, il suffit de toucher le corps d'un moteur ou d'introduire un thermomètre dans la cuve à électrolyse.



Les récepteurs sont des convertisseurs d'énergie, ils sont classés en deux catégories :


- Ceux qui transforment intégralement toute l'énergie électrique consommée en énergie thermique. Ils sont dits récepteurs passifs.
- Ceux qui transforment une partie de l'énergie électrique consommée en une énergie autre que l'énergie thermique. Ils sont dits récepteurs actifs.

D'une façon générale, dans tous les conducteurs parcourus par un courant électrique, **une partie ou la totalité de l'énergie électrique se transforme en énergie thermique.** Ce phénomène s'appelle **effet Joule**.

On appelle effet joule la transformation de l'énergie électrique en énergie thermique.

### ❖ Intérêts de l'effet joule :

Le chauffage et la production de la lumière par incandescence.

				
Lampes à incandescence	Radiateur électrique	Fer à souder	Fer à repasser	Four électrique

### ❖ Inconvénients de l'effet joule :

L'effet joule est la cause de plusieurs accidents produisant dans certains cas plusieurs dégâts matériels et même humains.

*Exemples :*

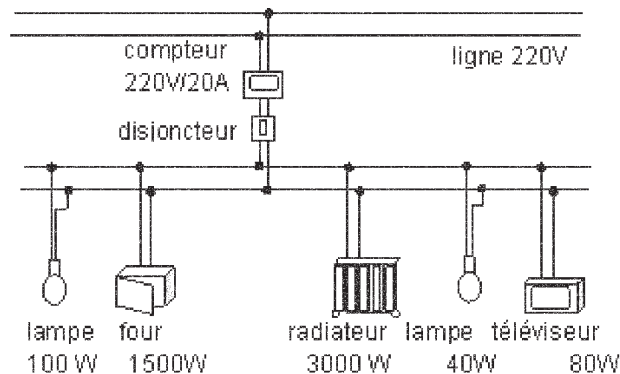
- Echauffement des composants électriques conduisant à leur claquage, d'où la nécessité d'un système de refroidissement.
- Des court-circuits suite à des conducteurs mal dimensionnés peuvent causer des incendies assez graves.
- Electrocution : Passage, en général, accidentel de courant électrique à travers le corps humain dont les conséquences sont des brûlures parfois mortelles.
- Foudroiement : Un corps foudroyé est un corps brûlé suite à un coup de foudre.



**Refroidissement d'un processeur à l'aide d'un ventilateur**

# EXERCICE RESOLU

**Enoncé :** Une installation électrique domestique est représentée par le schéma ci dessous :



- 1- Quelle est la puissance maximale fournie par la STEG à cette installation?
- 2- a- Cette puissance est-elle suffisante pour faire fonctionner tous les appareils de cette installation en même temps?  
b- Comment l'utilisateur de l'installation peut-il exploiter la puissance maximale fournie par la STEG ?
- 3- Le propriétaire de cette installation utilise en moyenne par jour :
  - les lampes pendant 6 heures ;
  - le four pendant une heure ;
  - le radiateur pendant 10 heures ;
  - le téléviseur pendant 4 heures.
 Calculer, en Joule, l'énergie totale consommée par cette installation en une journée.
- 4- Si la STEG facture le kWh à 116 millimes (toutes taxes comprises) , quelle somme cet utilisateur doit-il payer à la STEG pour une durée de 4 mois (120 jours) ?
- 5- Comment cet utilisateur peut-il minimiser sa consommation d'énergie ?

## **Solution :**

- 1- Puissance maximale fournie par la STEG :

$$P_{\max} = U \cdot I$$

$$U = 220V$$

$$I = 20 \text{ A}$$

$$P_{\max} = \underline{4400 \text{ W}}$$

- 2- a- Calculons la puissance totale de l'installation et comparons la à la puissance maximale fournie par la STEG :

$P_t$  = somme des puissances de chaque appareil.

$$P_t = \underline{4720 \text{ W}}$$

$P_t > P_{\max}$  l'utilisateur ne peut pas faire fonctionner tous les appareils de son installation en même temps.

b- Cet utilisateur doit faire fonctionner en même temps tous les appareils après avoir débranché soit le four soit le radiateur.

3- L'énergie consommée par chaque appareil est donnée par la relation  $W = P \cdot \Delta t$  avec P en watts (W) et  $\Delta t$  en secondes (s).

L'énergie totale consommée par l'installation en une journée est :

$W_{\text{jour}} =$  somme des énergies consommées par chaque appareil.

$$\underline{W_{\text{jour}} = 117,288 \cdot 10^6 \text{ J}}$$

4- Energie en kWh consommée en une journée.

$$1\text{kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J.}$$

$$W_{\text{jour}} = \frac{117,288 \cdot 10^6}{3,6 \cdot 10^6} = 32,580\text{kWh}, \quad W_{\text{jour}} = \underline{32,580\text{kWh}}$$

La somme à payer à la STEG, toutes taxes comprises, pour une durée de 120 jours est :

$$S = (32,580 \cdot 0,116) \cdot 120 = 454,51 \text{ dinars.}$$

$$S = \underline{454,51 \text{ dinars}}$$

5- Pour minimiser la consommation d'énergie, donc minimiser la facture de la STEG, l'utilisateur :

- peut changer le four et le radiateur par d'autres moins gourmands en énergie (puissance plus faible).

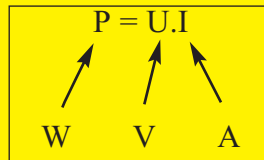
- ne doit pas laisser les portes et les fenêtres ouvertes, ce qui diminue considérablement la durée de chauffage.

- doit éteindre tout appareil dont l'utilisation n'est pas nécessaire.

## L' ESSENTIEL

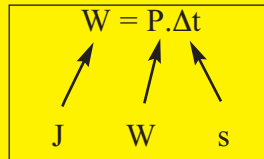
La puissance électrique d'un dipôle est une grandeur physique qui caractérise la rapidité du transfert d'énergie électrique entre ce dipôle et le reste du circuit ou le milieu extérieur: c'est l'énergie électrique transférée par unité de temps.

La puissance consommée par un dipôle récepteur alimenté par une tension continue est donnée par la relation :

$$P = U \cdot I$$


La puissance nominale d'un dipôle récepteur est la puissance consommée par le récepteur lorsqu'il est alimentée sous sa tension nominale.

Un dipôle récepteur de puissance P, consomme pendant une durée  $\Delta t$  une énergie W donnée par la relation :

$$W = P \cdot \Delta t$$


L'énergie électrique consommée par une installation est la somme des énergies électriques consommées par les divers appareils qui la constituent.

Un dipôle récepteur passif convertit toute l'énergie électrique qu'il consomme en énergie thermique.

Un dipôle récepteur actif convertit une partie de l'énergie électrique qu'il consomme en énergie thermique.

L'effet joule est la transformation de l'énergie électrique en énergie thermique



[http://www.steg.com.tn/fr/clients\\_res/estimez.php](http://www.steg.com.tn/fr/clients_res/estimez.php)

[http://licencer.free.fr/energie\\_puissance.html](http://licencer.free.fr/energie_puissance.html)

<http://www.ac-orleans-tours.fr/physique/phyel/trois/indphy.htm>

<http://cm1cm2.ceyreste.free.fr/elec.html>

<http://www.ac-bordeaux.fr/Pedagogie/Physique/Physico/Electro/e08puiss.htm>

<http://www.cybersciences.com/Cyber/Québec Science - Dimension cachée.htm>

<http://www.mr-bricolage.fr/Fer à souder, précision assurée.htm>

# EXERCICES EXERCICES

**1** J'ai appris deux relations importantes que je dois retenir et savoir les transformer.

a- Je recopie en complétant avec P, U et I les expressions suivantes :

$$P = \dots \times \dots ; U = \frac{\dots}{\dots} ; I = \frac{\dots}{\dots} .$$

Je précise les noms des grandeurs figurant dans ces relations ainsi que les unités internationales utilisées.

b- Je recopie en complétant avec W, P et  $\Delta t$  les expressions suivantes :

$$W = \dots \times \dots ; P = \frac{\dots}{\dots} ; \Delta t = \frac{\dots}{\dots} .$$

Je précise les noms des grandeurs figurant dans ces relations ainsi que les unités internationales utilisées.

**2** Je recopie puis je relie par une flèche chaque appareil à sa puissance.

Lampe d'éclairage	0,75 W
Fer à repasser	75 W
Téléviseur	750 W
Four électrique	2250 W
Calculatrice	225 W

## Est ce que je sais appliquer ?

**1** Les petites lampes à vis ne portent pas d'indications de puissances électriques, mais de tensions et d'intensités.

Calculer les puissances électriques consommées par les lampes suivantes :

$$L_1 (1,5V - 120mA) \quad ; \quad L_2 (6V - 350mA).$$

**2** Un tourne vis électrique porte les indications suivantes : (9V – 12W ).

a- Que signifient ces indications?

b- Calculer l'intensité du courant électrique qui traverse le tourne vis en fonctionnement normal.

**3** Une lampe porte les indications (220V – 100W)

a- Calculer l'intensité du courant électrique qui traverse la lampe lorsqu'elle est alimentée normalement.

b- Si on alimente la lampe par une tension de 120V, quel sera son état ? Donner un ordre de grandeur pour la puissance électrique quelle consomme dans ce cas.

**4** Un poste de télévision portant les indications (220V- 150W) fonctionne en moyenne 5 heures par jour.  
Déterminer en kilowatt-heures puis en joules l'énergie électrique moyenne consommée chaque jour.

**5** Un fer à repasser ayant fonctionné 2h30min a consommé une énergie électrique de 3 kWh.

- a- Calculer en joules l'énergie électrique consommée par le fer.
- b- Trouver sa puissance électrique.

**6** Dans une installation électrique, 3 lampes  $L_1$  (220V – 75W),  $L_2$  (220V – 60W) et  $L_3$  (220V – 100W) fonctionnent simultanément. Un compteur électrique enregistre leur consommation.

- a- Calculer la puissance électrique consommée par les trois lampes.
- b- Déterminer l'énergie électrique que consomment les trois lampes en une heure.

**7** Un abonné peut lire sur la facture de la STEG :

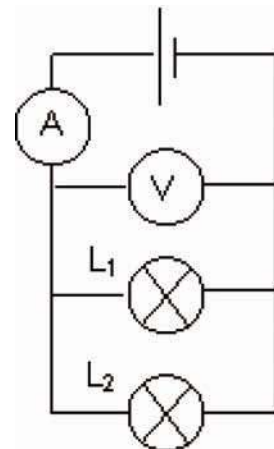
« Relevés du compteur : Nouveau 1753 – Ancien 1241 »

- a- Déterminer en kWh la consommation électrique de cet abonné pour les quatre mois concernés par le relevé.
- b- Calculer le montant de consommation (toutes taxes comprises) si le prix d'un kWh est 116 millimes.

### Est ce que je sais raisonner ?

**1** Déterminer une puissance sans wattmètre.

Un élève réalise le montage de la figure ci contre pour déterminer la puissance électrique absorbée par la lampe  $L_2$ . Lors de la vérification par le professeur, ce dernier lui dit : « Désolé, le branchement de vos appareils de mesure permet la détermination d'une puissance autre que celle absorbée par la lampe  $L_2$  ».



- 1- A quelle puissance le professeur fait-il allusion ?
- 2- Recopier le montage en corrigeant la faute commise par l'élève.
- 3- Avant la correction du montage, le voltmètre indique une tension de 12V et l'ampèremètre une intensité de 0,75A. Quelle est l'indication de l'ampèremètre après la correction du montage sachant que la puissance absorbée par la lampe  $L_1$  est de 3W ?

## **2** Consulter la notice du constructeur avant d'acheter.

Un magasin propose deux radio-réveils de même aspect extérieur. Sur le boîtier du premier, on lit les inscriptions (9V / 800mA), sur celui du second, on lit l'inscription 10W.

- 1- Déterminer la puissance électrique du premier radio-réveil.
- 2- Calculer en Wh puis en kWh l'énergie consommée par chaque radio-réveil s'il reste en veille pendant 365 jours.
- 3- Lequel permet de faire des économies d'énergie ?

## **3** Respecter les indications portées par un fusible.

- 1- a- Lors d'un court circuit d'un fusible, comment varie l'énergie électrique qu'il absorbe ? Pourquoi ?  
b- Que devient cette énergie électrique ?
- 2- Expliquer pourquoi dans certains cas lors d'un court circuit le fusible ne « saute pas » malgré que l'installation soit endommagée ?

## **4** Ne laisser pas le téléviseur en mode «veille».

La puissance nominale d'un téléviseur est 100 W. En mode « veille » (lorsque le poste est éteint avec la télécommande), l'appareil consomme une puissance électrique de 15 W.

Ce téléviseur fonctionne en moyenne 4 heures par jour.

- 1- Déterminer l'énergie électrique consommée et le prix de revient dû au fonctionnement quotidien du téléviseur ? Le prix du kWh étant environ 116 millimes.
- 2- Quel coût cela représente-t-il pendant une année ?
- 3- Trouver l'énergie consommée lorsque le téléviseur est en mode veille. Déduire le surcoût engendré par ce mode de fonctionnement .
- 4- Combien d'argent est dépensé en « veille » par an ?
- 5- Faut-il laisser le téléviseur en mode « veille » ?

## **5** Imprimer en mode économique.

Le fabricant d'une imprimante à jet d'encre précise, dans sa notice, les indications suivantes :

Puissance absorbée en veille (l'imprimante est à l'arrêt): 500 mW;

Puissance absorbée au repos (l'imprimante est en marche mais n'imprime pas): 5 W;

Puissance absorbée à l'impression (l'imprimante imprime réellement): 12 ;.

Vitesse d'impression 2 pages par minute en mode normal, 4 pages par minute en mode économique.

- 1- Un utilisateur imprime en mode normal 40 pages par jour, déterminer le coût journalier de la consommation électrique de cette imprimante, si la STEG facture le kWh à 116 millimes.
- 2- Quelle économie cet utilisateur réalise t-il par an s'il utilise son imprimante toujours en mode économique ?

## **Suis je capable de ?**

chercher dans une encyclopédie ou à l'Internet qui était « WATT » et citer quelques unes de ses travaux.

Même chose pour « JOULE ».

# Fiche TP

## MESURE D'UNE PUISSANCE ET CONSERVATION DE L' ENERGIE

### Objectifs :

- ❑ Mesurer une puissance absorbée par un dipôle récepteur.
- ❑ Mesurer une puissance fournie par un dipôle générateur.
- ❑ Comparer entre puissance fournie, puissance absorbée et puissance nominale.
- ❑ Vérifier la conservation de l'énergie.

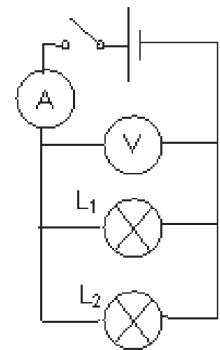
### Matériels :

- ❑ Une alimentation stabilisée 6V continue
- ❑ 2 lampes de ( 6V, 3W) (ou autres)
- ❑ Un ampèremètre
- ❑ Un voltmètre
- ❑ Un interrupteur
- ❑ Des fils de connexion

### Expérimentations :

#### Expérience (1) :

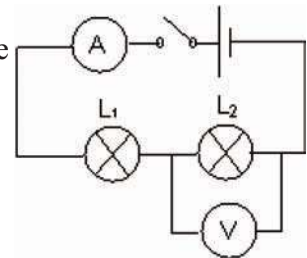
- ❖ Réaliser le montage (1).
- ❖ Mesurer la tension aux bornes de chaque dipôle ainsi que l'intensité du courant qui le traverse. Noter ces valeurs dans le tableau (a).



Montage (1)

#### Expérience (2) :

- ❖ Réaliser le montage (2).
- ❖ Mesurer la tension aux bornes de chaque dipôle ainsi que l'intensité du courant qui le traverse. Ajouter ces valeurs dans le même tableau (a).



Montage (2)

	Générateur		Expérience (2)	
	I (mA)	U (V)	I (mA)	U (V)
Générateur				
Lampes 1				
Lampes 2				

Tableau (a)

#### Exploitation des résultats :

En utilisant les résultats des mesures effectuées, essayer de répondre aux questions suivantes :

- ❖ Y a t-il une différence entre la puissance absorbée par un récepteur ou fournie par le générateur et sa puissance nominale ?
- ❖ Comparer la puissance fournie par le générateur à celle consommée par l'installation. Y a t-il conservation de l'énergie ?

Les fils de connexion et les appareils de mesures consomment- ils de la puissance électrique ?

# Activités documentaires

## **Activité I :**            La cuisson à micro-ondes                                  Une nouvelle technologie qui économise de l'énergie

La cuisson à l'aide d'un micro-ondes tend à se généraliser, faisant valoir les intérêts suivants :

- La décongélation des surgelés.
- La cuisson rapide.
- Le chauffage rapide des plats cuisinés.
- La cuisson sans corps gras.

### **Quel est le principe de fonctionnement du four à micro-ondes ?**

Au cœur du four à micro-ondes se trouve un « magnétron » qui crée des micro-ondes, à partir d'une énergie électrique provenant du secteur.

Les ondes produites sont envoyées vers les aliments pour être ensuite absorbées par leurs molécules d'eau. L'énergie de ces ondes excite les molécules d'eau qui se mettent à vibrer 2,5 billions de fois par seconde ; le frottement ainsi créé chauffe les molécules et génère la chaleur qui est à l'origine de la cuisson.

La puissance électrique absorbée par un four à micro-ondes est presque la moitié de celle absorbée par un four électrique classique.

#### **Je cherche :**

- 1- Le chauffage par micro-ondes est-il dû à l'effet joule ?
- 2- Chercher dans le dictionnaire la signification du mot " billion ".
- 3- La cuisson de 250g de viande nécessite 25 minutes dans un four électrique classique de puissance nominale 3500 W, par contre dans un four à micro-ondes de puissance nominale 1500W, cette cuisson ne dure que 10 minutes. Déterminer la différence de prix de revient si le kWh vaut 116 millimes.

## **Activité II :**            Refroidir votre ordinateur par l'eau                                  (Le Watercooling)

Un processeur, comme tout appareil électrique ou électronique consommant du courant, est soumis à l'effet Joule, il chauffe, tout comme le filament d'une ampoule.

Pour travailler correctement, les CPU (Central Processing Unit) doivent impérativement avoir une température inférieure à une limite dépendante de la technologie employée. Pour un Pentium4 (3GHz) par exemple, cette limite est de 85 à 90°C. Au-delà, le processeur ne peut plus assurer sa fonction, ce qui entraîne des dégradations des signaux et donc des plantages.

Les premières puces ( Intel 4004 de 1971 ) n'avaient pas besoin d'être refroidies puisque leurs puissances étaient très faibles. Quelques temps après, les radiateurs en aluminium non ventilés collés sur les puces sont apparus pour faciliter la dissipation thermique dans l'air.

La complexité des puces ne cessant de croître, il a fallu passer au radiateur en aluminium ventilé (avec ventilateur) pour accroître leur efficacité.

Le watercooling apportera un certain répit dans cette chasse à la température.

Watercooling veut dire Refroidissement par Eau. Son principe est de faire circuler de l'eau par l'intermédiaire de tuyaux dans un radiateur en cuivre qui va refroidir le processeur de l'unité centrale. De cette manière, on peut refroidir aussi le processeur de la carte graphique, le chipset, le disque dur et même l'alimentation.



Intel 4004



Intel Pentium



### Je cherche :

- 1- Pourquoi les puces (Intel 4004) n'avaient pas besoin d'être refroidies?
- 2- Pourquoi utilise-t-on l'aluminium comme matière pour fabriquer les radiateurs?
- 3- Pourquoi les radiateurs en aluminium sont-ils formés par plusieurs ailettes ?
- 4- Chercher d'autres appareils utilisant les radiateurs en aluminium pour refroidir les composants électroniques.
- 5- A votre avis; quels sont les inconvénients du refroidissement par Watercooling ?

# Comment ça marche ?

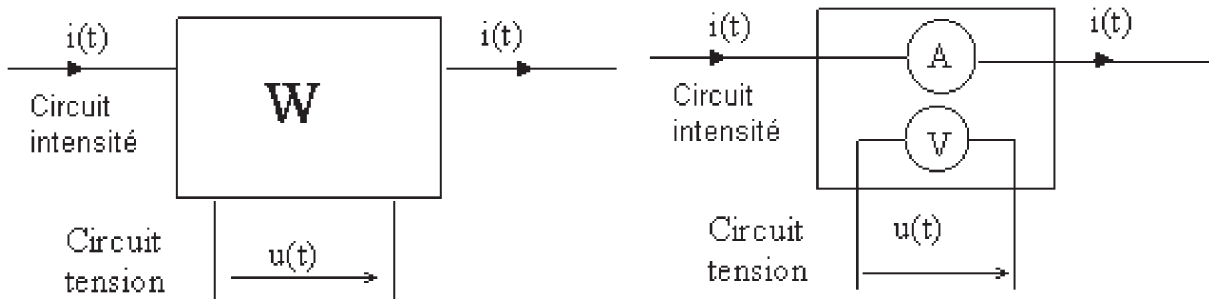
## Le wattmètre

Un wattmètre mesure la puissance consommée par un dipôle, par la mesure simultanée de l'intensité du courant qui le traverse et de la tension à ses bornes.



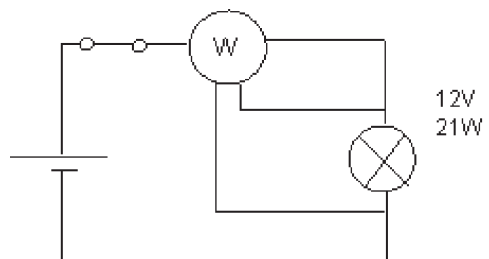
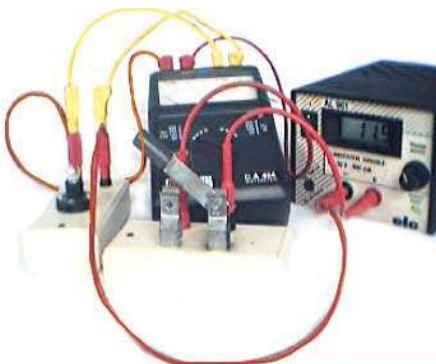
Représentation symbolique du wattmètre :

Le wattmètre comprend 2 circuits électriques : un circuit intensité et un circuit tension.



**Attention :** Lors de l'utilisation du wattmètre, il faut respecter séparément les calibres tension et intensité et non le calibre puissance.

**Exemple :** Mesure de la puissance absorbée par une lampe.



## Le disjoncteur thermique à bilame

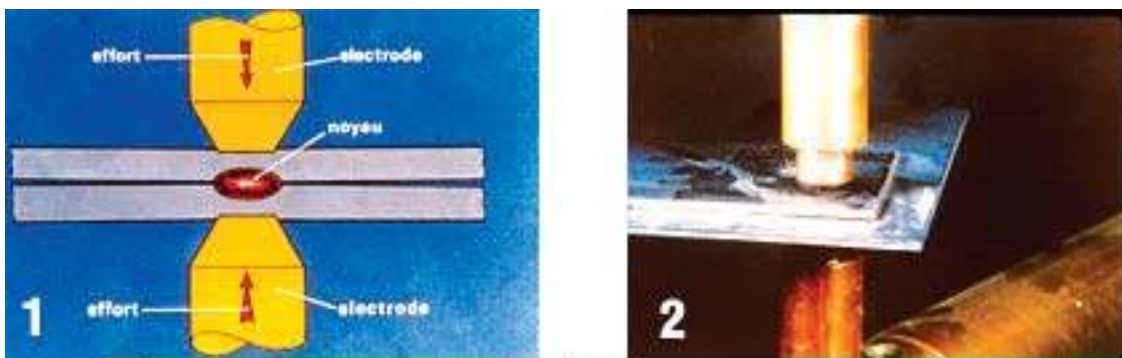
Le disjoncteur à bilame se base sur une technologie électromécanique. La lame est attachée à une extrémité et repose à l'autre sur un contacteur. Au sein de la lame circule un courant qui va libérer de l'énergie par effet joule. A courant nominal, un équilibre s'établit entre l'énergie apportée par effet joule et les pertes par conduction et convection, la température de la lame reste constante et insuffisante pour mettre en mouvement la lame. Cependant pour un courant supérieur au courant nominal, l'équilibre est rompu et la température de la lame se met à augmenter. L'élévation de température induit la dilatation du bilame et l'ouverture du circuit si la température devient très importante. Le circuit ouvert entraîne l'ouverture du réseau.



Disjoncteur thermique à bilame

## Soudage par résistance par points

En soudage par résistance par points, les pièces à souder sont serrées entre deux électrodes de cuivre énergiquement refroidies. Au passage du courant à basse tension, il y a échauffement par effet Joule dans toute l'épaisseur des pièces au droit des électrodes. Les résistances de contact électrode-pièce devant être le plus faible possible, l'échauffement maximal se produit à l'interface des pièces et, à la faveur de ce contact, il se forme un noyau de métal liquide maintenu en place grâce à l'effort exercé par les électrodes.

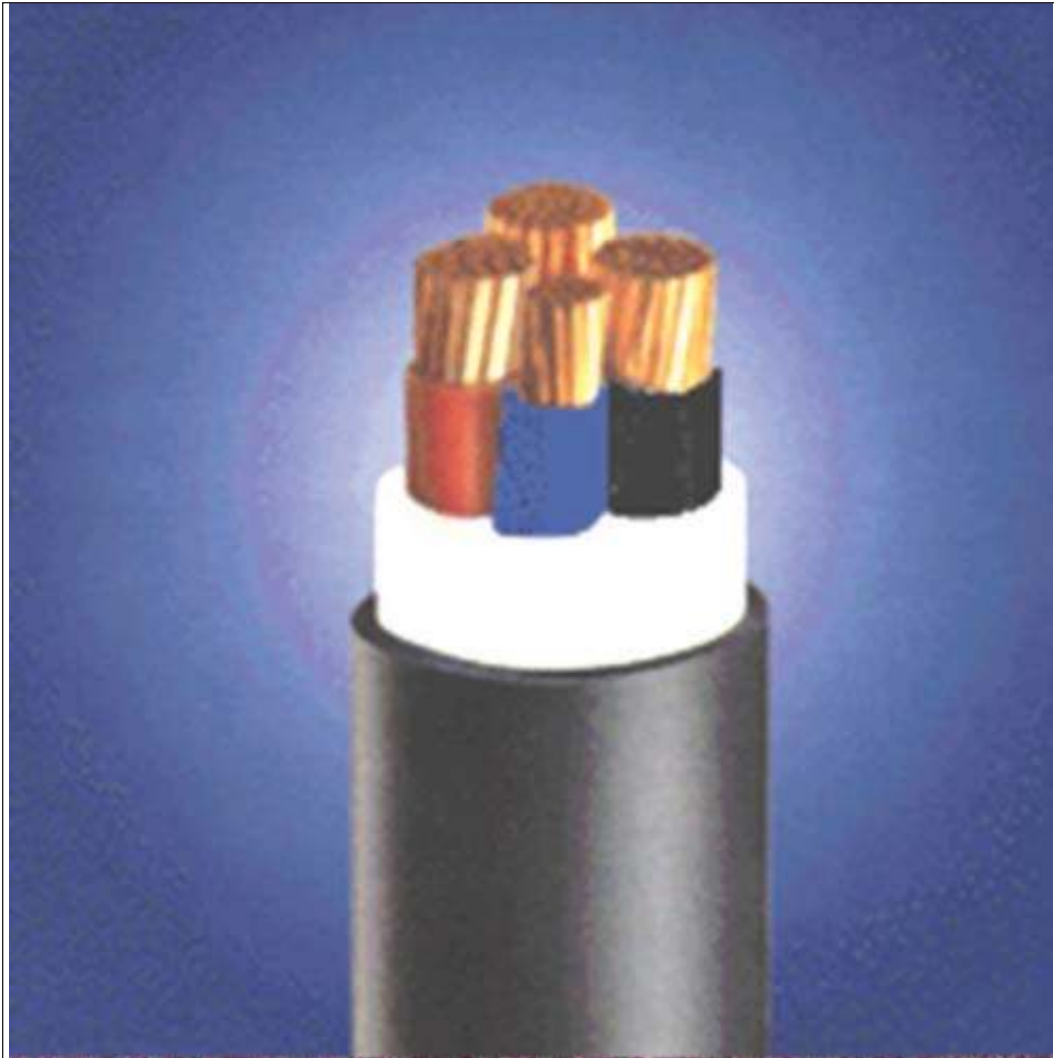


Soudage par points : principe (photo 1)

Soudage par points : opération en cours (photo 2)

## Chapitre 2

# Conductibilité électrique



Certains câbles sont destinés aux installations domestiques, logements, bureaux. D'autres câbles sont destinés aux installations industrielles courantes, notamment en cas de température ambiante élevée. Ces conducteurs sont généralement en cuivre.



## Contenu du chapitre 2

- ◆ Bons et mauvais conducteurs.
- ◆ Notion de résistance électrique.
- ◆ Influence de la température.

# Conductibilité électrique

## Je dois être capable :

- ❖ de comparer des conductibilités électriques.
- ❖ de mesurer une résistance électrique avec un ohmmètre.

## Je dois d'abord tester mes acquis

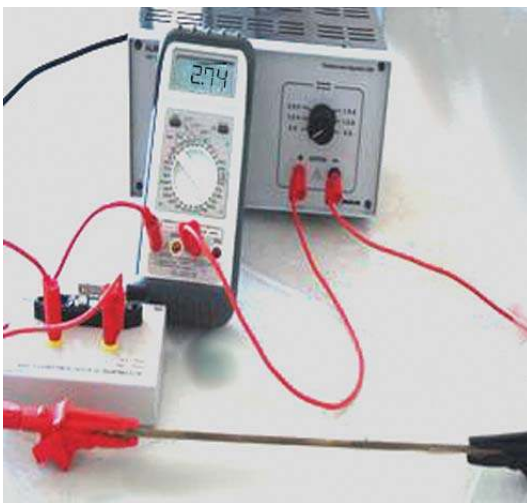
- 1- Qu'est ce qu'un circuit électrique ?
- 2- Définir les mots suivants: conducteur ; isolant.
- 3- Citer cinq conducteurs et cinq isolants électriques.
- 4- Quelle est la nature du courant électrique dans un conducteur métallique ?
- 5- Comment mesurer l'intensité du courant électrique ?
- 6- Quelle propriété vérifie le courant électrique dans un circuit en série ?
- 7- Je recopie sur mon cahier d'exercices puis je complète les phrases suivantes :
  - Dans tous les conducteurs parcourus par .....,une partie ou la totalité de l'énergie électrique se transforme en.....Ce phénomène s'appelle .....
  - L'effet joule est la ..... de l'énergie électrique en énergie .....
  - Dans le filament d'une lampe à incandescence, ..... entraîne une élévation de la température (plus de 2500°C).

## Je construis mes savoirs

### 1 Pourquoi les fils de connexion sont en cuivre et non en fer ?



- Réaliser le montage schématisé ci-dessous (figure1) comprenant en série un générateur de courant continu, un interrupteur, un ampèremètre et un fil en **cuivre** .
- Régler la tension délivrée par le générateur sur 6V. Fermer l'interrupteur et noter l'intensité  $I_1$  du courant qui traverse le circuit.
- Reprendre la même expérience en remplaçant le fil de cuivre par un fil de **fer** de mêmes dimensions (figure2) et noter l'intensité  $I_2$  du courant qui traverse le circuit.



(Figure 1) le fil est en cuivre



(Figure 2) le fil est en fer



$I_2 < I_1$  , Le courant circule plus difficilement dans le second circuit.



- Le cuivre et le fer sont de bons conducteurs du courant électrique .
- Le fil de fer est **moins bon conducteur** qu'un fil de cuivre de mêmes dimensions.

Un fil de fer présente une plus grande opposition au passage du courant électrique qu'un fil de cuivre de mêmes dimensions.

### 2 Qu'appelle-t-on conductibilité électrique ?



Tous les matériaux n'ont pas les mêmes propriétés conductrices. Le courant électrique circule dans certains matériaux beaucoup plus facilement que dans d'autres.

**Exemple:** le cuivre conduit mieux le courant électrique que le fer.

On dit que le cuivre a une conductibilité électrique meilleure que celle du fer.

La conductibilité électrique caractérise la propriété d'un matériau de conduire plus ou moins bien le courant électrique.

Pour rendre compte de la conductibilité électrique d'un matériau, on définit une grandeur appelée **conductivité** notée  $\sigma$ . L'inverse de la conductivité est appelée **résistivité** notée  $\rho$ .

 <b>Conductivité croissante</b>	<b>Argent.</b> <b>Cuivre</b> <b>Aluminium</b> <b>Tungstène</b> <b>Fer</b> <b>Plomb</b> <b>Maillechort (Cu 60 %, Zn 25 %, Ni 15%)</b> <b>Manganine (Cu 84%, Mn 12%, Ni 4%)</b> <b>Constantan (Cu 60%, Ni 40%)</b> <b>Ferro-nickel (Fe 75%, Ni 25%)</b> <b>Nichrome (Ni 60%, Cr 12%, Fe 28%)</b>	<b>Résistivité croissante</b> 
---	--	--

Classification de certains conducteurs en fonction de leur conductivité électrique

On distingue :

- les bons conducteurs** comme les métaux purs (l'argent ,le cuivre, l'aluminium...) et les alliages métalliques (maillechort , constantan....) ;
- les isolants** qui sont de très mauvais conducteurs (les matières plastiques, le bois, la céramique...) ;
- les semi-conducteurs** (silicium, germanium.) qui ont une conductivité intermédiaire entre celle des conducteurs et celle des isolants.

➤ **Interprétons la conduction électrique des métaux**

Les atomes des métaux possèdent certains électrons appelés électrons libres qui sont peu liés au noyau. Ces électrons peuvent circuler dans le métal.

Dans un circuit fermé, sous l'action d'un générateur, ces électrons prennent un mouvement d'ensemble ordonné expliquant le passage d'un courant électrique.

Par contre, les atomes d'un isolant ne possèdent pratiquement pas d'électrons libres.

**3 Les dimensions d'un conducteur influent-elles sur le courant qui le traverse ?**

**Influence de la longueur :**



- Réaliser un circuit électrique comprenant un générateur de courant continu (6V) et un ampèremètre placé en série.
- Intercaler un fil en **cuivre** et fixer les pinces au fil conducteur à 50cm l'une de l'autre.

- Noter l'intensité du courant qui traverse le circuit.
- Refaire la mesure avec les pinces espacées de 100cm.



Expérience 1



Expérience 2



Plus un fil est long, plus l'intensité du courant qui le traverse est faible, plus son opposition au passage du courant électrique est grande.



L'opposition au passage du courant électrique d'un fil conducteur augmente avec sa longueur.

### Influence de la section :



- Opérer de la même façon comme précédemment.  
Utiliser des fils conducteurs cylindriques de même nature et de même longueur. Intercaler le fil conducteur le plus fin. Noter l'intensité du courant qui traverse le circuit (figure a).
- Refaire la mesure en utilisant un fil conducteur de plus grande section (figure b).



( Figure a )



( Figure b )



Plus la section d'un fil est grande, plus l'intensité du courant qui le traverse est grande.



L'opposition au passage du courant électrique d'un fil conducteur diminue avec sa section.

### **Influence de la nature du conducteur.**

On a déjà comparé(1) la conductibilité de certains matériaux de mêmes dimensions (fil de cuivre et fil de fer ). On a constaté que l'opposition au passage du courant varie d'un conducteur à un autre.



L'opposition au passage du courant électrique dépend de la nature du conducteur.

L'opposition au passage du courant électrique d'un conducteur :

- dépend de la nature du matériau qui le constitue ;
- augmente avec sa longueur ;
- diminue quand sa section augmente.

Cette opposition est caractérisée par une grandeur appelée **résistance** du conducteur. La résistance symbolisée par la lettre **R** est une grandeur mesurable. Elle s'exprime en **ohm** de symbole  $\Omega$  (se lit oméga). On la mesure à l'aide d'un appareil appelé **ohmmètre**.

**4**

### **Comment mesurer la résistance d'un conducteur à l'aide d'un ohmmètre ?**

Utiliser la fonction «ohmmètre» d'un multimètre numérique pour mesurer la résistance d'un dipôle.


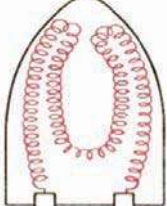

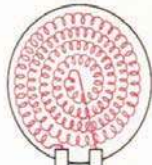
La lecture de la résistance s'effectue de la façon suivante :

1. Débrancher le dipôle à étudier de son circuit et sélectionner le calibre le plus élevé de l'ohmmètre (généralement 20 M $\Omega$ ).
2. Connecter les bornes du dipôle aux bornes de l'ohmmètre, le sens de branchement est indifférent.
- 3- Passer au calibre le plus adéquat.
- 4- Lire la valeur indiquée en tenant compte de l'unité affichée ( $\Omega$  ou k $\Omega$ ).



(Pour plus de détails voir « comment ça marche ? »)

## Exemples d'appareils domestiques utilisant un conducteur chauffant

		<p><b>Le fer à repasser électrique</b> Le fil conducteur, enroulé sur deux feuilles de mica, est séparé de la semelle métallique par d'autres feuilles isolantes.</p>
		<p><b>le réchaud électrique</b> La résistance chauffante est logée dans un bloc isolant en céramique.</p>

Dans les appareils de chauffage par résistance : fers à repasser, réchauds, radiateurs, fours et cuisinières électriques..., le courant traverse des résistances en alliage inoxydable de faible conductibilité (ferro-nickel, nichrome), qui peuvent être portées au rouge sans fondre.

### 5 Influence de la température sur la résistance d'un conducteur.



A l'aide d'un ohmmètre, mesurer la résistance d'un conducteur métallique (filament en tungstène d'une ampoule) à deux températures nettement différentes.



La résistance du filament en tungstène d'une ampoule à chaud est nettement plus élevée qu'à froid.

La résistance électrique d'un conducteur métallique croît avec la température.



Refaire la même expérience avec un bâtonnet en carbone.



La résistance électrique d'un bâtonnet en carbone décroît quand la température augmente.

**Remarque:** Cette propriété est commune à toute une famille de matériaux qui sont les **semi-conducteurs**.

La résistance électrique d'un semi-conducteur diminue quand sa température augmente.



Refaire la même expérience avec une solution aqueuse ionique. Noter votre observation.

La résistance électrique d'une solution ionique diminue quand sa température augmente.



On appelle « **résistor** » tout dipôle passif dont la résistance reste constante dans un large domaine de fonctionnement.

**Remarque :** Certains matériaux ont la propriété de devenir, à de très basse température, des conducteurs parfaits. Leur résistance électrique est alors pratiquement nulle. Ces matériaux sont appelés **supraconducteurs**.

## *L' ESSENTIEL*

La conductibilité électrique caractérise la propriété d'un matériau de conduire (plus ou moins bien) le courant électrique.

Pour la plupart des matériaux, plus la température est basse plus la conductibilité est grande.

La résistance électrique d'un fil conducteur :

- dépend de la nature du matériau qui le constitue ;
- augmente avec sa longueur ;
- diminue quand sa section augmente.

La résistance varie avec la température :

- elle augmente avec la température pour les conducteurs métalliques.
- elle diminue lorsque la température augmente pour les solutions ioniques et pour les semi-conducteurs.

Pour mesurer la résistance d'un dipôle, on peut utiliser un ohmmètre ou un multimètre après le choix de la fonction appropriée.

L'unité de la résistance est l'ohm de symbole :  $\Omega$



<http://www.ac-nice.fr/techno/elec/resist.htm>  
<http://loiclecardonnel.free.fr/res/rescours.htm>  
<http://www.lomag-man.org/electronique/ohm%20resistance.htm>  
[http://www.cuivre.org/le\\_cuivre/proprietes\\_cuivre/index.htm](http://www.cuivre.org/le_cuivre/proprietes_cuivre/index.htm)  
<http://www.ac-nancymetz.fr/enseigner/physique/logiciels/crocodile/crocodi1.htm>

# EXERCICES EXERCICES

## Est-ce que je connais ?

- 1 Comment montrer qu'un corps est meilleur conducteur qu'un autre ?
- 2 Un fil fin est-il plus ou moins résistant qu'un fil plus épais de même nature et de même longueur ?
- 3 Je recopie et je complète les phrases suivantes :
  - La résistance d'un fil métallique dépend de sa..... et de sa.....
  - La résistance s'exprime en ..... noté .....
- 4 Recopier les phrases suivantes en choisissant la bonne réponse :
  - a- L'ajout d'une résistance dans un circuit fait *augmenter* / *baisser* l'intensité.
  - b- Plus un fil métallique est long, plus sa résistance est *forte* / *faible*.
  - c- Plus la section d'un fil métallique est *grande* / *petite*, plus la résistance du fil est petite.
- 5 Je recopie les phrases et je coche la bonne réponse :
  - Dans un circuit simple allumage ( une lampe et un générateur en série), on doit placer le résistor avant la lampe pour commander son éclairage.
  - Le sens de branchement du résistor n' a pas d'importance, c'est un dipôle non polarisé.
  - Pour avoir une intensité la plus petite possible dans un circuit, on doit choisir un résistor dont la résistance est très petite.
  - L'ohmmètre se branche en dérivation avec le dipôle dont on veut mesurer la résistance sans le déconnecter du circuit.
- 6 Je recopie et je complète la phrase suivante avec les mots convenables :
  - a- La résistance d'un conducteur métallique .....avec la température, tandis que celle d'un alliage..... avec la température.
  - b- Pour mesurer la résistance d'.....on peut utiliser la fonction ..... d'un .....

## Est-ce que je sais appliquer ?

1 Je réponds par vrai ou faux et je corrige s'il ya lieu :

On veut comparer les résistances de 3 fils métalliques cylindriques dont les différents matériaux utilisés sont : nickel-chrome, fer, cuivre.

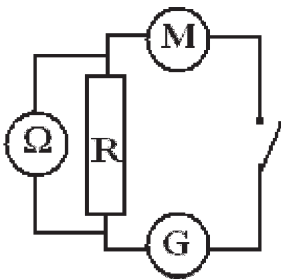
a- Les trois fils ont la même résistance car ils ont la même forme : sections et longueurs sont identiques.

b- Les facteurs géométriques dont dépend la résistance d'un fil métallique sont son diamètre et sa longueur.

c- Les facteurs qui sont maintenus constants sont la longueur et le type de matériau.

2 Je choisis la bonne réponse :

On veut mesurer la valeur de la résistance d'un résistor à l'aide d'un ohmmètre.



a- Ce n'est pas possible de mesurer sa valeur à l'ohmmètre car le résistor est déjà mis dans le circuit.

b- C'est possible de mesurer sa valeur à l'ohmmètre car le résistor est déjà mis dans le circuit.

c- Le montage choisi pour mesurer à l'ohmmètre est correct.

## Est-ce que je sais raisonner ?

Voici un extrait de pages publiées sur l'Internet :

<http://www.tunisie-cables.com.tn/html/page3.htm#Câbles basse tension>

### Normes

BS 6500

NFC 32201

### Constitution

1- Ame souple en cuivre

2- Enveloppe isolante en PVC

3- Gaine en PVC

### Utilisation

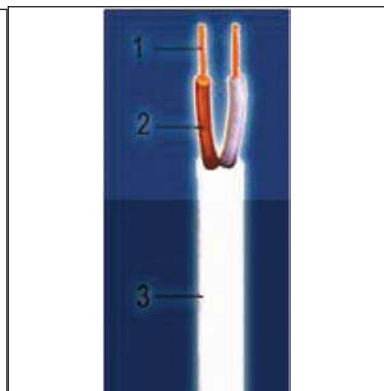
Alimentation d'appareils électrodomestiques mobiles ou semi-fixes.

Température maximale admissible sur l'âme :

- en permanence : 70°C

- en court circuit : 160°C

Tension de service : 300/300 V



### CONDUCTEUR EN ALLIAGE D'ALUMINIUM (AAAC) Normes

BS 3242

DIN 48201

NFC 34125

### Utilisation

Les conducteurs nus en fil d'alliage d'aluminium ou en aluminium renforcé par des fils d'acier zingué sont utilisés pour la distribution aérienne d'énergie.

Pourquoi utilise-t-on les fils en cuivre pour l'alimentation des appareils électrodomestiques ?

Pourquoi utilise-t-on des câbles en alliage d'aluminium pour la distribution aérienne d'énergie ?

## Suis-je capable de ?

Trouver quelques applications des semi-conducteurs et des supraconducteurs.

# Activité documentaire

## Les semi-conducteurs

### Les semi-conducteurs intrinsèques.

Des corps tels que le carbone, le silicium et le germanium présentent, par l'agencement de leurs atomes, une organisation semblable à celle d'un cristal. Ils ont une résistivité intermédiaire entre celle des bons conducteurs et celle des isolants: ce sont des semi-conducteurs. Mais les semi-conducteurs se distinguent aussi des conducteurs métalliques par l'évolution de leurs propriétés en fonction de la température. Toutes choses étant égales par ailleurs, la résistance d'un semi-conducteur diminue quand sa température augmente, alors que l'on observe le phénomène inverse pour les conducteurs métalliques. Quand on élève la température d'un semi-conducteur, certains électrons arrivent à s'échapper des atomes, et, devenus libres, peuvent participer à la conduction électrique.

### Les semi-conducteurs dopés

En incorporant une quantité infime d'atomes étrangers aux atomes d'un semi-conducteur, on augmente considérablement la conductivité électrique de celui-ci; on dit qu'il est dopé.

On dope le silicium (Si) avec des atomes d'arsenic (As) ou d'indium (In). Ces atomes ayant sensiblement la même taille que ceux de silicium, ils peuvent s'introduire dans le cristal sans détruire son édifice. Chaque atome d'arsenic remplace donc un atome de silicium, mais il apporte au cristal semi-conducteur un électron supplémentaire.

Le cristal de silicium ainsi dopé contient autant d'électrons libres que d'atomes d'arsenic. La conduction électrique est donc assurée par ces électrons libres, porteurs de charges négatives: on dit alors que le semi-conducteur dopé est de type N.

Il existe aussi des semi-conducteurs dopés dits de type P, dans lesquels tout se passe comme si la conduction était assurée par des charges positives.

Avec des semi-conducteurs de type P et de type N, on réalise des composants électroniques tels que diodes, transistors, puces...

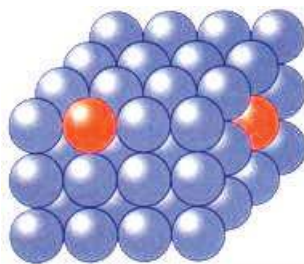


Figure 1. Cristal de semi-conducteur dopé

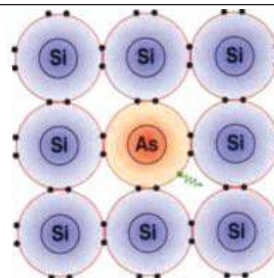


Figure 2. Schéma électronique

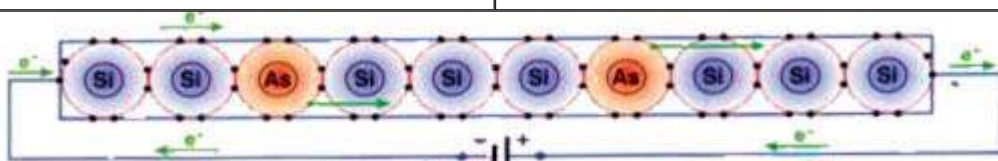


Figure 3. Mouvement des électrons dans un semi-conducteur de type N

### **Les semi-conducteurs organiques.**

Les matières plastiques étaient depuis longtemps connues pour leur pouvoir isolant. On découvre aujourd'hui qu'elles peuvent être transformées en matériaux semi-conducteurs, capables de conduire des ions ou des électrons. C'est en 1977 que les polymères, conducteurs intrinsèques (PCI), ont vu le jour. Leurs applications exploitent les propriétés mécaniques de plastiques et s'avèrent très prometteuses.

#### **Questions**

1. Quelles propriétés distinguent un semi-conducteur d'un conducteur métallique?
2. Décrire le principe du dopage du silicium. A quelle condition la structure du cristal de silicium n'est-elle pas altérée par l'introduction d'atomes étrangers ?
3. Expliquer l'origine de la conductibilité électrique d'un semi-conducteur dopé de type N.
4. Le silicium élaboré pour la fabrication des composants électroniques doit être extrêmement pur. Justifier.
5. Quels sont les nouveaux semi-conducteurs en cours de développement?

# Comment ça marche ?

## Comment mesurer la résistance d'un conducteur à l'aide d'un ohmmètre ?

Utiliser la fonction «ohmmètre» d'un multimètre numérique pour mesurer la résistance d'un dipôle.

### • Première étape: préparation du multimètre

1. Mettre l'appareil sous tension (commutateur sur ON) et placer l'index du contacteur rotatif sur l'un des calibres de la fonction ohmmètre ( $\Omega$ ).
2. Brancher un fil à la borne «COM» et un fil à la borne « $\Omega$ ».

### • Deuxième étape: contrôle de l'ohmmètre

1. En l'absence de contact entre les deux fils branchés, le chiffre 1 doit être affiché sur tout calibre (résistance de l'air très élevée).
2. Les deux fils étant en contact, la valeur 0 doit être affichée, indiquant que les bornes de l'ohmmètre sont en court-circuit (résistance nulle).

### • Troisième étape: lecture de la résistance

1. Débrancher le dipôle à étudier de son circuit et sélectionner le calibre le plus élevé de l'ohmmètre (généralement 20 M  $\Omega$ ).
- 2- Connecter les bornes du dipôle aux bornes de l'ohmmètre à l'aide des fils branchés lors de la première étape; le sens de branchement est indifférent.
- 3- Diminuer progressivement le calibre par rotation du sélecteur rotatif, jusqu'à ce que la valeur affichée soit comprise entre le calibre sélectionné et le calibre immédiatement inférieur. Remarque que, dans ces conditions, l'affichage donne trois chiffres significatifs.
- 4- Lire la valeur de la résistance en tenant compte:
  - de l'unité affichée ( $\Omega$  ou k $\Omega$ );
  - de la place du point qui remplace la virgule pour les nombres décimaux.



Figure 1. Mise en service et contrôle du fonctionnement de l'ohmmètre

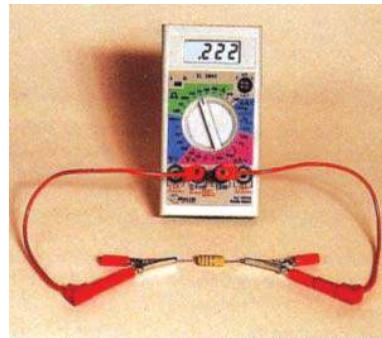


Figure 2. Sur le calibre 2k  $\Omega$  l'affichage indique 222, c'est-à-dire 0,222 k  $\Omega$  soit 222  $\Omega$

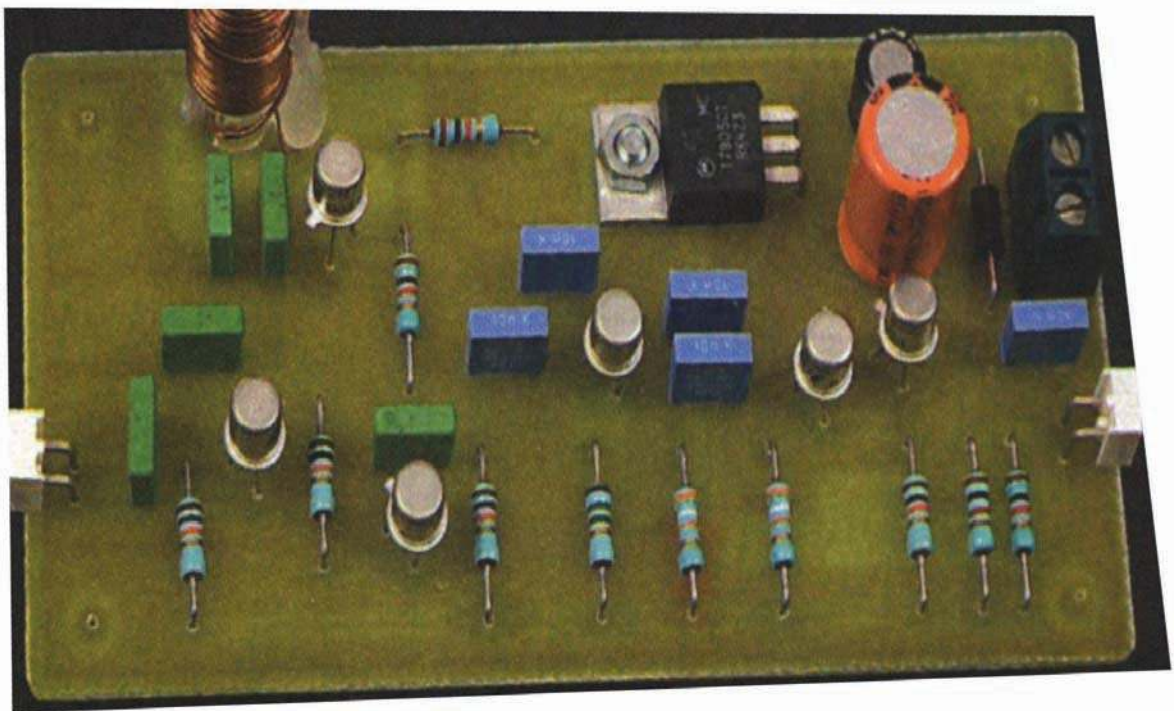
### Remarque :

L'ohmmètre ne mesure pas la résistance d'un conducteur si ce dernier est :

- sous tension.
- inséré dans un circuit fermé.

## Chapitre 3

# Caractéristiques des dipôles passifs et actifs



Le circuit de cette maquette est essentiellement formé par des composants électroniques très courants. Parmi ces composants il y a plusieurs dipôles.

## Contenu du chapitre 3

- ◆ Caractéristiques des dipôles récepteurs passifs.
- ◆ Caractéristiques des dipôles récepteurs actifs
- ◆ Caractéristique d'un dipôle générateur.
- ◆ Adaptation d'un dipôle récepteur à un dipôle générateur.

# Caractéristiques des dipôles récepteurs passifs

## Je dois être capable :

- ❖ de construire la caractéristique d'un dipôle.
- ❖ de reconnaître le résistor par l'aspect de sa caractéristique.
- ❖ d'appliquer la loi d'Ohm relative au dipôle résistor.
- ❖ de lire la valeur de la résistance en utilisant le code des couleurs.
- ❖ déterminer la résistance du dipôle équivalent à l'association de conducteurs ohmiques en série, en parallèle et à l'association mixte.
- ❖ d'appliquer la loi de Joule.

## Je dois d'abord tester mes acquis



1- En utilisant ce tableau, identifier par leur numéro :

- Les dipôles récepteurs.
- Les dipôles générateurs.
- Les dipôles récepteurs passifs.
- Les dipôles récepteurs actifs.

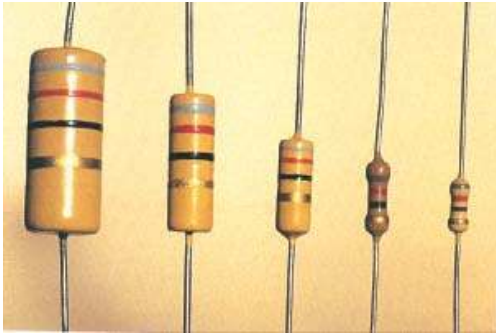
2- Nommer les dipôles se trouvant dans le tableau précédent.

3- Sur le dipôle n° 6 est indiqué :  $I_m = 1 \text{ A}$  ;  $U_m = 6 \text{ V}$ .

Que signifient ces indications ?

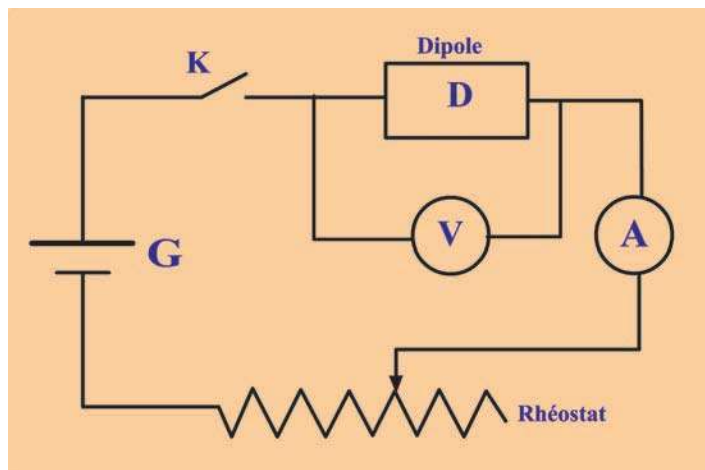
Déterminer la puissance maximale que peut supporter ce dipôle.

## Je construis mes savoirs :



### 1 Qu'appelle t-on caractéristique d'un dipôle ?

Dans le montage ci-dessous, le rhéostat permet de modifier l'intensité  $I$  du courant qui traverse le dipôle (D).



Pour différentes valeurs de  $I$ , mesurer les valeurs de la tension  $U$  aux bornes du dipôle D.



Il existe une relation entre l'intensité  $I$  du courant qui traverse le dipôle D et la tension  $U$  entre ses bornes. Cette relation peut s'écrire :  $U = f(I)$  ou  $I = g(U)$ .

- La courbe représentative de la relation  $U = f(I)$  s'appelle caractéristique intensité-tension du dipôle.
- On appelle caractéristique tension-intensité du dipôle la courbe représentative de la relation  $I = g(U)$ .

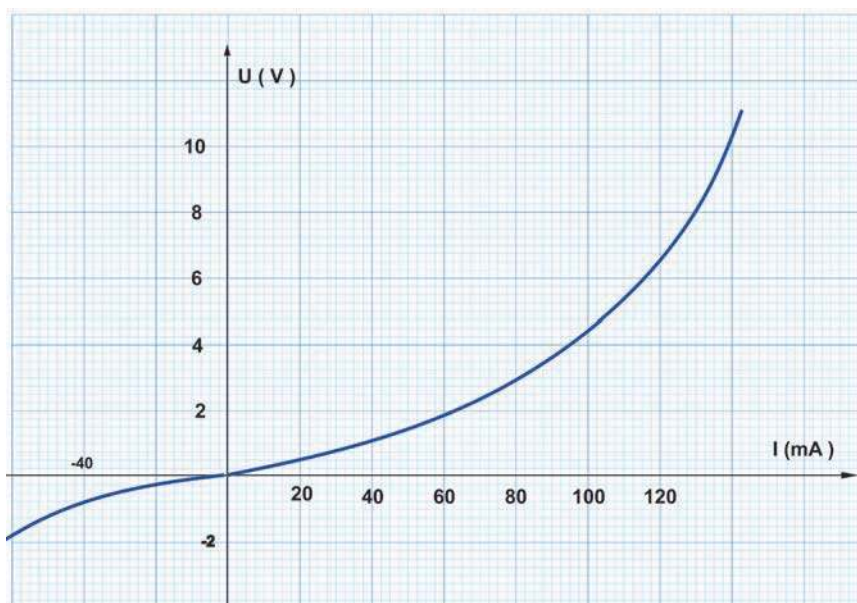
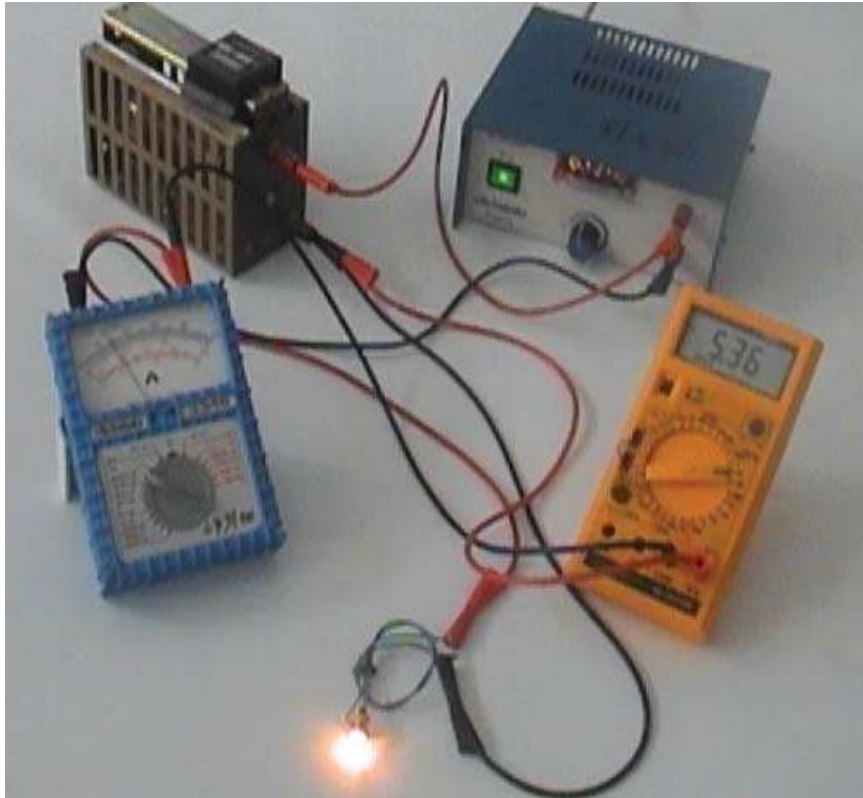
2

## Caractéristiques intensité-tension de quelques dipôles passifs.

### Caractéristique d'une lampe à incandescence.



- Remplacer le dipôle (D) dans le montage précédent par une lampe à incandescence.
- Relever les couples (I, U) et tracer la caractéristique intensité-tension de cette lampe.



- La caractéristique intensité-tension d'une lampe à incandescence passe par l'origine.
- La caractéristique intensité-tension d'une lampe n'est pas linéaire.
- Les images des couples (I, U) relatives à la lampe sont symétriques par rapport à l'origine.



- La lampe à incandescence est un dipôle passif.
- La lampe à incandescence est un dipôle non linéaire.
- La lampe à incandescence est un dipôle symétrique.

La lampe à incandescence est un dipôle récepteur passif non linéaire

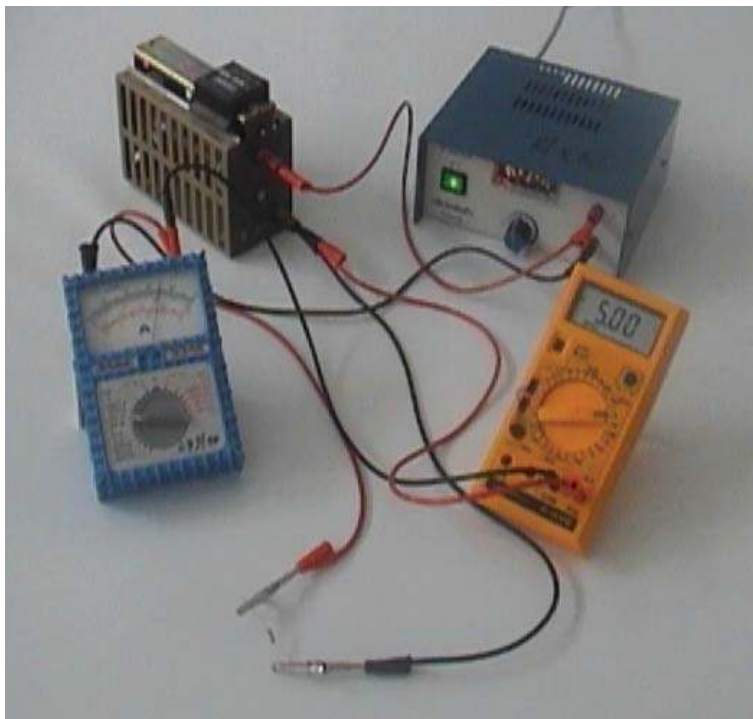
### Pourquoi la caractéristique n'est pas linéaire

En imposant une tension  $U$  aux bornes de la lampe, on peut obtenir l'incandescence lorsque son filament devient suffisamment chaud. La résistance  $R$  du filament varie avec la température : c'est pourquoi la caractéristique n'est pas linéaire.

### Caractéristique d'un résistor



- Reprendre le circuit précédent où (G) est un générateur (alimentation stabilisée) et le dipôle (D) est un résistor.



- Pour un premier résistor relever les couples des valeurs (I, U) et les dresser dans un tableau.

- Reprendre le même travail pour un deuxième résistor différent du premier.
- Porter, dans un même repère, les images des couples (I, U) relatives à chacun des deux résistors.

Exemple :

**Résistor 1**

I (mA)	0	8,0	9,8	13,5	17,5	19,0	21,5	24,3	33,3
U (V)	0	1,75	2,15	3,00	3,80	4,20	4,75	5,35	7,33

**Résistor 2**

I (mA)	0	8,0	9,8	13,5	17,5	19,0	21,5	24,3	33,3
U (V)	0	2,60	3,20	4,50	5,70	6,30	7,25	8,0	10,50

- Inverser les pôles du dipôle et compléter le tableau pour  $U < 0$  et  $I < 0$ .

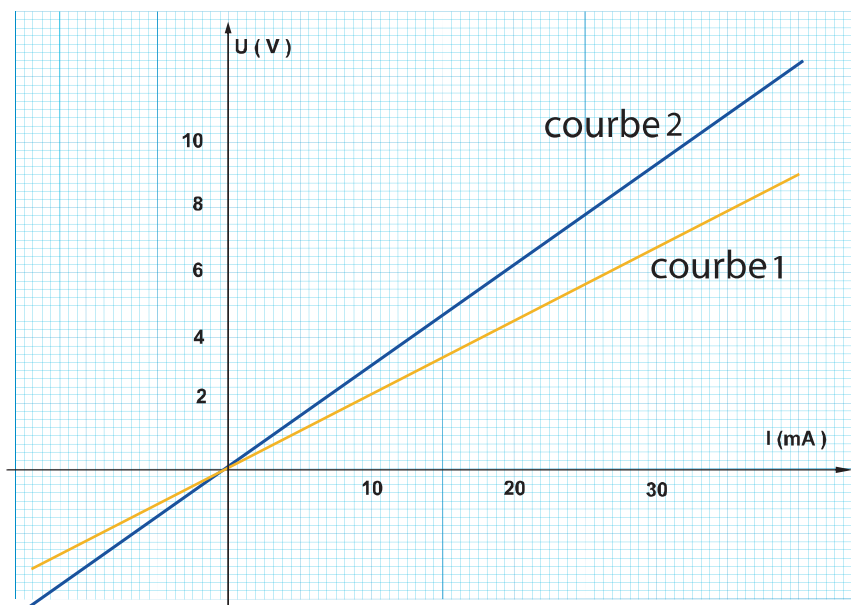
Exemple:

**Résistor 1**

I (mA)	0	- 8,0	- 10	- 15	- 20	- 25
U (V)	0	- 1,75	- 2,2	- 3,15	- 4,4	- 5,4



- Dans les deux cas, l'intensité I du courant qui traverse le résistor et la tension U entre ses bornes sont en relation. Chaque couple (I, U) définit un état de fonctionnement du résistor.
- Pour un résistor, U et I varient dans le même sens.



- Dans un diagramme cartésien, les images des couples (I, U) relatives à chacun des résistors sont pratiquement alignées sur un segment de droite qui passe par l'origine.
- Les images des couples (I, U) relatives à chacun des résistors sont symétriques par rapport à l'origine.

La courbe représentative de la relation  $U = f(I)$  obtenue en joignant les images des couples (I, U) est appelée caractéristique du dipôle résistor.  
La caractéristique du résistor ainsi que celle de tout dipôle passif passe par l'origine.  
Le dipôle résistor est un dipôle symétrique.

### 3 Quelle est la relation entre la tension U aux bornes d'un résistor et l'intensité I du courant qui le traverse ?

La tension U aux bornes d'un résistor est proportionnelle à l'intensité I du courant qui le traverse.

**$U = a \cdot I$**  avec « a » : constante de proportionnalité positive  
Graphiquement : « a » représente la pente de la caractéristique intensité-tension du résistor.

D'après les tracés, les deux caractéristiques n'ont pas la même pente **a**. A chaque résistor correspond une valeur de **a**. D'où **a** caractérise le dipôle résistor.

$I = \frac{U}{a}$ , lorsque le coefficient **a** augmente l'intensité I du courant diminue. Ce coefficient caractérise l'opposition du résistor au passage du courant électrique :

**C'est sa résistance, notée R.**



- A l'aide d'un ohmmètre, mesurer la valeur de la résistance **R** du dipôle résistor.
- Déterminer graphiquement la valeur de la pente **a**.



- La comparaison des deux valeurs donne **a = R**.
- La tension U aux bornes d'un résistor est reliée à l'intensité I du courant qui le traverse par la relation :  **$U = R \cdot I$**

La tension U est exprimée en volts (V), l'intensité I du courant est en ampères (A) et la résistance R est en Ohm ( $\Omega$ ).

La tension U aux bornes d'un résistor est proportionnelle à l'intensité I du courant qui le traverse. Le coefficient de proportionnalité est la résistance R du dipôle résistor.

$$U = R \cdot I$$

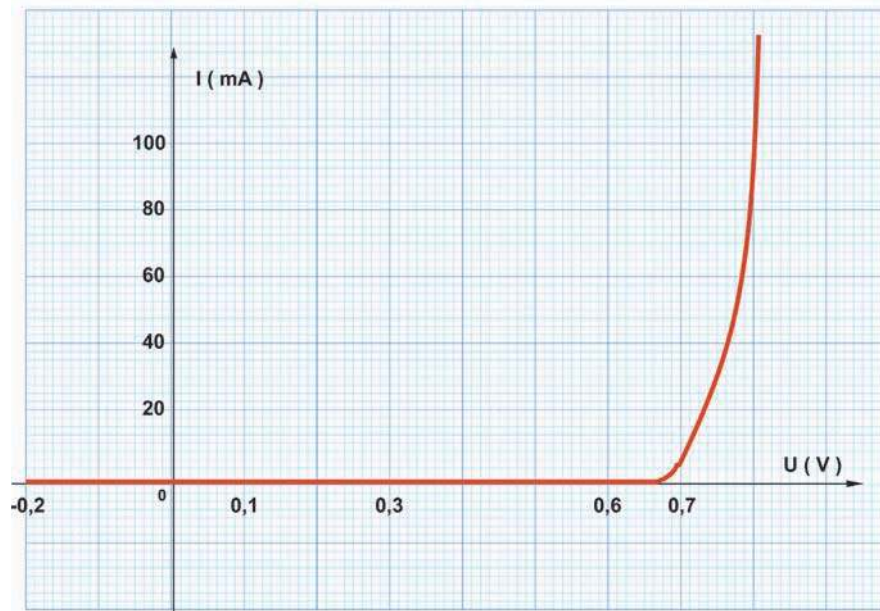
*C'est la loi d'Ohm relative à un résistor.*

4

## La diode est-elle un récepteur passif linéaire ?



En suivant la même démarche expérimentale, tracer la caractéristique tension-intensité d'une diode.



- La caractéristique tension-intensité d'une diode passe par l'origine.
- La caractéristique n'est pas linéaire.
- La caractéristique n'est pas symétrique.

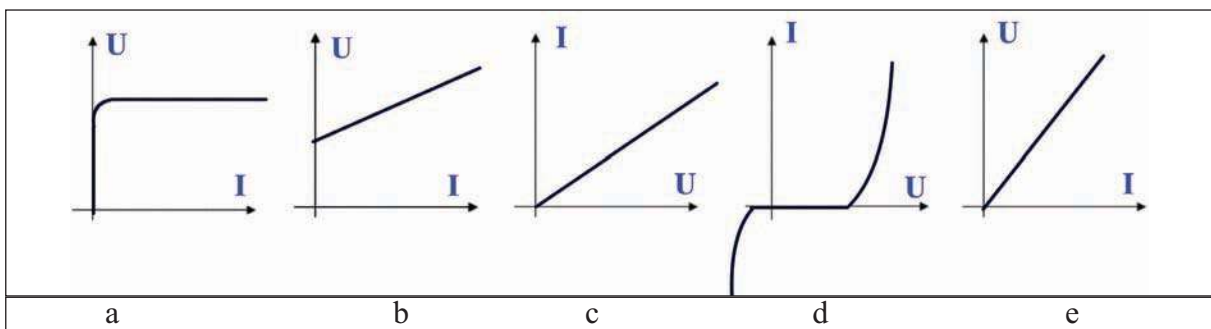


- La diode est un dipôle passif.
- La diode est un dipôle non linéaire.
- La diode est un dipôle dissymétrique.

La diode est un dipôle récepteur passif non linéaire.

### Application :

On donne les caractéristiques suivantes :



Parmi ces caractéristiques, identifier celle(s) qui correspond(ent) à un dipôle résistor.

## 5 Comment déterminer la valeur de la résistance d'un résistor ?

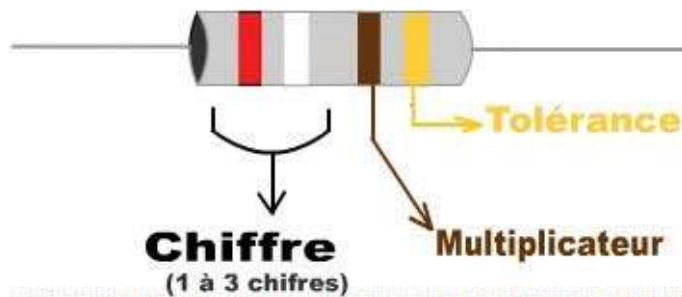
### ■ A partir de la loi d'Ohm :

Connaissant la valeur de l'intensité  $I$  du courant qui traverse le résistor et la tension entre ses bornes, on peut déterminer la valeur de sa résistance  $R$ .

$$( R = \frac{U}{I} )$$

### ■ Par le code des couleurs :

La valeur de la résistance d'un résistor utilisé en électronique est inscrite sur le corps du résistor sous forme d'un code utilisant une échelle de couleurs.



### Echelle de couleurs

Couleur	Chiffres	Multiplicateur	Tolérance
Noir	0	$X 10^0$	0,5 %
Maron	1	$X 10^1$	1 %
Rouge	2	$X 10^2$	2 %
Orange	3	$X 10^3$	
Jaune	4	$X 10^4$	
Vert	5	$X 10^5$	
Bleu	6	$X 10^6$	
Violet	7		
Gris	8		
Blanc	9		
Or		$X 10^{-1}$	5 %
Argent		$X 10^{-2}$	10 %

### Exemple :

Sur le résistor schématisé par la figure ci-dessus sont inscrites les couleurs suivantes :

Rouge      Blanc      Marron      Or  
 2            9             $X 10$       5%

On lit alors :  $29 X 10 \rightarrow R = 290 \Omega$

La tolérance signifie que la valeur de la résistance indiquée par le code de couleurs est comprise entre deux valeurs limites qui sont :

$(R - \text{Tolérance} \cdot R)$  et  $(R + \text{Tolérance} \cdot R)$

Pour l'exemple : Tolérance 5 % (Or)  $\rightarrow R \cdot 5 \% = 14,5$

Alors :  $275,5 \Omega < R < 304,5 \Omega$

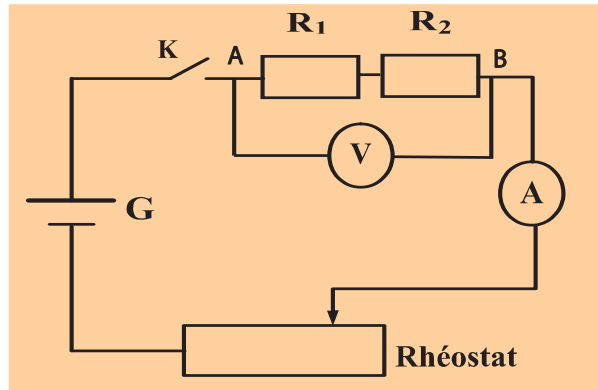
**5** Quelle est la valeur de la résistance d'une association de conducteurs ohmiques en série, en parallèle ou mixte ?

a- association de conducteurs ohmiques en série :

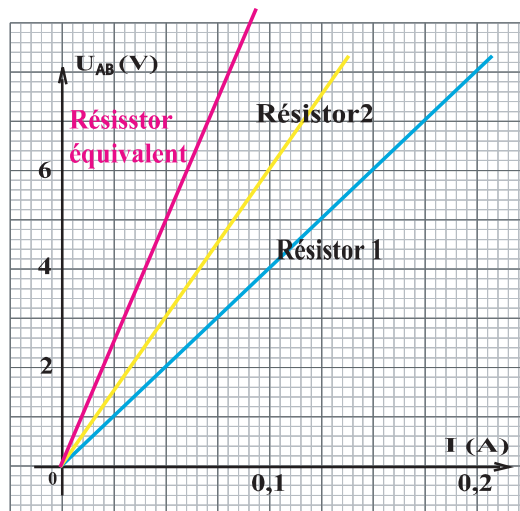


• Réaliser le montage donné par la figure ci-contre où les résistances  $R_1$  et  $R_2$  sont connues:

• Relever les valeurs de la tension  $U_{AB}$  aux bornes de l'association des deux résistors et l'intensité  $I$  qui traverse le dipôle qu'ils constituent.



• Tracer, sur le même graphe, les parties des caractéristiques intensité-tension des dipôles  $R_1$ ,  $R_2$  et celle de l'association pour  $U_{AB} > 0$ .



• La caractéristique de l'association est portée par une droite qui passe par l'origine.  
 • La pente de cette droite est plus grande que celles relatives à chacun des résistors  $R_1$  et  $R_2$ .



• L'association de deux résistors en série de résistances  $R_1$  et  $R_2$  est un dipôle passif linéaire dont la résistance  $R$  est supérieure à  $R_1$  et à  $R_2$ .



• Déterminer graphiquement la résistance  $R$  de l'association des deux résistors en série.  
 • Trouver une relation entre  $R$ ,  $R_1$  et  $R_2$ .



La valeur de la résistance  $R$  de l'association est égale à la somme des résistances des deux dipôles  $R_1$  et  $R_2$ .

- Réaliser une association de 3 conducteurs ohmiques de résistances respectives  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$ .
- Mesurer, à l'aide d'un ohmmètre, la résistance  $R$  de l'association.
- Comparer la valeur de la résistance  $R$  et celles de  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$ .

La valeur de la résistance  $R$  de l'association est égale à  $(R_1 + R_2 + R_3)$ .



• Réaliser une association de 3 conducteurs ohmiques de résistances respectives  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$ .

- Mesurer, à l'aide d'un ohmmètre, la résistance  $R$  de l'association.
- Comparer la valeur de la résistance  $R$  et celles de  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$ .



La valeur de la résistance  $R$  de l'association est égale à  $(R_1 + R_2 + R_3)$ .

**La résistance  $R$  d'une association de  $n$  dipôles résistors en série est égale à la somme des résistances.**

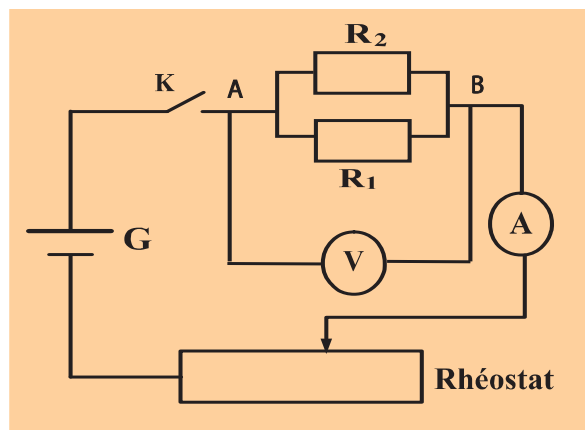
$$R = R_1 + R_2 + \dots\dots\dots R_n.$$

**b- association de conducteurs ohmiques en parallèle :**

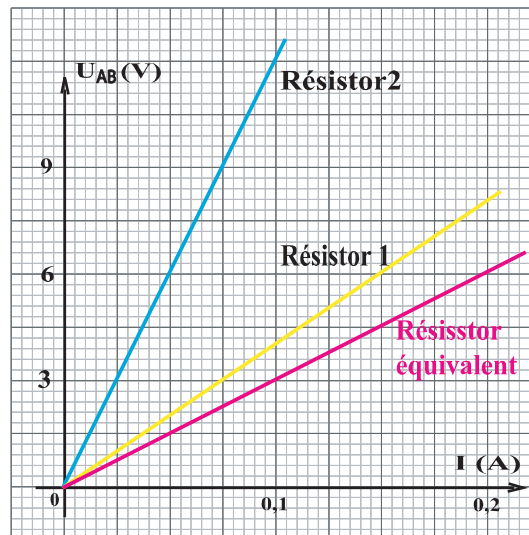


• Réaliser le montage donné par la figure ci-contre où les résistances  $R_1$  et  $R_2$  sont connues:

- Relever les valeurs de la tension  $U_{AB}$  aux bornes de l'association des deux résistors et l'intensité  $I$  qui traverse le dipôle qu'ils constituent pour  $U_{AB} > 0$ .



- Tracer, sur le même graphe, les parties des caractéristiques intensité-tension des dipôles  $R_1$ ,  $R_2$  et celle de l'association pour  $U_{AB} > 0$ .



- La caractéristique de l'association est portée par une droite qui passe par l'origine.
- La pente de cette droite est plus faible que celles relatives à chacun des résistors  $R_1$  et  $R_2$ .



L'association de deux résistors en parallèle de résistances  $R_1$  et  $R_2$  est un dipôle passif linéaire dont la résistance  $R$  est inférieure à  $R_1$  et à  $R_2$ .



L'inverse de la valeur de la résistance  $R$  de l'association est égal à la somme des inverses des résistances  $R_1$  et  $R_2$  des deux dipôles.



• Réaliser une association de 3 conducteurs ohmiques de résistances respectives  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$ .

- Mesurer, à l'aide d'un ohmmètre, la résistance  $R$  de l'association.
- Comparer la valeur de la résistance  $R$  et celles de  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$ .
- Chercher une relation entre  $R$ ,  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$ .
- L'inverse de la résistance  $R$  de l'association est égal à  $\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$
- La conductance  $G$  d'un conducteur ohmique est égale à l'inverse de sa résistance  $R$ . Alors

$G = G_1 + G_2 + G_3$ . L'unité dans le système international de la conductance est le Siemens de symbole S.

**L'inverse de la résistance  $R$  d'une association de  $n$  dipôles résistors en parallèle est égal à la somme des inverses des résistances qui la constituent.**

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

**La conductance d'une association de  $n$  dipôles résistors en parallèle est égale à la somme des conductances des dipôles qui la constituent.**

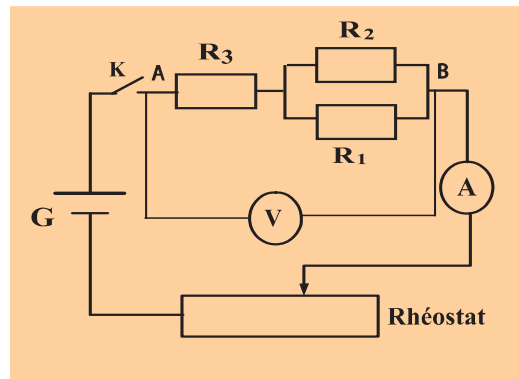
$$G = G_1 + G_2 + \dots + G_n$$

### c- association mixte de conducteurs ohmiques :



• Réaliser le montage donné par la figure ci-contre où les résistances  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$  sont connues.

• Relever les valeurs de la tension  $U_{AB}$  aux bornes de l'association des trois résistors et l'intensité  $I$  qui traverse le dipôle qu'ils constituent pour  $U_{AB} > 0$ .



- Tracer la caractéristique intensité-tension de l'association pour  $U_{AB} > 0$ .
- La caractéristique de l'association est portée par une droite qui passe par l'origine.



L'association mixte de conducteurs ohmiques est un dipôle passif linéaire dont la résistance est fonction des résistances des dipôles qui constituent l'association.



• Déterminer graphiquement la résistance  $R$  de l'association des trois résistors en association mixte.

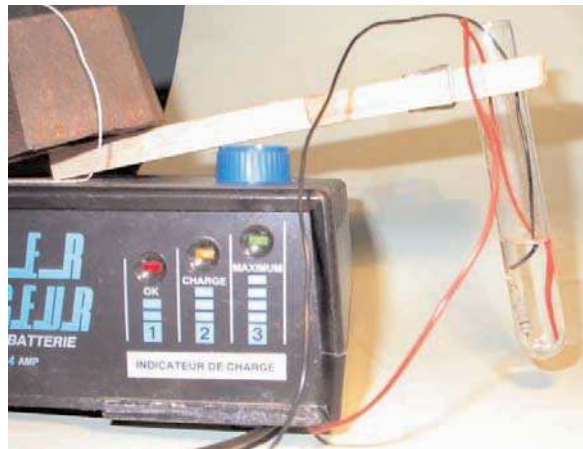
- Calculer la valeur de la résistance  $R$  du dipôle équivalent à  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$ .
- Comparer les deux valeurs de  $R$  trouvées graphiquement et par le calcul. Conclure.

**L'association mixte de dipôles résistors est un dipôle résistor dont la résistance  $R$  est fonction des résistances des résistors qui constituent cette association.**

6

**Quel effet du courant électrique se manifeste-t-il dans un résistor ?**

- Relier les extrémités d'un enroulement d'un fil conducteur à un générateur de tension.
- Introduire le dipôle résistor  $R$  (fil enroulé) dans un tube à essai contenant de l'eau.
- Mettre le générateur en marche.  
(chargeur de batteries)





Après quelques minutes l'eau contenue dans le tube à essai commence à bouillir.

- L'élévation de température de l'eau résulte d'un transfert d'énergie par chaleur du dipôle résistor à l'eau.
- L'énergie thermique du dipôle résistor a augmentée suite au passage d'un courant électrique.
- Ce dipôle résistor parcouru par un courant électrique dégage de l'énergie transférée par chaleur au milieu extérieur : c'est l'effet joule.

## 7 Quels sont les facteurs dont dépend l'effet joule ?



- Réaliser la même expérience représentée par la photo du paragraphe 6.
- Faites varier la tension aux bornes du résistor.
- A l'aide d'un chronomètre noter le temps mis par la même quantité d'eau pour commencer à bouillir.



Plus la tension aux bornes du résistor est grande plus l'eau bout plus rapidement.



L'énergie dégagée par effet joule varie dans le même sens que la tension  $U$  aux bornes du résistor ( $R$ ).



- Reprendre la même expérience.
- Faites varier l'intensité du courant qui traverse le résistor.
- A l'aide d'un chronomètre noter le temps mis par la même quantité d'eau pour commencer à bouillir.



Plus l'intensité traversant le résistor est grande plus l'eau bout plus rapidement.



L'énergie dégagée par effet joule varie dans le même sens que l'intensité  $I$  du courant qui traverse le résistor ( $R$ ).



- Reprendre la même expérience.
- Maintenir la tension aux bornes du résistor et l'intensité du courant qui le traverse constantes.
- A l'aide d'un thermomètre noter la température prise par la même quantité d'eau à des intervalles de temps différents.



Plus le temps est grand, plus la température de l'eau est élevée.



L'énergie dégagée par effet joule varie dans le même sens que le temps mis par le courant à traverser ( $R$ ).

L'énergie dégagée par effet joule au niveau d'un résistor dépend de :

- la tension  $U$  entre ses bornes ;
- l'intensité du courant qui le traverse ;
- la durée de passage du courant qui le traverse.

## 8 / Quelles applications de l'effet joule peut-on envisager ?

### Chauffage

L'utilisation la plus commune de l'effet Joule est le chauffage électrique : radiateur, four, plaque de cuisson, sèche cheveux, grille pain, ...

Dans le cadre du chauffage domestique, ce n'est cependant pas le mode de chauffage le plus économique. (Les pompes à chaleur, qui utilisent les lois de la thermodynamique, sont bien plus économes).

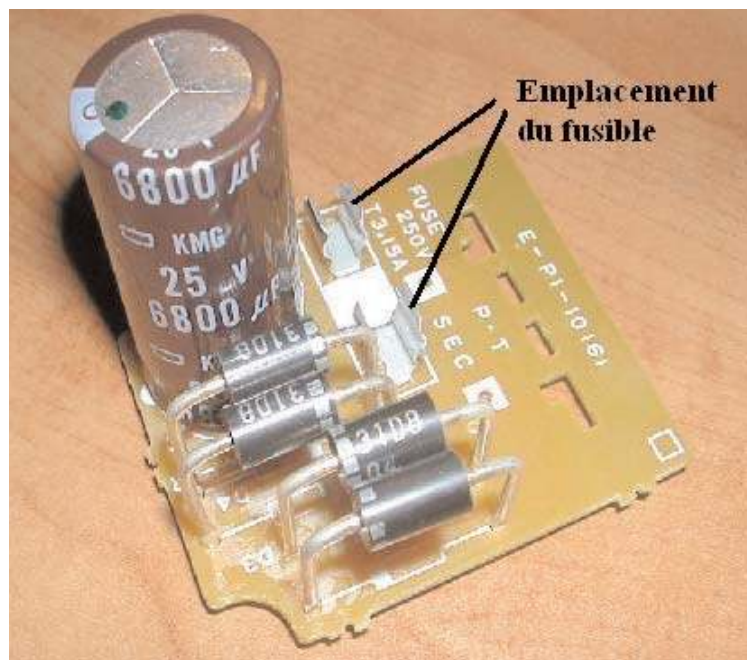
### Éclairage

Les ampoules à incandescence recourent également à l'effet Joule : le filament de Tungstène, placé dans une enceinte contenant un gaz inerte, est porté à une température élevée (plus de  $2200^{\circ}\text{C}$ ). À cette température la matière émet des rayonnements dans le visible. Néanmoins l'efficacité lumineuse des lampes à incandescence est assez faible (5 fois moins que l'éclairage fluorescent, 10 fois moins que les lampes à décharge).

### Protection des circuits

Les fusibles sont des dispositifs utilisant l'effet Joule pour faire fondre un conducteur calibré, afin d'isoler un circuit électrique en cas de surintensité. Les disjoncteurs thermiques utilisent le même effet, mais sans destruction, ils sont réarmables.

Pour protéger le circuit formé par un pont à diodes et condensateur on utilise un fusible dont l'emplacement est indiqué par la photo ci-contre.



## ***L' ESSENTIEL***

La caractéristique d'un dipôle résistor est la courbe représentative de la relation  $U = f(I)$ .

La caractéristique d'un dipôle résistor est une portion de droite qui passe par l'origine.

Le résistor est un dipôle récepteur passif linéaire.

La loi d'Ohm relative à un résistor s'écrit :  $U = R.I$

La diode et la lampe à incandescence sont deux dipôles récepteurs passifs non linéaires.

Le code des couleurs permet la lecture de la valeur de la résistance d'un résistor.

La résistance  $R$  d'une association de  $n$  dipôles résistors en série est égale à la somme des résistances :  $R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$ .

L'inverse de la résistance  $R$  d'une association de  $n$  dipôles résistors en parallèle est égal à la somme des inverses des résistances qui la constituent  $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$

L'énergie dégagée par effet joule au niveau d'un résistor dépend de :

- la tension  $U$  entre ses bornes ;
- l'intensité du courant qui le traverse ;
- la durée de passage du courant qui le traverse.



<http://www.ac-orleans-tours.fr/physique/phyel/trois/indphy.htm>

<http://www.ac-bordeaux.fr/Pedagogie/Physique/Physico/Electro/e08puiss.htm>

<http://www.cybersciences.com/Cyber/Québec Science - Dimension cachée.htm>

# EXERCICES EXERCICES

## Est-ce que je connais ?

- 1 Mettre une croix dans les cases qui correspondent à des affirmations correctes :
- Le dipôle récepteur diode est un dipôle linéaire.
  - La lampe à incandescence est un dipôle actif et non linéaire.
  - Le dipôle résistor est un dipôle récepteur passif linéaire.
  - Le résistor est un dipôle passif et non linéaire.
  - La loi d'Ohm relative à un résistor s'écrit  $I = R \cdot U$ .
  - A l'aide d'un Ohmmètre, on peut déterminer la valeur de la résistance  $R$  d'un résistor.
  - La caractéristique d'un dipôle récepteur passif passe par l'origine.
  - La caractéristique  $U = f(I)$  d'un dipôle résistor a une pente égale à la valeur de la résistance  $R$  de ce résistor.

- 2 Recopier les phrases suivantes en complétant par les mots qui conviennent :
- La caractéristique intensité-tension d'un dipôle ..... est une portion de droite qui passe par l'origine.
- La tension aux bornes d'un dipôle..... est égale au produit de la ..... du dipôle par l'intensité  $I$  du courant qui le traverse. C'est la ..... relative à un dipôle résistor.
- La caractéristique intensité-tension d'un dipôle récepteur ..... a la forme d'une portion de droite. Ce dipôle récepteur est .....

## Est-ce que je sais appliquer ?

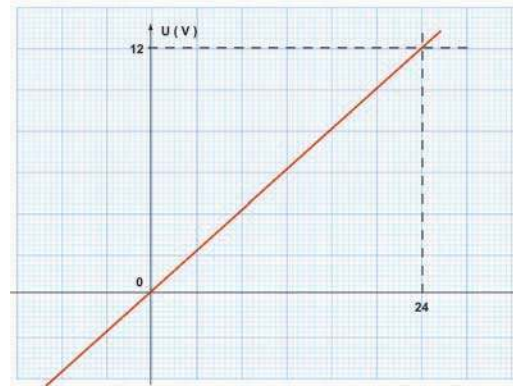
- 1 On dispose d'un dipôle résistor de résistance  $R = 250 \Omega$ . Lorsqu'on impose à ses bornes une tension  $U = 6,25 \text{ V}$ , un courant d'intensité  $I$  le traverse.  
Déterminer la valeur de cette intensité  $I$ .
- 2 Un montage série comporte un générateur de tension, un résistor de résistance  $R$ , un ampèremètre de résistance négligeable devant  $R$  et un rhéostat de résistance réglable.
- a- Représenter le schéma du montage.
  - b- On veut mesurer la tension aux bornes du résistor. Quel appareil utilise t-on ? Placer cet appareil sur le schéma du montage.
  - c- Pour une 1<sup>ère</sup> position du curseur du rhéostat, l'ampèremètre indique  $I_1 = 0,2 \text{ A}$  et un voltmètre placé en parallèle avec le résistor indique  $U_1 = 4,2 \text{ V}$ . Calculer la résistance  $R$  du résistor.
  - d- Pour une 2<sup>ème</sup> position du curseur du rhéostat, l'ampèremètre indique  $I_2 = 0,12 \text{ A}$ . Chercher la tension qu'indique un voltmètre placé en parallèle avec le résistor.

- 3** Deux conducteurs ohmiques ont pour valeurs de résistances  $R_1 = 220 \Omega$  et  $R_2 = 330 \Omega$ .
- 1- Calculer la résistance de l'association de ces deux dipôles en série, puis en dérivation.
  - 2- L'intensité du courant principal est  $I = 0,60 \text{ A}$ . Calculer l'intensité du courant qui passe dans chacun des conducteurs ohmiques
    - lorsqu'ils sont montés en série,
    - lorsqu'ils sont montés en parallèle.

- 4** a- On associe en parallèle deux conducteurs ohmiques dont les conductances ont respectivement pour valeur :  $G_1 = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ S}$  et  $G_2 = 7,3 \cdot 10^{-3} \text{ S}$ .
- Quelle est la conductance de l'association ?
  - Quelle est la résistance de l'association ?
- b- On associe maintenant ces conducteurs ohmiques en série. Calculer la résistance de l'association ainsi que sa conductance  $G$ .

### Est-ce que je sais raisonner ?

- 1** La caractéristique intensité tension d'un dipôle récepteur est donnée par la figure à droite.
- a- Quelle est la nature du dipôle récepteur ?
  - b- Déterminer la valeur de la grandeur qui caractérise ce dipôle.
  - c- Calculer l'intensité du courant qui traverse ce dipôle lorsqu'on impose à ses bornes une tension  $U = 5 \text{ V}$ .
  - d- Quelle sera la tension imposée aux bornes de ce dipôle pour qu'il soit traversé par un courant  $I = 0,4 \text{ A}$  ?



- 2** La caractéristique d'un dipôle récepteur D est donnée par la courbe en face.

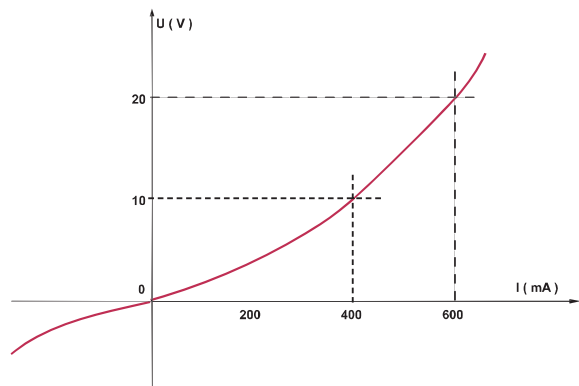
a- Ce dipôle est-il passif ? est-il linéaire ? Justifier.

b- En supposant que la caractéristique est une portion de droite entre les deux tensions 10 V et 20 V :

- montrer que la tension entre les bornes de ce dipôle peut s'écrire  $U = a I + b$  ;
- déterminer les valeurs des constantes  $a$  et  $b$ .

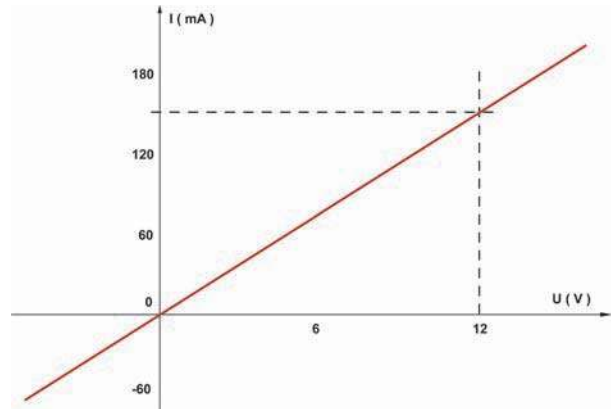
Que représente  $a$  ?

c- Représenter la caractéristique intensité tension d'un dipôle résistor de résistance  $R$  ayant la même valeur que celle du dipôle D.



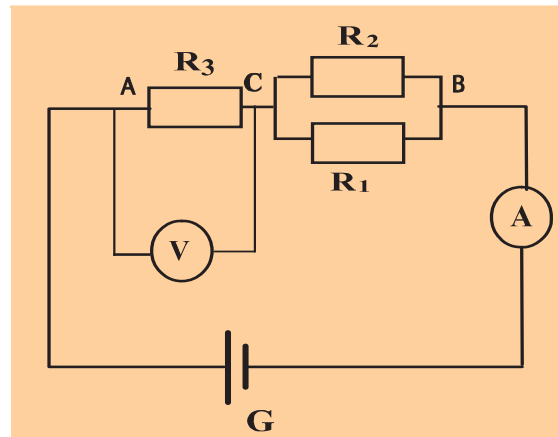
**3** La caractéristique tension-intensité d'un dipôle résistor est donnée par la courbe ci-contre.

- a- Etablir graphiquement la relation  $I = f(U)$  entre la tension  $U$  et l'intensité du courant  $I$ .
- b- Que représente le coefficient de proportionnalité entre  $I$  et  $U$  ?
- c- Déterminer la valeur de la résistance de ce dipôle résistor.



**4** Trois conducteurs ohmiques de résistances respectives  $R_1=100\Omega$ ,  $R_2=100\Omega$  et  $R_3=50\Omega$  sont montés comme l'indique la figure ci-contre. Un générateur impose à l'ensemble une tension constante  $U = 12\text{ V}$ .

- a- Déterminer la résistance  $R$  de l'association mixte des résistors  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$ .
- b- Quelle est l'indication de l'ampèremètre (A) ?
- c- Quelle est l'indication du voltmètre (V) ?
- d- Déduire, alors la tension  $U_{CB}$ .
- e- Calculer la puissance dissipée par effet joule au niveau de chaque conducteur ohmique.



# Caractéristiques des dipôles récepteurs actifs

## Je dois être capable :

- ❖ de construire la caractéristique d'un électrolyseur.
- ❖ d'appliquer la loi d'Ohm relative au dipôle récepteur actif.
- ❖ d'exprimer le rendement d'un dipôle récepteur actif.

## Je dois d'abord tester mes acquis :

- 1- Qu'est ce qu'une caractéristique intensité-tension d'un dipôle ?
- 2- Qu'est ce qu'un dipôle récepteur passif ?
- 3- Qu'est ce qu'un dipôle récepteur linéaire ?
- 4- Comment procède t-on pour faire varier l'intensité de courant dans un circuit électrique ?
- 5- Citer des appareils permettant de déterminer la tension aux bornes d'un composant électrique. Indiquer leurs branchements.
- 6- Qu'est ce qu'un dipôle récepteur actif ?
- 7- Rappeler l'expression de la puissance électrique consommée par un récepteur.
- 8- Le récepteur actif peut-il consommer ou fournir de l'énergie électrique ?

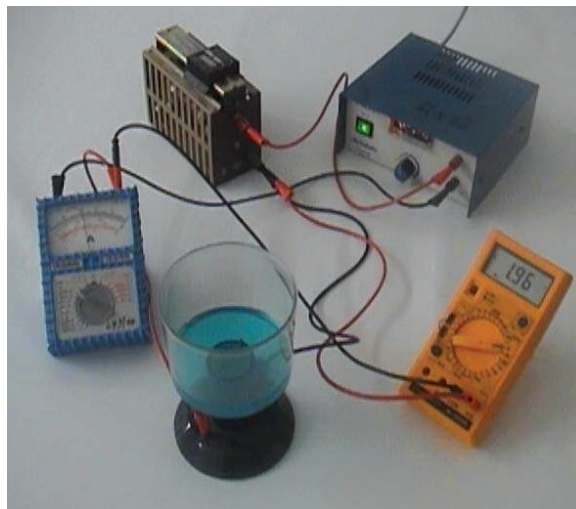
## Je construis mes savoirs :



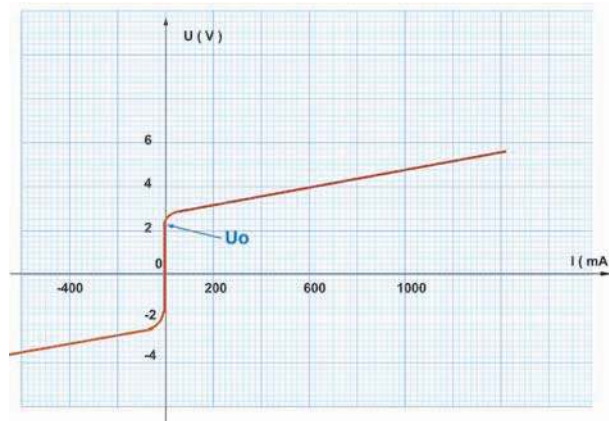
### 1 Quelle est la différence entre la caractéristique d'un électrolyseur et celle d'un résistor ?



- Réaliser un circuit série comportant un générateur, un rhéostat, un interrupteur, un ampèremètre et un électrolyseur contenant une solution ionique (soude par exemple). Les bornes de l'électrolyseur sont reliées à un voltmètre comme l'indique la photo ci-dessous.



- Relever les valeurs des couples ( $I$ ,  $U$ ) et tracer la caractéristique intensité-tension de l'électrolyseur.



Caractéristique intensité-tension d'un électrolyseur

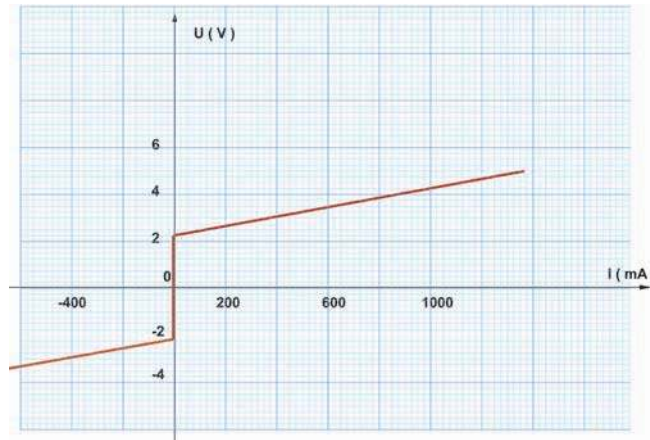
- La caractéristique intensité-tension de l'électrolyseur est différente de celle d'un résistor.
- Dans le domaine de fonctionnement de l'électrolyseur, sa caractéristique est linéaire et ne passe pas par l'origine.



La caractéristique d'un électrolyseur en fonctionnement normal est une portion de droite qui ne passe pas par l'origine. L'électrolyseur est un dipôle actif linéaire.

## 2 Par quoi caractérise t-on un électrolyseur ?

La caractéristique linéarisée de l'électrolyseur est la suivante :



La caractéristique linéarisée de l'électrolyseur est une portion de droite qui ne passe pas par l'origine d'équation :

$$U = a \cdot I + b$$

Avec : •  $b$  est la valeur de la tension minimale à donner à l'électrolyseur pour qu'il fonctionne normalement. Cette constante est appelée force contre électromotrice (f.c.é.m) du dipôle récepteur actif notée  $E'$ .

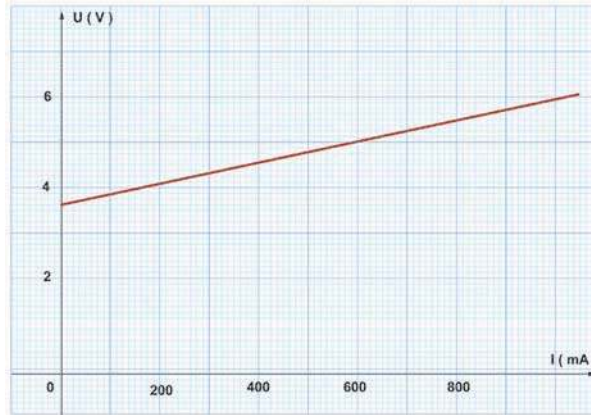
•  $a \cdot I$  est une tension. Alors  $a$  est une résistance appelée résistance interne de l'électrolyseur notée  $r'$ .

En régime de fonctionnement normal, un électrolyseur est caractérisé par sa f.c.é.m  $E'$  et sa résistance interne  $r'$ .

### 3 La caractéristique d'un moteur a-t-elle la même allure que celle d'un électrolyseur ?



Remplacer l'électrolyseur par un moteur électrique et refaire la même étude.



Caractéristique intensité-tension linéarisée du moteur



La caractéristique du moteur a la même allure que celle de l'électrolyseur.



Le moteur est un dipôle actif linéaire.

### 4 Quelle est la loi d'Ohm relative à un dipôle récepteur actif ?

Un dipôle récepteur actif est caractérisé par :

- une force contre électromotrice  $E'$ .
- une résistance interne  $r'$ .

Ces grandeurs sont reliées par la relation :  $U = E' + r' \cdot I$ .

Cette relation traduit la loi d'Ohm relative à un récepteur actif.

La tension  $U$  aux bornes d'un récepteur actif est égale au produit de sa résistance interne  $r'$  par l'intensité  $I$  du courant qui le traverse augmentée de sa f.c.é.m  $E'$ .

$$U = r' \cdot I + E'$$

### 5 Que signifie rendement d'un dipôle récepteur actif ?

Un récepteur actif reçoit de l'énergie électrique du générateur. Une partie de cette énergie se transforme en énergie thermique par effet joule au niveau de la résistance interne  $r'$  du récepteur ; l'autre partie de l'énergie reçue se transforme en énergie utile (chimique ou mécanique...).

L'énergie électrique reçue est  $W = (E' + r' \cdot I) \cdot I \cdot \Delta t$

L'énergie utile est  $W_u = E' \cdot I \cdot \Delta t$

Le rendement d'un récepteur actif est égal au rapport de l'énergie utile (fournie par le récepteur) par l'énergie totale reçue. On le note  $\rho$ .

$$\rho = \frac{W_u}{W} = \frac{E'}{E' + r' \cdot I}$$

$\rho$  est toujours inférieur à 1

## ***L' ESSENTIEL***

En régime de fonctionnement normal, la caractéristique d'un dipôle récepteur actif est une portion de droite qui ne passe pas par l'origine.

Un dipôle récepteur actif est caractérisé par sa f.c.é.m  $E'$  et sa résistance interne  $r'$ .

La loi d'Ohm relative à un dipôle récepteur actif est donnée par la relation :

$$U = E' + r'.I$$

Le rendement d'un dipôle récepteur actif est donné par :

$$\rho = \frac{W_u}{W} = \frac{E'}{E' + r'I}$$

# EXERCICES EXERCICES

## Est-ce que je connais ?

- 1** Recopier les phrases suivantes et répondre par vrai ou faux.
- La caractéristique d'un moteur électrique est portée par une droite qui passe par l'origine.
  - Un dipôle récepteur actif est caractérisé par sa résistance interne.
  - Un électrolyseur possède une force contre électromotrice et une résistance interne.
  - La force contre électromotrice est égale à la valeur maximale prise par la tension aux bornes d'un électrolyseur.
  - La loi d'Ohm relative à un récepteur actif est :  $U = E' + r'.I$ .
  - Un dipôle récepteur actif a un rendement qui ne dépend que de sa f.c.é.m  $E'$ .
- 2** Recopier les phrases suivantes en les complétant par les mots qui conviennent.  
L'électrolyseur est un .....actif dont la caractéristique linéarisée est une..... qui ne passe pas par l'origine et d'équation  $U = a.I + b$ . Avec  $a$  et  $b$  sont deux constantes ;  $a$  est égale à la pente de la droite : elle représente la ..... du dipôle récepteur et  $b$  est égale à la valeur de la tension aux bornes de l'électrolyseur lorsque  $I$  est nulle : elle représente la .....du dipôle récepteur. La relation entre la tension aux bornes de l'électrolyseur et l'intensité du courant qui le traverse représente la .....

## Est-ce que je sais appliquer ?

- 1** On dispose d'un électrolyseur de f.c.é.m  $E' = 3 \text{ V}$  et de résistance interne  $r' = 2 \Omega$ .
- Cet électrolyseur est parcouru par un courant d'intensité  $I = 0,5 \text{ A}$ , déterminer la valeur de la tension entre ses bornes .
  - La tension imposée aux bornes de cet électrolyseur est  $U = 5 \text{ V}$  ; calculer l'intensité  $I'$  du courant qui le traverse.
- 2** On dispose d'un moteur de f.c.é.m  $E' = 6 \text{ V}$  et de résistance interne  $r'$  inconnue.
- On impose une tension  $U = 10 \text{ V}$  aux bornes de ce moteur. On remarque qu'un ampèremètre placé en série avec ce moteur indique  $0,8 \text{ A}$ . Déterminer la valeur de la résistance interne  $r'$ .
  - Quelle tension  $U'$  doit-on imposer à ce moteur pour qu'il soit traversé par un courant d'intensité  $I' = 1,2 \text{ A}$  ?
- 3** On dispose d'un récepteur actif de f.c.é.m  $E'$  et de résistance interne  $r' = 5 \Omega$ . Lorsqu'on impose une tension  $U = 12 \text{ V}$  entre ses bornes, le récepteur sera parcouru par un courant d'intensité  $I = 0,6 \text{ A}$ .
- Calculer la valeur de  $E'$ .
  - Déduire le rendement de ce récepteur.

## Est-ce que je sais raisonner ?

- 1** La caractéristique intensité-tension d'un électrolyseur passe par les deux points suivants : A ( 1 A ; 4,5 V ) et B ( 1,75 A ; 6 V ).
- a- Calculer la résistance interne et la force contre électromotrice de cet électrolyseur ;
  - b- Représenter la caractéristique intensité-tension de cet électrolyseur.
  - c- Représenter sur le même graphe la caractéristique d'un moteur de même force contre électromotrice que l'électrolyseur précédent et de résistance interne  $r' = 5 \Omega$ .

- 2** Un moteur, un générateur, un rhéostat et un ampèremètre sont montés en série. Un voltmètre branché aux bornes du moteur indique la tension à ses bornes. On fait varier la résistance du rhéostat et on relève les indications U du voltmètre et I de l'ampèremètre. On obtient le tableau suivant :

U (V)	13,50	14,25	15,00	15,75	16,50	18,00	19,50
I (A)	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	2,00	2,50

- a- Tracer la caractéristique intensité-tension de ce moteur. S'agit-il d'un dipôle récepteur linéaire ?
- b- Déterminer, à partir de cette caractéristique, la force contre électromotrice E' du moteur et sa résistance interne r'.
- c- Déterminer graphiquement :
  - ❖ La tension aux bornes du moteur lorsqu'il est parcouru par un courant d'intensité  $I = 1,8 \text{ A}$ .
  - ❖ L'intensité du courant qui traverse le moteur lorsqu'il est soumis à une tension  $U = 12,5 \text{ V}$ .

# Caractéristiques des dipôles générateurs

## Je dois être capable :

- ❖ de tracer la caractéristique d'un générateur.
- ❖ d'appliquer la loi d'Ohm relative au dipôle générateur.
- ❖ de déterminer la f.é.m d'un générateur.
- ❖ d'exprimer le rendement d'un dipôle générateur.
- ❖ de déterminer les grandeurs caractéristiques du générateur équivalent à l'association de deux générateurs en opposition, en série et à une association en parallèle.

## Je dois d'abord tester mes acquis

**1** Un moteur électrique, un rhéostat, un résistor de résistance  $R$  et un ampèremètre sont montés en série.

**a-** Quelle est l'indication de cet ampèremètre ?

**b-** Que faut-il ajouter à ce circuit électrique pour qu'il soit parcouru par un courant électrique ?

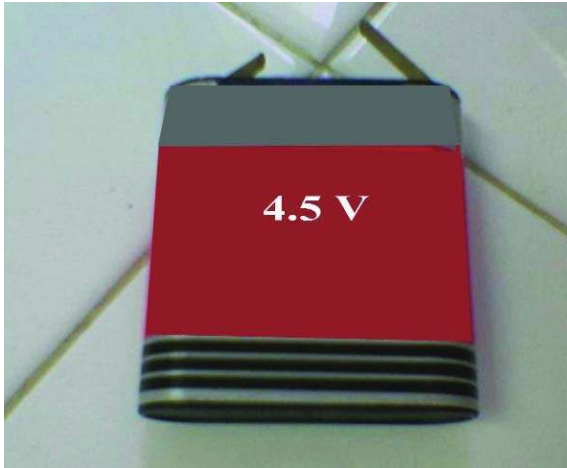
**2** Un moteur électrique de f.c.é.m  $6\text{ V}$  et de résistance interne  $2\ \Omega$  fonctionne en régime normal lorsqu'il est traversé par un courant d'intensité  $I = 0,5\text{ A}$ .

**a-** Calculer la puissance utile de ce moteur.

**b-** A quoi sert cette puissance ?

**c-** Cette puissance utile est elle égale à celle fournie par le générateur ?

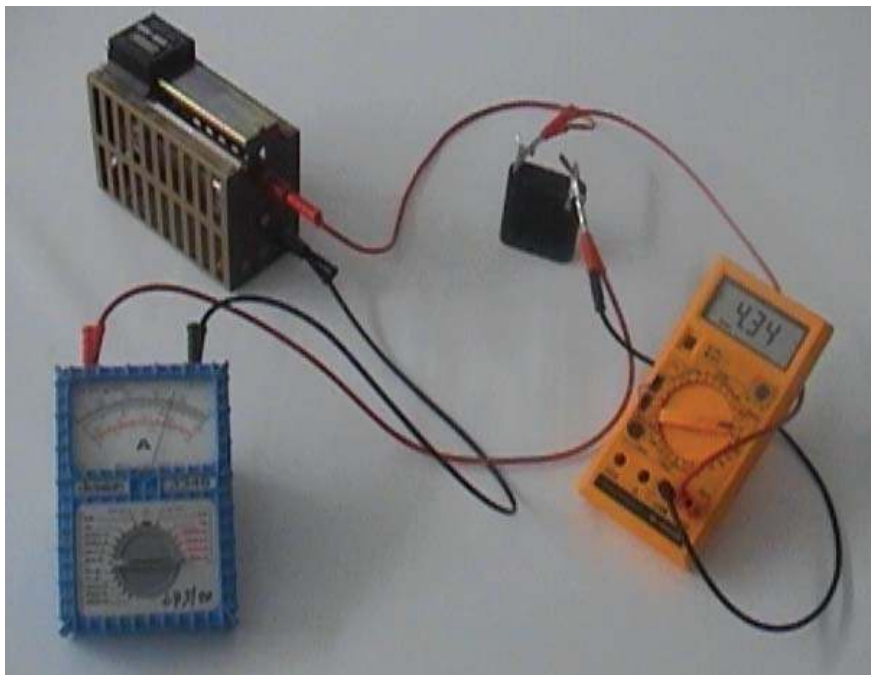
## Je construis mes savoirs



### 1 Quelle est l'allure de la caractéristique intensité tension d'un générateur ?



Réaliser le circuit série formé par une pile plate, un rhéostat, un ampèremètre et un résistor. Aux bornes de la pile, brancher un voltmètre. Voir la photo suivante :

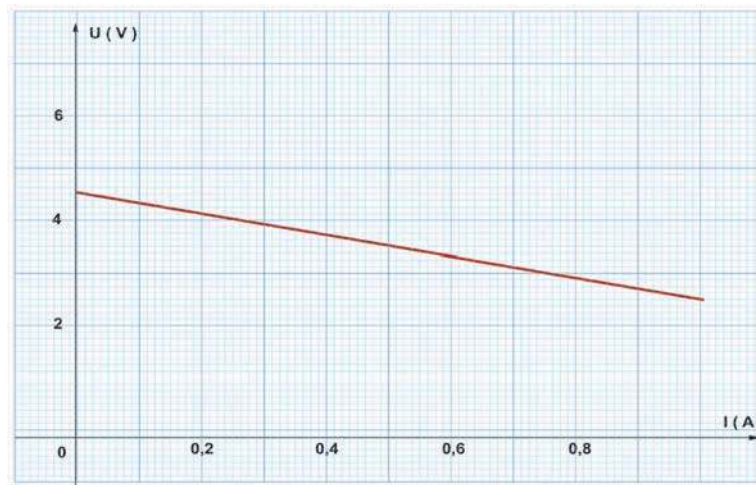


Relever les valeurs des couples (I, U) et tracer la caractéristique de la pile.

## Exemple :

I (A)	0	0,15	0,25	0,35	0,45	0,50	0,60
U (V)	4,5	4,2	4,0	3,8	3,6	3,5	3,3

La caractéristique intensité-tension de la pile est donnée par la figure suivante :



La caractéristique intensité-tension d'une pile est un segment de droite qui ne passe pas par l'origine.



La pile est un dipôle actif linéaire.

**2**

**Quelle est la relation entre la tension  $U$  aux bornes de la pile et l'intensité  $I$  du courant qui la traverse ?**

La caractéristique intensité-tension de la pile est une portion de droite qui ne passe pas par l'origine d'équation  $U = b - a.I$ .

Par analogie avec le dipôle récepteur actif où  $U = E' + r' I$ , on déduit que le produit ( $a I$ ) est une tension et «  $a$  » représente une résistance : C'est la résistance interne  $r$  de la pile.

D'autre part «  $b$  » est une constante égale à la valeur de la tension indiquée par le constructeur. Cette tension est appelée force électromotrice (f.é.m.) de la pile notée  $E$ .

D'où la relation  $U = E - r. I$

Une pile est caractérisée par une force électromotrice  $E$  et une résistance interne  $r$ .

La tension  $U$  aux bornes d'une pile est reliée à l'intensité  $I$  du courant qui la traverse par la relation  $U = E - r. I$

### Généralisation :

Un générateur est un dipôle actif linéaire, caractérisé par une force électromotrice  $E$  et une résistance interne  $r$ .

La loi d'Ohm relative à un générateur s'écrit  $U = E - r \cdot I$

### 3 Comment peut-on mesurer la force électromotrice $E$ d'un générateur ?

D'après la caractéristique intensité-tension, la valeur de la force électromotrice  $E$  d'un générateur représente la tension aux bornes du générateur lorsque l'intensité  $I$  du courant dans le circuit est nulle.

Alors la f.é.m  $E$  d'un générateur est égale à la valeur de la tension entre ses bornes à vide (lorsqu'il ne débite pas du courant).

Pour déterminer la f.é.m  $E$  d'un générateur, il suffit de relier les bornes de ce générateur tout seul à un voltmètre. La tension indiquée par le voltmètre est égale à la f.é.m  $E$ .



### 4 Un générateur possède-t-il un rendement ?

La tension aux bornes d'un générateur est donnée par  $U = E - r \cdot I$ .

L'énergie totale produite par le générateur est  $W = E \cdot I \cdot \Delta t$ .

L'énergie fournie par le générateur au circuit extérieur est l'énergie utile  $W_u = U \cdot I \cdot \Delta t$ .

Le rendement d'un générateur est donné par :

$$\rho = \frac{\text{Energie utile}}{\text{Energie totale}} = \frac{U \cdot I \cdot \Delta t}{E \cdot I \cdot \Delta t} = \frac{E - r \cdot I}{E} < 1$$

Le rendement d'un générateur est égal au rapport de la tension à ses bornes par sa force électromotrice.

## Situation :

Le démarreur d'un camion fonctionne sous une tension continue de 24 V. Or on ne dispose que de batteries de 6 V et de 12 V. Aider le mécanicien à résoudre son problème.

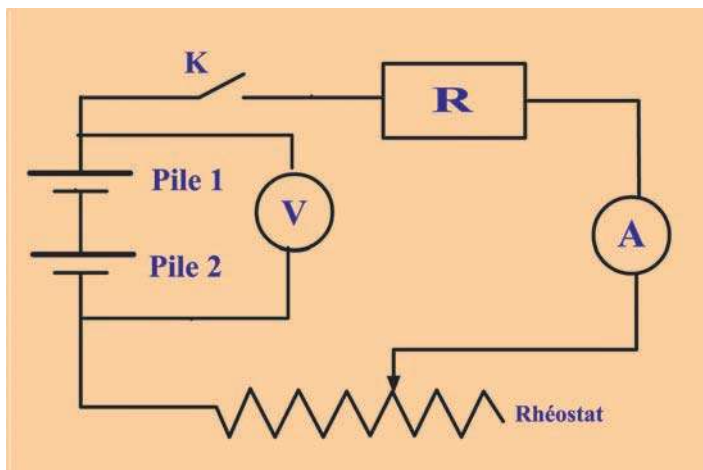
### 5 Comment se comportent deux piles associées en série ?



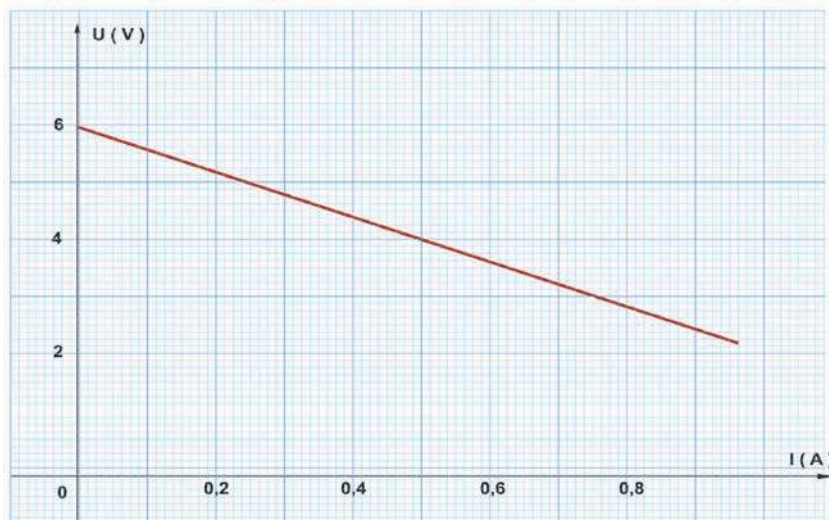
- Réaliser le circuit série formé par deux piles ( $P_1$ ) et ( $P_2$ ), un dipôle résistor de résistance  $R = 10 \Omega$ , un rhéostat et un ampèremètre. Les forces électromotrices de ( $P_1$ ) et ( $P_2$ ) sont respectivement  $E_1 = 1,5 \text{ V}$  et  $E_2 = 4,5 \text{ V}$ .

Les résistances internes sont respectivement  $r_1 = 1 \Omega$  et  $r_2 = 3 \Omega$ .

Un voltmètre est placé aux bornes des piles en série comme l'indique le schéma suivant : Les piles sont dites montées en série lorsque le pôle positif de l'une est relié au pôle négatif de l'autre.



- Relever l'intensité  $I$  du courant qui traverse le circuit et la tension  $U$  aux bornes des deux piles en série et tracer la caractéristique intensité-tension de l'association des deux piles.





- La caractéristique intensité-tension de l'association ressemble à celle d'un générateur.
- L'association en série de deux piles  $(E_1, r_1)$  ;  $(E_2, r_2)$  est équivalente à un générateur de f.é.m  $E$  et de résistance interne  $r$ .
- La loi d'Ohm relative à un générateur nous donne :  $U = E - r.I$  ; où  $E$  et  $r$  sont les grandeurs caractéristiques du dipôle générateur équivalent.



- Déterminer graphiquement les valeurs de la f.é.m.  $E$  et de la résistance interne  $r$  du générateur équivalent.
- Comparer la valeur de  $E$  avec celles de  $E_1$  et  $E_2$ .
- Comparer la valeur de  $r$  avec celles de  $r_1$  et  $r_2$ .



La comparaison donne :  $E = E_1 + E_2$  ;  $r = r_1 + r_2$

Le générateur (G) équivalent à deux générateurs  $(G_1)$  et  $(G_2)$  montés en série est caractérisé par :

- une force électromotrice égale à la somme des forces électromotrices des deux générateurs :  $E = E_1 + E_2$  ;
- une résistance interne égale à la somme des résistances internes des deux générateurs :  $r = r_1 + r_2$ .

### **Situation :**

Ton poste radio fonctionne sous une tension continue de 6 V. Tu ne dispose que de trois piles de 1,5 V et de piles de 9 V. Proposer une solution convenable pour mettre en marche ton appareil.

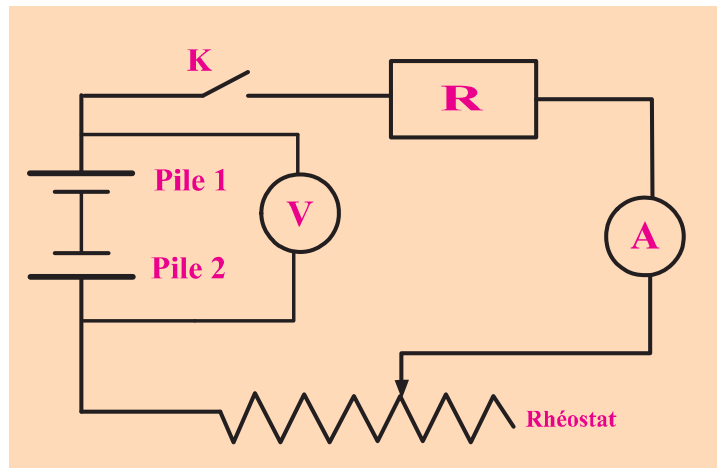
**6**

### **Comment se comportent deux piles montées en opposition ?**

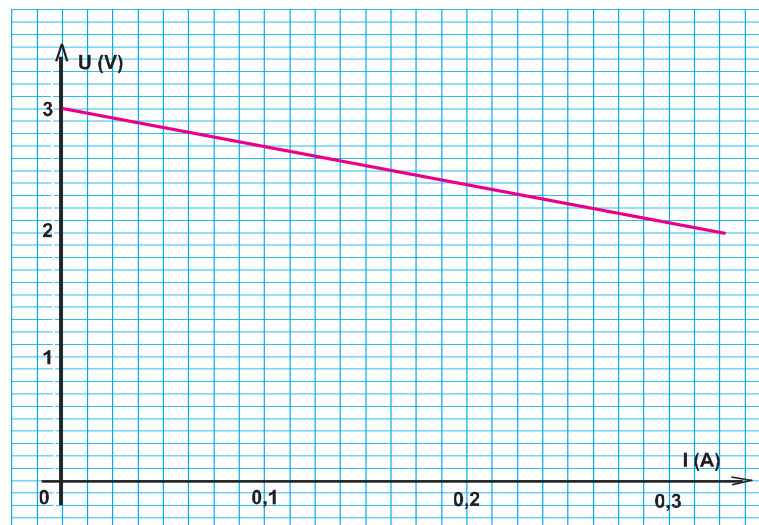


- Réaliser le circuit série formé par deux piles, un dipôle résistor de résistance  $R = 10 \Omega$ , un rhéostat et un ampèremètre. Les forces électromotrices des deux piles sont égales à  $E_1 = 1,5 \text{ V}$  et  $E_2 = 4,5 \text{ V}$ , les résistances internes sont respectivement égales à  $r_1 = 1 \Omega$  et  $r_2 = 2 \Omega$ .

Un voltmètre branché aux bornes des deux piles comme l'indique le schéma suivant :  
Les piles sont dites montées en opposition lorsque le pôle positif de l'une est relié au pôle positif de l'autre.



- En agissant sur le rhéostat relever les valeurs de la tension aux bornes de l'association et les intensités du courant qui traverse le circuit.
- Tracer la caractéristique intensité-tension de l'association des deux piles.



- La caractéristique intensité tension de cette association ressemble à celle d'un générateur.
- L'association en opposition de deux piles ( $E_1, r_1$ ) ; ( $E_2, r_2$ ) est équivalente à un générateur de f.é.m  $E$  et de résistance interne  $r$ .
- La loi d'Ohm relative à un générateur nous donne :  $U = E - r.I$  ; où  $E$  et  $r$  sont les grandeurs caractéristiques du dipôle générateur équivalent.



- Déterminer, graphiquement, les valeurs de la f.é.m.  $E$  et de la résistance interne  $r$  du générateur équivalent.
- Comparer la valeur de  $E$  avec celles de  $E_1$  et  $E_2$ .
- Comparer la valeur de  $r$  avec celles de  $r_1$  et  $r_2$ .



- La comparaison donne :  $E = E_2 - E_1$  et  $r = r_1 + r_2$

Le générateur (G) équivalent à deux générateurs ( $G_1$ ) et ( $G_2$ ) montés en opposition est caractérisé par :

- une force électromotrice égale à la différence des forces électromotrices des deux générateurs  $E = |E_2 - E_1|$ .
- une résistance interne égale à la somme des résistances internes de deux générateurs  $r = r_1 + r_2$ .

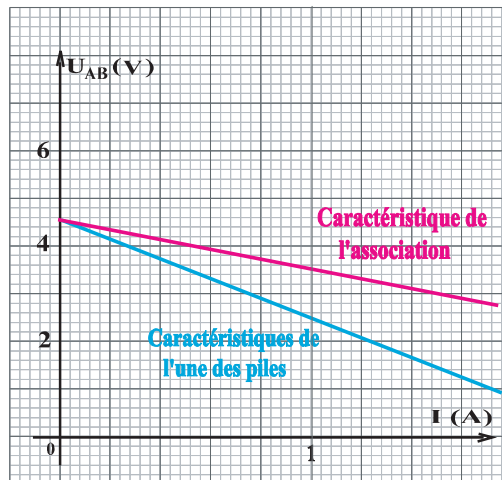
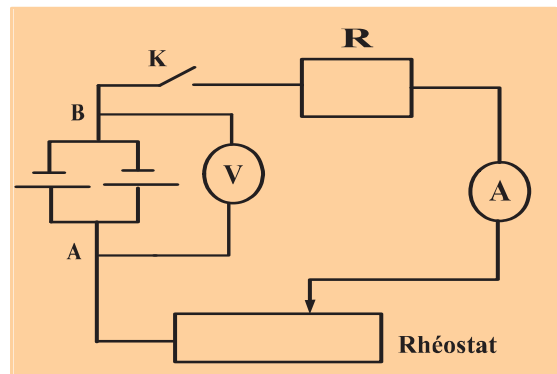
7

## Comment se comportent deux piles associées en parallèle ?



Réaliser le montage de la figure ci-contre où les deux piles sont identiques.

- Relever les valeurs de la tension aux bornes de l'association des deux piles et l'intensité du courant qui traverse le circuit.
- Tracer, sur le même graphe, la partie de la caractéristique intensité-tension de l'association des deux piles et celle d'une des piles, lorsque  $U_{AB} > 0$ .



- L'association en parallèle de deux piles identiques est équivalente à une pile de force électromotrice  $E$  et de résistance  $r$ .
- La loi d'ohm relative à cette association s'écrit  $U = E - r.I$ .



Déterminer graphiquement  $E$  et  $r$  et les comparer à celles des piles utilisées.



La comparaison donne :

- $E = E_1 = E_2$
- $r = \frac{r_1}{2} = \frac{r_2}{2}$

**Le générateur  $G$  équivalent à deux générateurs  $G_1$  et  $G_2$  identiques montés en parallèle est caractérisé par :**

- Une force électromotrice égale à celle de l'un des générateurs :  $E = E_1 = E_2$ .
- Une résistance interne égale à la moitié de celle de l'un des générateurs :

$$r = \frac{r_1}{2} = \frac{r_2}{2}$$



• Réaliser l'association de trois piles identiques ( $E_1, r_1$ ).

- Déterminer, à l'aide d'un voltmètre branché aux bornes de l'association, la f.é.m  $E$  de cette association.
- Comparer et dégager la relation entre  $E$  et  $E_1$ .
- Déterminer, à l'aide d'un ohmmètre branché aux bornes de l'association, la résistance  $r$  de cette association.
- Comparer et dégager la relation entre  $r$  et  $r_1$ .



Le générateur équivalent à trois générateurs identiques montés en parallèle est caractérisé par :

- ❖ Une f.é.m  $E = E_1$  .
- ❖ Une résistance interne  $r = \frac{r_1}{3}$  .

**Généralisation :**

**L'association en parallèle de  $n$  piles identiques ( $E, r$ ) est équivalente à une pile qui aurait pour f.é.m  $E$  et pour résistance interne  $\frac{r}{n}$  .**

**Remarques :**

- Cette association débite, dans le même circuit extérieur, un courant d'intensité plus importante q'un seul générateur.
- Pour une même intensité de courant débitée dans un circuit extérieur, la perte d'énergie par effet joule par cette association est plus faible que celle par un seul générateur.

## ***L' ESSENTIEL***

Un générateur est caractérisé par une force électromotrice  $E$  et une résistance interne  $r$ .

La loi d'Ohm relative à un générateur est :  $U = E - r \cdot I$

La force électromotrice d'un générateur est égale à la tension à vide à ses bornes.

Le rendement d'un générateur est :  $\rho = \frac{E - r I}{E}$

Le générateur ( $G$ ) équivalent à deux générateurs ( $G_1$ ) et ( $G_2$ ) en série a une f.é.m  $E$  égale à la somme des deux f.é.m de ( $G_1$ ) et ( $G_2$ ) et une résistance interne égale à la somme des deux résistances internes de ( $G_1$ ) et ( $G_2$ ).

Le générateur ( $G$ ) équivalent à deux générateurs ( $G_1$ ) et ( $G_2$ ) en opposition a une f.é.m  $E$  égale à la valeur absolue de la différence des deux f.é.m de ( $G_1$ ) et ( $G_2$ ) et une résistance interne égale à la somme des deux résistances internes de ( $G_1$ ) et ( $G_2$ ).

L'association en parallèle de  $n$  piles identiques ( $E, r$ ) est équivalente à une pile qui aurait pour f.é.m  $E$  et pour résistance interne  $\frac{r}{n}$ .

# EXERCICES EXERCICES

## Est-ce que je connais ?

Parmi les affirmations suivantes, recopier celles qui sont correctes.

- a- Un voltmètre branché aux bornes d'un générateur qui débite du courant, indique la valeur de la force électromotrice de ce générateur.
- b- L'indication se trouvant sur une pile représente sa force contre électromotrice notée  $E'$ .
- c- La force électromotrice d'une pile est égale à la tension à vide entre ses bornes.
- d- La f.é.m d'un générateur est toujours inférieure à la tension entre ses bornes.
- e- La caractéristique intensité tension d'une pile est une portion de droite qui passe par l'origine.
- f- La loi d'Ohm relative à une pile est donnée par la relation suivante :  $I = \frac{(E - U)}{r}$
- g- La tension aux bornes d'un générateur est constante même si l'intensité du courant débité est variable.

## Est-ce que je sais appliquer ?

- 1** On dispose d'une pile de force électromotrice  $E = 1,5 \text{ V}$  et de résistance interne  $r = 0,5 \Omega$ . Cette pile est montée en série avec un ampèremètre et un dipôle résistor de résistance réglable.
  - a- On veut mesurer la tension aux bornes de la pile. Faire le schéma du montage en précisant les connections des appareils de mesure.
  - b- Quelle est l'indication du voltmètre branché aux bornes de la pile lorsqu'elle débite un courant d'intensité  $I = 0,8 \text{ A}$ .
  - c- Le voltmètre branché aux bornes de la pile indique  $0,8 \text{ V}$ . Déterminer la valeur de l'intensité du courant débité par cette pile.
- 2** Les grandeurs électriques qui caractérisent un dipôle générateur sont  $U_0 = 15 \text{ V}$  et  $r = 1,2 \Omega$ .
  - a- Ecrire l'équation de sa caractéristique intensité tension  $U = f(I)$ .
  - b- Calculer la tension aux bornes du dipôle générateur quand il débite un courant d'intensité  $I = 5 \text{ A}$ .
  - c- Déterminer la valeur de l'intensité du courant débité par le dipôle générateur lorsque la tension entre ses bornes est égale à  $12 \text{ V}$ .
  - d- Calculer le rendement de ce dipôle générateur lorsque la tension entre ses bornes est égale à  $10 \text{ V}$ .

## Est-ce que je sais raisonner ?

- 1** La caractéristique intensité-tension d'un dipôle générateur passe par les deux points suivants : D ( $0,5 \text{ A}$ ;  $6,5 \text{ V}$ ) et C ( $1,2 \text{ A}$ ;  $3 \text{ V}$ ).
  - a- Déterminer les valeurs de la force électromotrice  $E$  de ce dipôle et sa résistance interne  $r$ .
  - b- Ecrire l'équation de sa caractéristique  $U = f(I)$ .
  - c- Tracer sa caractéristique intensité-tension.
  - d- Déterminer l'intensité du courant débité par ce générateur lorsque la tension entre ses bornes est égale à  $4,4 \text{ V}$ .

**2** Un circuit série comporte une pile de grandeurs caractéristiques ( $E$ ;  $r$ ), un potentiomètre de résistance réglable, un résistor de résistance  $R$  constante et un ampèremètre. Un voltmètre est placé en parallèle avec la pile. On fait varier la résistance du potentiomètre et on relève les indications fournies par les deux appareils de mesure. On obtient le tableau suivant :

<b>I (A)</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>0,4</b>	<b>0,5</b>	<b>0,6</b>
<b>U (V)</b>	<b>4,2</b>	<b>3,8</b>	<b>3,5</b>	<b>3,2</b>	<b>2,8</b>	<b>2,5</b>

- Faire le schéma du montage permettant l'étude de la caractéristique de la pile.
- Tracer la caractéristique intensité-tension de cette pile.
- Déduire à partir de cette caractéristique :
  - La valeur de la force électromotrice  $E$  de la pile.
  - La valeur de la résistance interne  $r$  de cette pile.
  - La tension aux bornes de la pile quand celle-ci débite un courant d'intensité  $I = 0,325$  A.
  - La valeur de l'intensité du courant de court-circuit  $I_c$ .

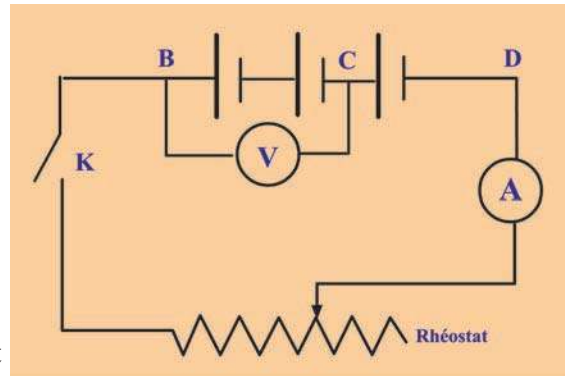
**3** Un circuit électrique comprend :

- trois piles identiques montées en série.
- un rhéostat de résistance  $R_H$  réglable.
- un interrupteur (K).
- un ampèremètre (A) et un voltmètre (V).

Lorsque l'interrupteur (K) est ouvert, le voltmètre indique 9V.

Lorsque l'interrupteur (K) est fermé, le voltmètre indique 8V et l'ampèremètre indique  $I = 0,5$  A.

- Déterminer la force électromotrice  $E$  de chaque pile.
- Calculer la résistance interne  $r$  de chaque pile.
- Déterminer la résistance  $R_H$  du rhéostat



**4** On dispose de six piles identiques de f.é.m  $E = 1,5$  V et de résistance interne  $r = 0,9 \Omega$  chacune. Ces piles sont montées en parallèle.

- Calculer la tension à vide et la résistance interne de 6 piles montées en dérivation.
- Ce dipôle actif ainsi constitué est branché sur un dipôle récepteur. Un courant d'intensité  $I = 80$  mA circule dans chaque pile. Calculer l'intensité du courant traversant le dipôle récepteur.

**5** La caractéristique intensité-tension d'une association de piles identiques en parallèle passe par les deux points A (1A, 7,5 V) et B (2A, 6 V). Entre ces deux points la caractéristique est linéaire.

- Déterminer la f.é.m  $E$  et la résistance interne  $r$  de cette association.
- Déterminer le nombre de piles formant cette association sachant que chaque pile est caractérisée par une f.é.m 1,5 V et de résistance interne  $0,9 \Omega$ .

# Point de fonctionnement

## Je dois être capable :

- ❖ de déterminer le point de fonctionnement d'un circuit électrique.
- ❖ d'adapter un dipôle récepteur à un dipôle générateur.

## Je dois d'abord tester mes acquis

1- Recopier les phrases correctes :

- a- Toutes les caractéristiques des dipôles passifs passent par le point de coordonnées (0, 0).
- b- La caractéristique d'un dipôle résistor est un segment de droite.
- c- La caractéristique d'un dipôle générateur est une portion de droite qui passe par l'origine.
- d- L'équation de la caractéristique intensité-tension d'un récepteur actif est donnée par :  
$$U = E - r.I.$$

2- Représenter l'allure de la courbe  $U = f(I)$  des dipôles suivants :

- a- dipôle résistor.
- b- lampe à incandescence.
- c- moteur électrique.
- d- batterie.

## Je construis mes savoirs :

### Situation :

Un enfant dispose d'une voiture jouet qui fonctionne avec des piles. Sur le moteur électrique de cette voiture sont inscrites les indications suivantes : (6 V ; 2  $\Omega$ ).

L'enfant veut jouer avec cette voiture et ne dispose que de piles plates de force électromotrice  $E = 4,5$  V. Il relie les bornes d'une des piles aux bornes du moteur de la voiture, mais le moteur ne fonctionne pas. Pourquoi ?

Comment peut-on aider cet enfant à faire fonctionner le moteur de cette voiture ?

### 1 Comment déterminer l'intensité $I$ du courant dans un circuit électrique ?

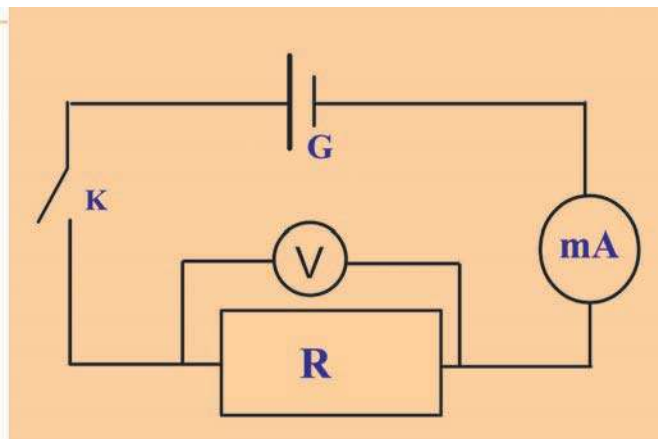
#### a- Méthode graphique.

Le branchement d'un dipôle passif aux bornes d'un dipôle actif forme un circuit électrique. Ce circuit est parcouru par un courant d'intensité  $I$ .

Peut-on prévoir la valeur de cette intensité  $I$  ?



Réaliser le montage suivant :



**G** : pile ronde de grandeurs caractéristiques

$E = 1,5$  V et  $r = 1$   $\Omega$ .

**R** : résistor de résistance

$R = 20$   $\Omega$ .

**K** : interrupteur.

**mA** : milliampèremètre.

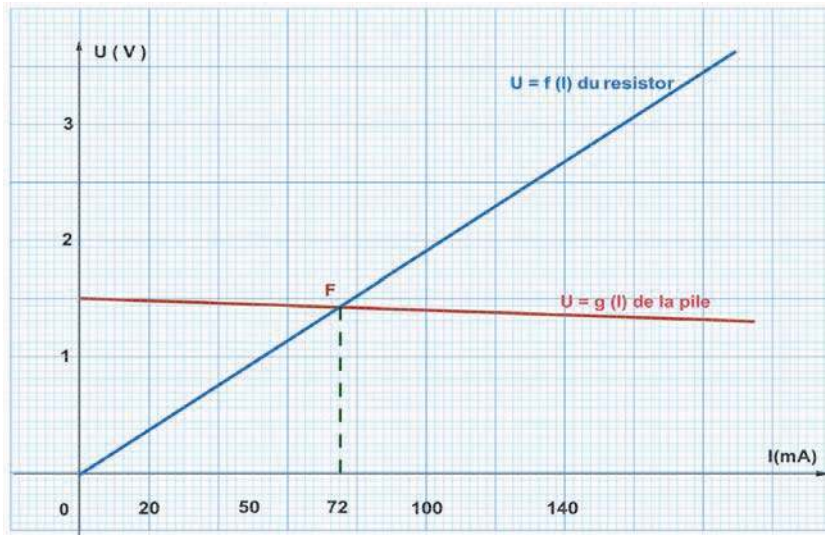
**V** : voltmètre.



Lorsque le circuit est fermé, le milliampèremètre indique une intensité  $I = 71$  mA et le voltmètre une tension  $U = 1,2$  V.



Tracer les caractéristiques  $U = f(I)$  des deux dipôles sur le même graphe.



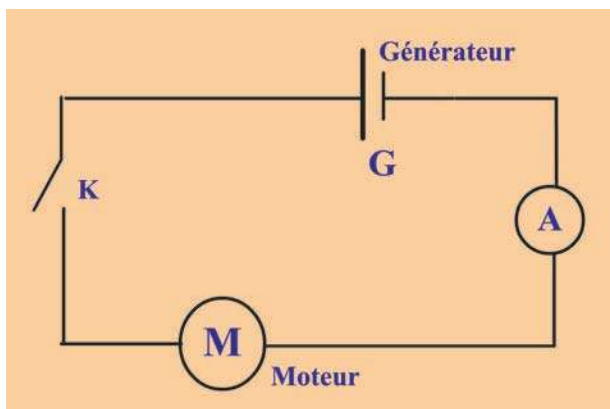
Les caractéristiques  $U = f(I)$  des deux dipôles formant le circuit électrique admettent un point d'intersection  $F$  d'abscisse  $I = 72 \text{ mA}$  et d'ordonnée  $U = 1,25 \text{ V}$ .



- Chaque point de la caractéristique  $U = f(I)$  est l'image d'un couple  $(I, U)$  qui définit un état de fonctionnement possible du résistor :  $(10 ; 0,2)$  ;  $(120 ; 2,4)$  sont deux points possibles de fonctionnement du résistor sous peine de ne pas l'endommager sous une intensité qu'il ne peut pas supporter.
- Chaque point de la caractéristique  $U = g(I)$  est l'image d'un couple  $(I, U)$  qui définit un état de fonctionnement du générateur.
- Branchés l'un à l'autre, les deux dipôles sont traversés par un même courant et soumis à une même tension. Seul le point  $F$  vérifie un tel état de fonctionnement.  $F$  est appelé point de fonctionnement du circuit.

### Application :

On considère le montage ci-dessous :



**G** : pile plate de grandeurs caractéristiques

$$E = 4,5 \text{ V et } r = 3 \Omega$$

**M** : moteur de grandeurs caractéristiques

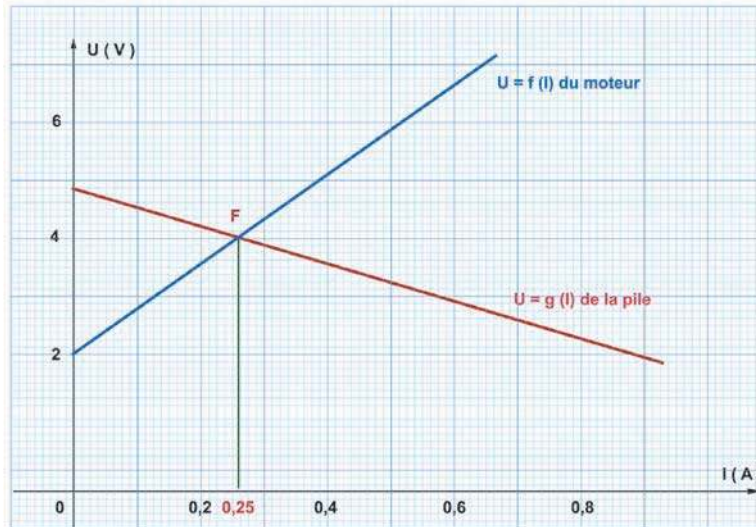
$$E' = 2 \text{ V et } r' = 7 \Omega$$

**K** : interrupteur.

**A** : ampèremètre.



Tracer les caractéristiques  $U = f(I)$  des deux dipôles sur le même graphe et vérifier que l'intensité  $I$  du courant qui traverse le circuit est  $I = 0,25 \text{ A}$ .



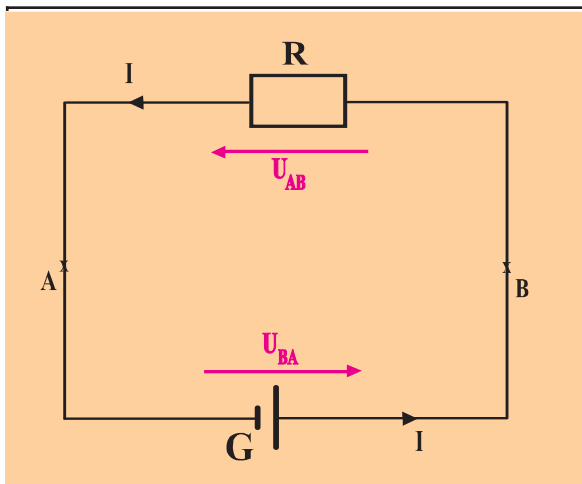
Le point de fonctionnement d'un circuit formé par un dipôle générateur et un dipôle récepteur est le point d'intersection des caractéristiques intensité- tension de ces dipôles. L'intensité du courant qui traverse le circuit est l'abscisse du point de fonctionnement et la tension aux bornes de chaque dipôle est l'ordonnée du point de fonctionnement.

### b - Méthode analytique :



Appliquer la loi des mailles au circuit précédent.

Dégager la relation donnant l'intensité du courant qui traverse le circuit en fonction des caractéristiques des différents dipôles.



$$U_{AB} + U_{BA} = 0$$

Avec  $U_{BA} = U_{Gen} = E - r.I$   
 et  $U_{AB} = U_R = -R.I$   
 D'où :  $E - R.I - r.I = 0$   
 Soit :  $E = (R + r).I$

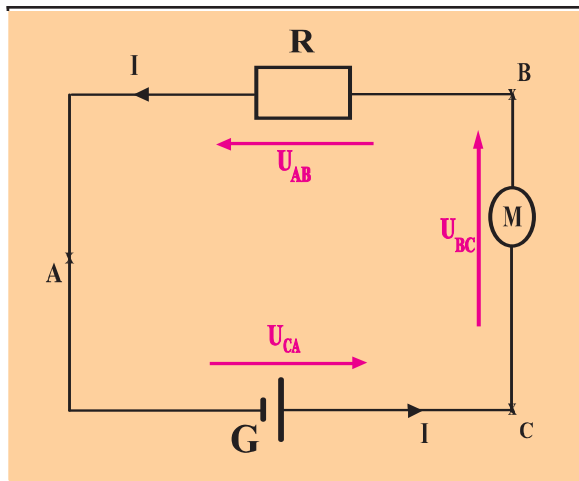
Alors :

$$I = \frac{E}{R + r}$$

### Exemple :



- Appliquer la loi des mailles au circuit ci-dessous, formé par un dipôle générateur ( $E, r$ ), un dipôle résistor ( $R$ ) et un moteur ( $E', r'$ ).



$$U_{AB} + U_{BC} + U_{CA} = 0$$

Avec  $U_{CA} = U_{Gen} = E - r.I$

$$U_{AB} = U_R = - R.I$$

$$U_{BC} = - (E' + r'.I)$$

D'où :  $E - r.I - E' - r'.I - R.I = 0$

Soit :  $E - E' = (R + r' + r).I$

Alors :  $I = \frac{E - E'}{R + r + r'}$



- Réaliser le montage de la figure précédente en ajoutant un ampèremètre en série avec les trois dipôles.
- Lire l'indication ( $I'$ ) de l'ampèremètre.
- Calculer la valeur de l'intensité du courant  $I$  traversant le circuit en utilisant la formule

$$I = \frac{E - E'}{R + r + r'}$$

- Comparer  $I$  et  $I'$  et conclure.

**L'intensité du courant traversant un circuit série comportant  $n$  dipôles est égale au rapport de la somme des f.é.m des  $p$  générateurs diminuée de la somme des f.c.é.m des  $q$  récepteurs actifs à la somme des résistances de tous les dipôles :**

$$I = \frac{(E_1 + E_2 + \dots + E_p) - (E'_1 + E'_2 + \dots + E'_q)}{(r_1 + r_2 + \dots + r_n)}$$

Qu'on écrit d'une manière condensée comme suit:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^p E_i - \sum_{j=1}^q E'_j}{\sum_{k=1}^n r_k}$$

$\Sigma$  : symbole désignant somme.

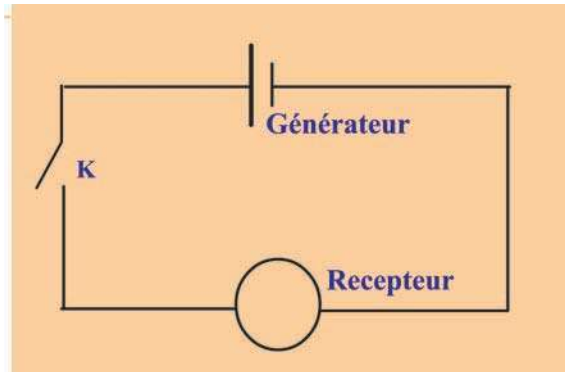
## 2 Comment peut-on savoir si deux dipôles s'adaptent ou non ?



Peut-on utiliser n'importe quel dipôle générateur pour faire fonctionner un dipôle récepteur ?

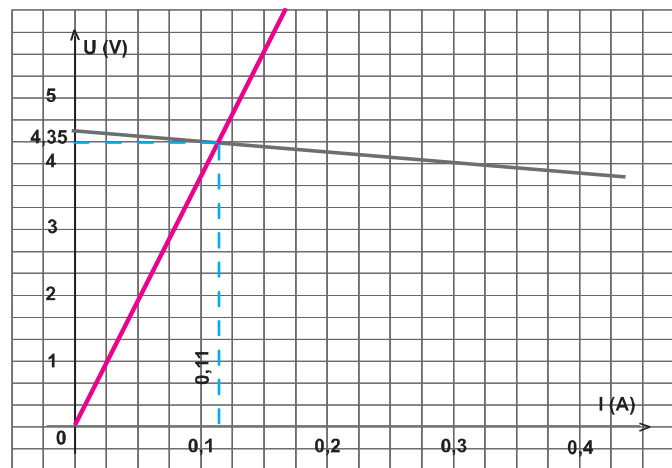
Le tableau ci-dessous regroupe les grandeurs caractéristiques et les caractéristiques intensité-tension d'un dipôle générateur et un dipôle récepteur formant le même circuit électrique.

- Déterminer les coordonnées du point de fonctionnement pour chaque cas.
- Comparer les valeurs trouvées de  $I$  et  $U$  avec les grandeurs caractéristiques des dipôles utilisés.
- Conclure.



Un générateur de f.é.m  $E = 4,5 \text{ V}$  et de résistance interne  $r = 2 \Omega$  est relié à un dipôle résistor portant les indications suivantes  $R = 40 \Omega$  et  $I_{\text{Max}} = 0,5 \text{ A}$ .

Les caractéristiques de ces dipôles sont représentées sur le **graphe 1** à droite.

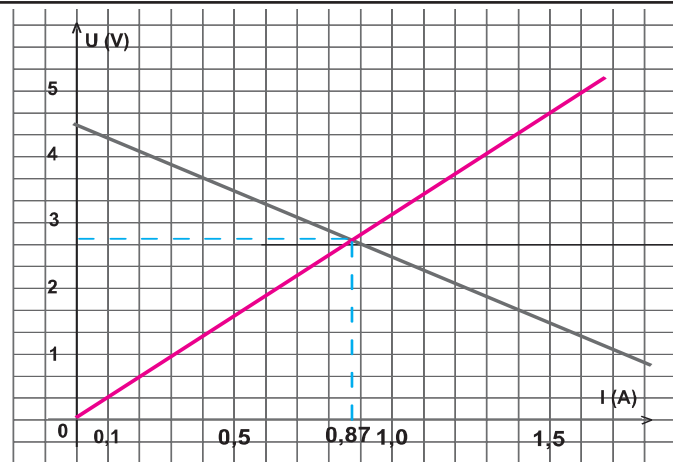


graphe 1

Un générateur de f.é.m  $E = 4,5 \text{ V}$  et de résistance interne  $r = 2 \Omega$  est relié à un dipôle résistor de résistance

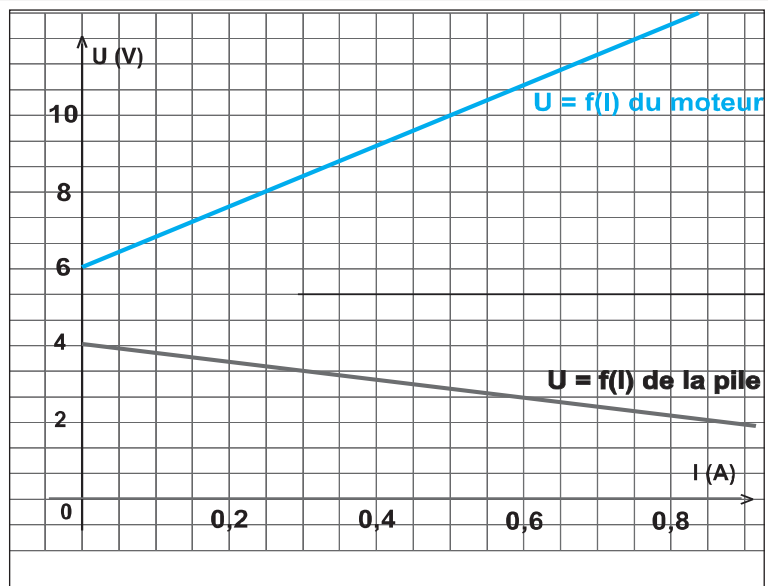
$R = 3 \Omega$  ne pouvant pas supporter un courant d'intensité  $I$  supérieure à  $200 \text{ mA}$ .

Les caractéristiques de ces dipôles sont représentées sur le **graphe 2** à droite.



graphe 2

Une pile de f.é.m  $E = 4,5 \text{ V}$  et de résistance interne  $r = 3 \Omega$  est reliée à un moteur de f.c.é.m  $E' = 6 \text{ V}$  et de résistance interne  $r' = 10 \Omega$ .  
 Les caractéristiques de ces dipôles sont représentées sur le **graphe 3** à droite.



graphe 3



- Le premier cas,  $I < I_{\text{Max}}$  supportée par le résistor.
- Le 2<sup>ème</sup> cas,  $I > I_{\text{Max}}$  supportée par le résistor.
- Le 3<sup>ème</sup> cas, les deux caractéristiques n'admettent pas de point d'intersection.



- $I < I_{\text{Max}}$ , le circuit formé par le résistor et le générateur est traversé par un courant d'intensité  $I$  supporté par les deux dipôles. Le résistor s'adapte au générateur.
- $I > I_{\text{Max}}$ , le résistor ne peut pas supporter le courant débité par le générateur et risque d'être grillé. Le résistor ne s'adapte pas au générateur.
- Pas de point de fonctionnement : le récepteur ne s'adapte pas au générateur.

Un dipôle récepteur s'adapte à un dipôle générateur si :

- les caractéristiques  $U = f(I)$  ou  $I = g(U)$  admettent un point d'intersection;
- les coordonnées du point de fonctionnement ne prévoient aucun danger aux deux dipôles.

## *L' ESSENTIEL*

On peut déterminer la valeur de l'intensité I du courant par deux méthodes :

- A l'aide d'un ampèremètre.
- Graphiquement : coordonnées du point de fonctionnement.

Un dipôle s'adapte à un autre si leurs caractéristiques présentent un point d'intersection dont les coordonnées (I et U) ne prévoient aucun danger à ces dipôles.

L'intensité du courant traversant un circuit série comportant n dipôles est égale au rapport de la somme des f.é.m des p générateurs diminuée de la somme des f.c.é.m des q récepteurs actifs à la somme des résistances de tous les dipôles :

$$I = \frac{(E_1 + E_2 + \dots + E_p) - (E'_1 + E'_2 + \dots + E'_q)}{(r_1 + r_2 + \dots + r_n)}$$

# EXERCICES EXERCICES

## Est-ce que je connais ?

Recopier chacune des phrases et mettre Vrai ou faux dans la case correspondante.

- Un dipôle résistor s'adapte toujours avec un générateur.
- Pour déterminer le point de fonctionnement d'un circuit il faut représenter les caractéristiques tension-intensité des dipôles formant le circuit sur le même graphe.
- Un générateur de f.é.m  $E$  s'adapte à un moteur de f.c.é.m  $E'$  supérieure à  $E$ .
- Un générateur s'adapte à un récepteur actif si la f.é.m du générateur est égale à la f.c.é.m du récepteur.
- Le point de fonctionnement sert à déterminer l'intensité du courant qui traverse le circuit formé par deux dipôles.

## Est-ce que je sais appliquer ?

- 1** Un circuit est formé par un générateur de f.é.m  $E = 4,5 \text{ V}$  et de résistance interne nulle est monté en série avec un dipôle résistor de résistance  $R = 10 \Omega$ .
- a- Tracer sur le même graphe les caractéristiques intensité-tension des deux dipôles.  
b- Déterminer les coordonnées du point de fonctionnement.  
c- Sachant que la tension maximale supportée par le résistor est égale à  $4 \text{ V}$ ; est ce que les deux dipôles sont adaptables ?
- 2** Un circuit est formé par un générateur de f.é.m  $E = 6 \text{ V}$  et de résistance interne  $r = 1 \Omega$ , et un récepteur actif dont la caractéristique est donnée par le tableau suivant :

I (A)	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0
U (V)	3	4	5	6	7

- a- Tracer les caractéristiques des deux dipôles sur le même graphe.  
b- Quelle valeur indique un ampèremètre de résistance nulle lorsqu'il est branché en série avec ces deux dipôles ?  
c- Un voltmètre branché en parallèle avec le récepteur indique la valeur  $4 \text{ V}$ . cette valeur est elle correcte ? Si non déterminer la valeur correcte que devrait afficher le voltmètre.

## Est-ce que je sais raisonner ?

- 1** Un générateur de force électromotrice  $E = 6 \text{ V}$  et de résistance interne nulle est branché en série avec un dipôle  $D$  formé par un moteur de force contre électromotrice  $E' = 4 \text{ V}$  et de résistance interne  $r' = 2 \Omega$  et un résistor de résistance  $R = 8 \Omega$ .
- Tracer les caractéristiques intensité-tension du résistor et du moteur. Déduire celle du dipôle  $D$ .
  - Tracer la caractéristique intensité-tension du générateur.
  - Déterminer la tension  $U$  aux bornes du dipôle  $D$ . Déduire celle aux bornes du résistor.
  - La puissance maximale reçue par le résistor ne doit pas dépasser la valeur  $0,5 \text{ W}$  pour qu'il ne soit pas grillé; ce résistor peut-il s'adapter au reste du circuit ?
- 2** On dispose de plusieurs piles identiques et un moteur de force contre électromotrice  $E' = 4 \text{ V}$  et de résistance interne  $r' = 2 \Omega$ . Chaque pile est caractérisée par une force électromotrice  $E = 1,5 \text{ V}$  et une résistance interne  $r = 0,5 \Omega$ .
- Quel est le nombre minimal de piles utilisées pour que le moteur fonctionne ? Comment sont disposées ces piles ?
  - Sachant que la tension maximale supportée par le moteur est égale à  $6 \text{ V}$ ; Déterminer le nombre maximal de piles utilisées. Comment sont-elles disposées ?
  - Calculer alors l'intensité du courant qui traverse le moteur et la tension entre ses bornes.
- 3** La caractéristique d'une pile est linéaire ; on donne la f.é.m de ce dipôle générateur  $E = 3,0 \text{ V}$  et sa résistance interne  $r = 2 \Omega$ .
- On relie entre ses bornes deux conducteurs ohmiques identiques, de résistance  $R = 10 \Omega$ . Calculer l'intensité du courant qui passe dans le dipôle générateur, ainsi que la tension qui existe entre ses bornes, dans les deux cas suivants :
- Les deux conducteurs ohmiques sont montés en série ;
  - Les deux conducteurs ohmiques sont montés en parallèle.
- 4** Une alimentation stabilisée maintient entre ses bornes une tension pratiquement constante :  $U = 12,0 \text{ V}$ . Elle est utilisée pour recharger une batterie d'accumulateurs dont la tension à vide est  $E = 6 \text{ V}$ .
- Calculer la résistance du conducteur ohmique qui doit être placé en série dans le circuit si l'on veut que l'intensité du courant ne dépasse pas  $I = 0,40 \text{ A}$ .
- 5** On branche aux bornes d'une pile, dont la f.é.m  $E = 6,0 \text{ V}$  et la résistance interne  $r = 4,0 \Omega$ , un conducteur ohmique de résistance  $R = 40 \Omega$  et un moteur de f.c.é.m  $E' = 3,0 \text{ V}$  et de résistance interne  $r' = 6,0 \Omega$ . Ces deux récepteurs sont montés en série.
- Calculer l'intensité du courant qui passe dans le circuit.
  - Déterminer les tensions aux bornes de la pile et aux bornes du conducteur ohmique. Déduire celle aux bornes du moteur.

# SAVOIR PLUS

## 1. Accumulateurs



Accumulateur ou batterie au plomb La batterie au plomb a été inventée en 1859 par le Français Gaston Planté. Dorling Kindersley

Inventé en 1859 par le physicien français Gaston Planté, l'accumulateur emmagasine de l'énergie qu'il restitue selon les besoins. Il peut être rechargé lorsque l'on inverse la réaction chimique ; c'est ce qui le différencie des piles électriques. L'accumulateur découvert par Planté était un accumulateur au plomb, ou batterie au plomb, toujours très utilisé aujourd'hui. Il est constitué d'un empilage d'électrodes positives, de séparateurs et d'électrodes négatives placés dans un bac couvert. Il peut délivrer un courant électrique intense (de 100 à 500 A), mais se décharge rapidement.

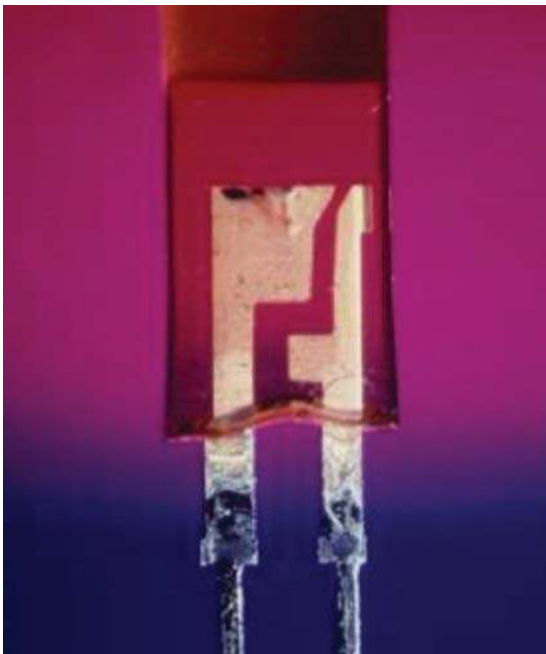
L'électrolyte est une solution diluée d'acide sulfurique, l'électrode négative est une plaque remplie de plomb « spongieux » ; l'électrode positive est une plaque contenant une pâte d'oxyde de plomb. Les séparateurs sont des feuilles rectangulaires, placées entre les plaques positives et les plaques négatives. Elles doivent, entre autres :

- être constituées d'un isolant parfait ;
- avoir une grande perméabilité aux ions porteurs du courant ;
- avoir une porosité élevée ;
- présenter une bonne tenue à l'acide sulfurique.

En fonctionnement, l'électrode négative au plomb produit des électrons libres et des cations (ions positifs) de plomb. Les électrons parcourent le circuit électrique extérieur et les cations de plomb se combinent avec les anions (ions négatifs) sulfates dans l'électrolyte, pour former le sulfate de plomb. Lorsque les électrons retournent dans la cellule par l'électrode positive, une nouvelle réaction a lieu. L'oxyde de plomb se combine avec les ions hydrogène dans l'électrolyte et avec les électrons pénétrant dans la cellule pour former de l'eau et libère des cations de plomb dans l'électrolyte pour former du sulfate de plomb.

Une batterie au plomb se décharge lorsque l'acide sulfurique se transforme progressivement dans l'eau et que les électrodes se transforment en sulfate de plomb. Lorsque la cellule est rechargée, les réactions chimiques décrites précédemment s'inversent jusqu'à ce que les produits chimiques aient retrouvé leur état original. Une batterie au plomb a une durée de vie utile d'environ quatre ans. La capacité de l'accumulateur est le produit de l'intensité de décharge par la durée de fonctionnement ; elle s'exprime en Ah (Ampère heure) et correspond à la quantité d'électricité que le dispositif peut restituer. On définit également la capacité massique de l'accumulateur : c'est la capacité de l'accumulateur par kilogramme de réactif chimique utilisé. Les batteries au plomb les plus performantes fournissent environ 30 Ah/kg, et de 40 à 45 Wh/kg (énergie massique), lors d'une décharge totale durant cinq heures. Aux basses températures (inférieures à - 18 °C), la capacité d'un accumulateur diminue.

## 2. Diodes



### a. Diode électroluminescente

Utilisée dans de nombreux appareils électroniques, la diode électroluminescente (ou diode DEL) produit de la lumière lorsqu'elle est traversée par un courant. Par exemple, les calculatrices et les montres digitales comprennent 7 diodes DEL assemblées en forme de « 8 », permettant ainsi de former n'importe quel chiffre de 0 à 9. Yoav Lévy/Phototake NYC

### b. Diode à effet thermoélectrique

Un tube à vide est un tube de verre contenant plusieurs électrodes métalliques, à l'intérieur duquel on a fait le vide. Il existe différentes sortes de tubes à vide, les plus connues étant la diode et la triode.

Une diode possède deux électrodes : une anode qui devrait être reliée à la borne positive d'une source d'alimentation électrique, et une cathode qui devrait être connectée à la borne négative. La cathode, petit tube métallique chauffé par un filament, libère des électrons qui migrent vers l'anode, cylindre métallique entourant la cathode. Si une tension alternative est appliquée aux bornes de la diode, les électrons migrent vers l'anode pendant le demi-cycle positif, tandis que l'anode repousse les électrons pendant le demi-cycle négatif. Un tube redresseur est une diode qui ne laisse passer un courant alternatif que durant les demi-cycles positifs : c'est pourquoi on utilise ce type de diode pour convertir un courant alternatif en courant continu (voir Redressement).

En insérant entre la cathode et l'anode une grille métallique à laquelle on a appliqué une tension négative, il devient possible de contrôler le flux d'électrons traversant la diode. En effet, comme la grille est polarisée négativement, elle repousse les électrons émis par la cathode, si bien que seule une fraction atteint l'anode. Un tel tube, appelé triode, peut être ainsi utilisé comme amplificateur : de petites modifications de la tension au niveau de la grille, dues par exemple à un signal radio ou audio, provoquent en effet d'importantes variations de flux entre la cathode et l'anode, variations qui se répercutent dans le circuit connecté à l'anode.

### 3. Piles

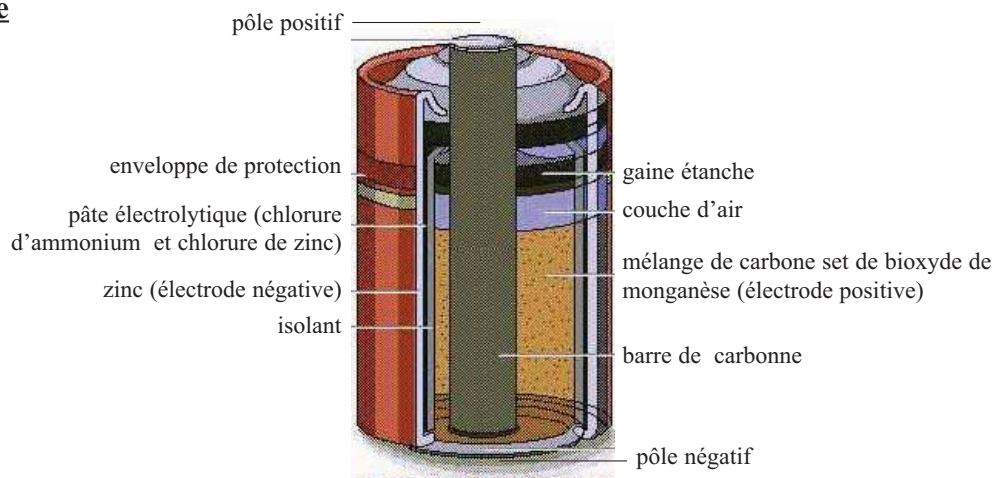
#### a- Pile au bichromate de potassium



#### Pile au bichromate de potassium

Inventée en 1842, la pile au bichromate de potassium est constituée de deux plaques de charbon de cornue (pôle positif) disposées de chaque côté d'une lame de zinc (pôle négatif), le tout plongeant dans une solution acide de bichromate de potassium. Cette pile présente une force électromotrice de 2 V.

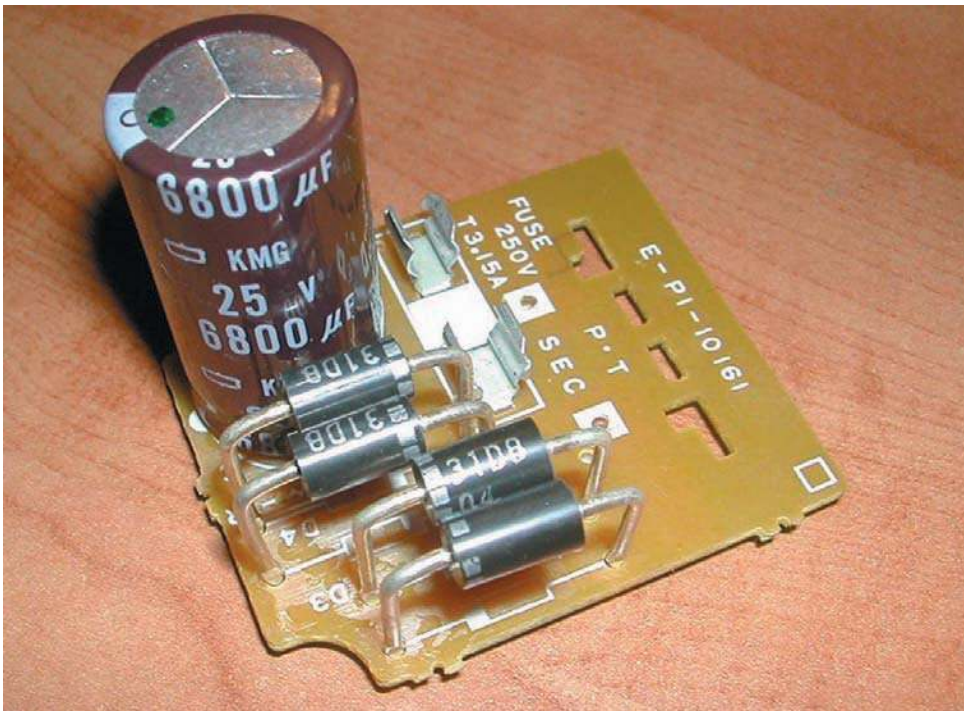
#### b-Pile sèche



Les éléments fonctionnels d'une pile sèche sont le pôle négatif (une enceinte de zinc qui entoure les matériaux de la pile), le pôle positif (la barre de carbone et le mélange carbone / bioxyde de manganèse qui l'entoure) et la pâte électrolytique située entre les deux pôles. La pâte électrolytique favorise une réaction chimique (réaction d'oxydoréduction) mettant en œuvre les composants des deux pôles ; cette réaction provoque la circulation d'un courant à travers un conducteur (la barre de carbone) connectant le pôle positif au pôle négatif.

# Chapitre 4

## La diode



## Contenu du chapitre 4

- ◆ Constitution
- ◆ Caractéristiques  $I = f(U)$   
Tracé et linéarisation
- ◆ La diode Zéner
  - Description et symbole.
  - Caractéristiques  $I = f(U)$
  - Application : stabilisation d'une tension ou d'un courant.

# La diode

## Je dois être capable :

- \* de tracer la caractéristique  $I = f(U)$  d'une diode.
- \* de linéariser la caractéristique d'une diode.
- \* de tracer la caractéristique  $I = f(U)$  d'une diode Zéner.
- \* de déterminer graphiquement le point de fonctionnement d'une diode.
- \* de réaliser un montage d'application de la diode Zéner.

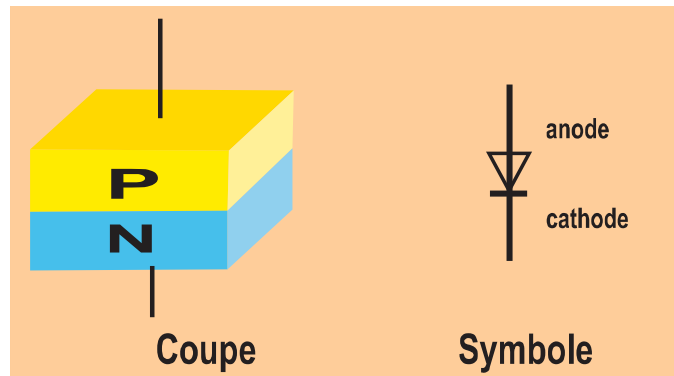
## Je dois d'abord tester mes acquis :

1. Rappeler la définition d'un dipôle passif et d'un dipôle actif.
2. Compléter les phrases suivantes par les mots convenables :
  - a. Un dipôle est symétrique si sa caractéristique est .....
  - b. Un dipôle est linéaire si sa caractéristique est .....
  - c. La caractéristique d'un dipôle ..... passe par le point de coordonnées (0, 0).
  - d. Un dipôle générateur s'adapte à un dipôle récepteur si leurs caractéristiques admettent .....
  - e. L'intensité du courant qui traverse un circuit formé par un dipôle générateur et un dipôle récepteur est déterminée graphiquement à l'aide.....

## Je construis mes savoirs :

### 1 De quoi est constituée une diode ?

Une diode est formée par l'association de deux semi-conducteurs (Silicium ou Germanium) dopés. Cette association est appelée jonction PN.



#### Le dopage des semi-conducteurs

Un semi-conducteur est un matériau qui n'est ni un bon conducteur ni un bon isolant.

Le fait d'introduire en très faible quantité des impuretés (opération appelée dopage) dans un cristal de semi-conducteur améliore fortement l'aptitude à laisser passer un courant. Si un cristal de germanium ou de silicium a reçu des impuretés pentavalentes (arsenic, phosphore, antimoine) il devient un semi-conducteur à conductivité N (ex : silicium N). Un cristal de germanium dopé par des impuretés trivalentes (indium, gallium, bore) devient un semi-conducteur P.

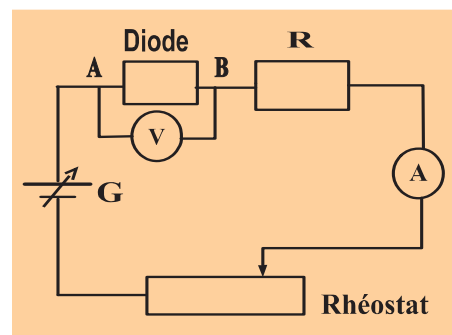
En juxtaposant une zone dopée P et une zone dopée N à l'intérieur d'un cristal de semi-conducteur, comme sur la figure ci-dessus, on obtient une jonction PN.

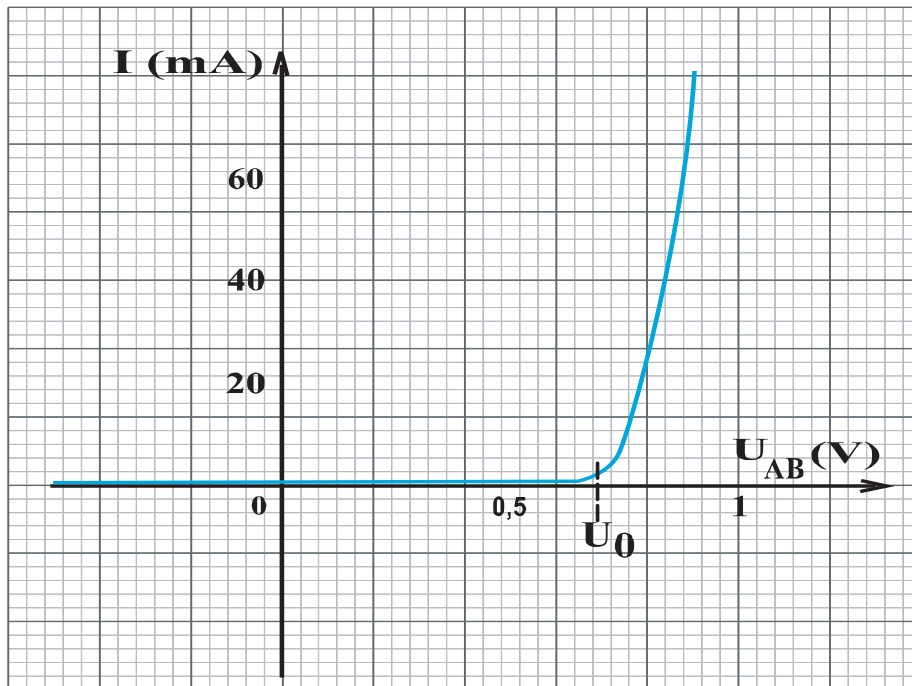
Dans la pratique on peut par exemple partir d'un cristal de silicium dopé P à la surface duquel est déposée une fine couche d'un corps pentavalent (phosphore ou arsenic). En chauffant le cristal à une température suffisante, comprise entre la température de fusion du corps déposé et celle du monocristal, des atomes du corps déposé pénètrent dans le cristal par diffusion et créent une zone N.

### 2 Quelle caractéristique a une diode ?

#### Diode à redressement

- Réaliser le montage de la figure ci-contre en utilisant une diode au Silicium.
- Relever les couples de valeurs (I, U) avec  $U = U_{AB}$ .
- Inverser les bornes du générateur et refaire la même chose.
- Tracer la courbe  $I = f(U)$ .





- La caractéristique  $I = f(U)$  passe par le point de coordonnées  $(0, 0)$ .
- La caractéristique  $I = f(U)$  n'est pas une droite et le point  $(0, 0)$  n'est pas un élément de symétrie de la caractéristique.



- La diode est un dipôle passif.
- La diode est un dipôle non linéaire.

En reliant la zone P à la borne (-) d'une source de tension continue et la zone N à la borne (+) la jonction devient quasiment isolante : la diode est dite polarisée en sens inverse, le courant qui la parcourt est très faible.

En reliant l'anode de la diode (zone P) à la borne (+) de la pile et la cathode (zone N) à la borne (-), les porteurs de charge traversent la jonction et un courant élevé parcourt le circuit.

La différence de potentiel entre les zones P et N provoquée par la source de courant continu à la zone de transition doit être suffisamment élevée pour annuler la différence de potentiel (quelques dixièmes de volts) présente dans la jonction à l'état d'équilibre.

### 3 Linéarisation d'une caractéristique

Le comportement de la diode dépend du sens de branchement du générateur à ses bornes.

- Pour obtenir un courant sensible il faut appliquer à la diode, montée d'une certaine manière, une tension supérieure ou égale à une tension appelée tension seuil et notée  $U_0$ .

Pour des tensions plus grandes que  $U_0$ , on peut linéariser la caractéristique et on attribue à la diode une résistance appelée résistance directe notée  $R_d$  de valeur égale à la pente de la droite de la caractéristique linéarisée.  $R_d$  est généralement comprise entre  $1 \Omega$  et  $25 \Omega$ .

- Quand on inverse la polarité (en maintenant le générateur tel quel) ou la polarité du générateur (sans toucher à la diode) le courant est pratiquement nul pour les tensions  $U_{AB}$  négatives supérieures à une certaine tension  $U_C$ . La diode est caractérisée par une résistance dite inverse notée  $R_R$  très grande de quelques  $M\Omega$  à quelques milliers de  $M\Omega$ .

- La tension  $U_C$  est appelée tension de claquage ou de rupture. Cette tension  $U_C$  représente la tension négative à ne pas atteindre pour que la diode ne soit pas détériorée.

Une diode soumise à une tension est dite polarisée :

- La diode est dite polarisée en direct si sa zone P est du côté du pôle positif du générateur.
  - La diode est dite polarisée en inverse si sa zone P est du côté du pôle négatif du générateur.
- La diode ne laisse passer le courant que dans un seul sens sans se détériorer. Cette diode est utilisée pour le redressement du courant alternatif.

**Remarque :**

Une diode qui laisse passer le courant dans le sens inverse pour une tension négative égale à  $U_C$  sans se détériorer est appelée diode Zéner. La tension de claquage  $U_C$  est appelée tension Zéner.

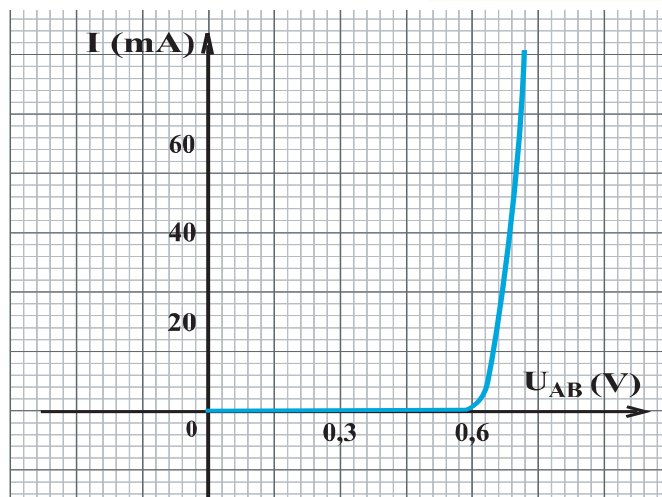
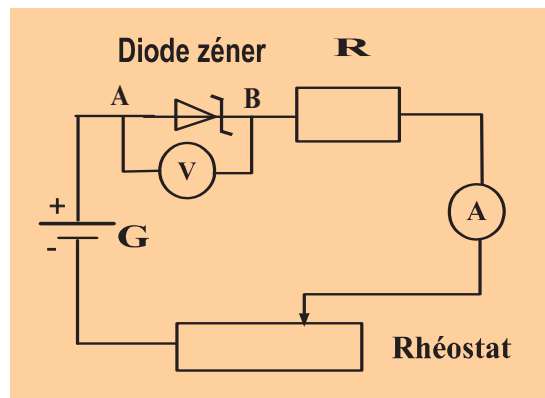
La diode Zéner est symbolisée par : 

**4 / La diode Zéner a-t-elle la même caractéristique que la diode de redressement ?**

**a- Dans le sens direct**



- Réaliser le montage de la figure ci-contre :
- Relever les couples de valeurs (I, U).
- Tracer la caractéristique tension-intensité  $I = f(U)$ .





Pour  $U = U_{AB} > 0$

- La caractéristique  $I = f(U)$  passe par le point de coordonnées  $(0, 0)$ .
- La caractéristique  $I = f(U)$  n'est pas une droite.

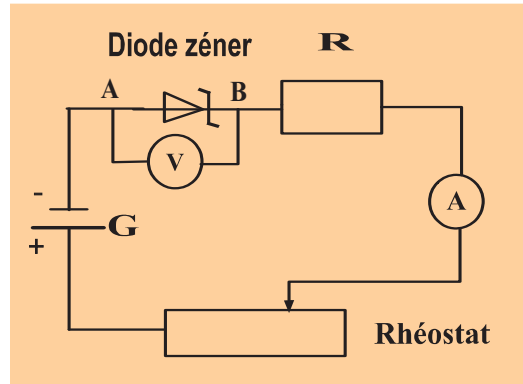


- La diode est un dipôle passif.
- La diode est un dipôle non linéaire.

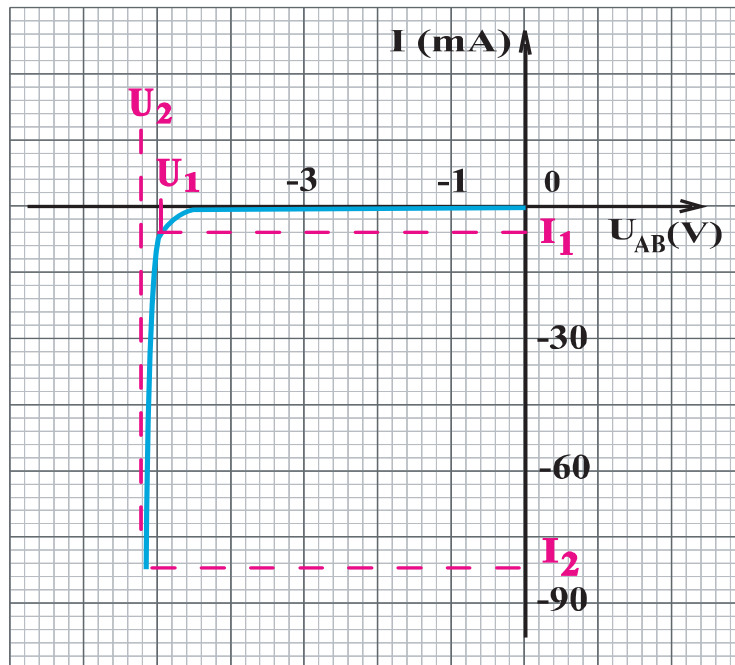
### b- Dans le sens inverse



- Réaliser le montage de la figure ci-contre :
- Relever les couples de valeurs  $(I, U)$ .
- Tracer la caractéristique tension- intensité  $I = f(U)$ . Avec  $U = U_{AB}$



Pour  $U = U_{AB} < 0$



On conviendra de compter positivement l'intensité du courant  $I_{AB}$  qui circule de A vers B et négativement l'intensité  $I_{AB}$  si le courant circule de B vers A.

- Pour des tensions  $U$  comprises entre  $U_1$  et  $U_2$ , la diode laisse passer du courant.
- Le courant inverse  $I_{AB}$  augmente fortement (en valeur absolue) pour  $U_{AB} < U_1$ .
- Entre  $U_1$  et  $U_2$ , la variation de la tension aux bornes de la diode est très faible : la tension, dans cette zone, est presque constante. Cette tension constante est appelée tension Zéner notée  $U_Z$ .

### Remarque :

Si la valeur absolue de l'intensité du courant traversant la diode devient plus grande que  $I_2$  l'effet joule, devenant très grand entraîne la détérioration de la diode.



- La diode Zéner est faite pour fonctionner en régime de claquage ou de rupture inverse.
- La diode Zéner est utilisée pour obtenir des tensions presque constantes.

Une diode Zéner est une diode qui peut fonctionner en régime de claquage inverse.



- Linéariser la caractéristique  $I = f(U)$  de la diode Zéner dans le sens inverse.
- Déterminer la pente du segment de droite obtenue.

$$\text{pente} = \frac{I_2 - I_1}{U_2 - U_1}$$



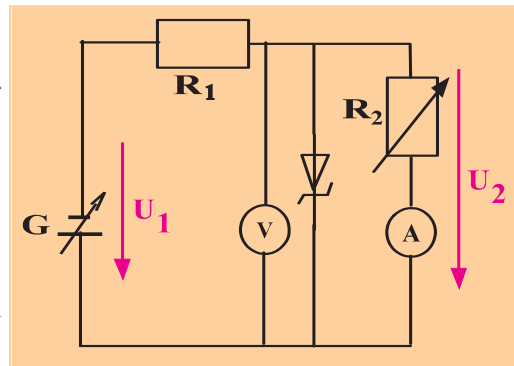
- La pente du segment de droite est grande.
- L'inverse de cette pente représente la résistance différentielle de la diode Zéner. Elle est notée  $R_{\text{dif}}$ .

$$R_{\text{dif}} = \frac{U_2 - U_1}{I_2 - I_1}$$

#### 4 Comment peut-on stabiliser une tension ?



- Réaliser le montage de la figure ci-contre.
- Choisir une résistance  $R_2$  et calculer la valeur de la résistance  $R_1$  pour que le courant qui traverse la diode ne soit pas trop grand.
- Faites varier la tension  $U_1$  du générateur
- Relever les valeurs de la tension  $U_2$  aux bornes de la diode lorsque le courant qui la traverse est non nul.



**Exemple :** On veut obtenir une tension  $U_2 = 6 \text{ V}$  en utilisant une résistance  $R_2 = 600 \Omega$ .

Le courant qui traverse  $R_2$  est  $I_2 = \frac{U_2}{R_2} = 10 \text{ mA}$ .

Limitons à 20 mA le courant dans la diode, le courant total  $I_1$  sera maximum de 30 mA.

La résistance  $R_1$  doit être égale à :  $R_1 = \frac{(U_{1\text{max}} - U_2)}{I_1}$



La variation de la valeur de la tension  $U_2$  est très faible.

La diode Zéner est utilisée dans le sens inverse comme régulatrice de tension.  
La tension obtenue est égale à la tension Zéner.

**Remarque :** Si la charge " $R_2$ " est grande le courant qui la traverse est presque constant à la sortie de la diode on a affaire à une alimentation stabilisée en courants.

## ***L'ESSENTIEL***

Une diode est une jonction PN.

La diode qui ne laisse passer le courant que dans un seul sens est la diode de redressement : Elle est utilisée pour le redressement des courants alternatifs.

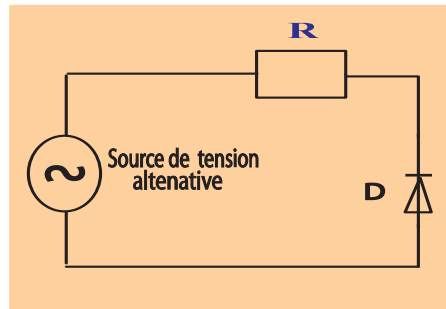
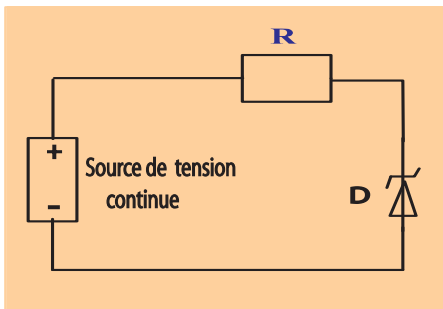
Une diode est un dipôle passif non linéaire.

La diode qui laisse passer le courant dans le sens inverse est la diode Zéner.  
Une diode Zéner est utilisée pour la stabilisation (ou régulation) des tensions.

# EXERCICES EXERCICES

## Est ce que je connais ?

- 1 On veut tracer la caractéristique  $I = f(U)$  d'une diode de redressement.
- Quel est le schéma du montage ?
  - Sachant que la tension minimale pour que la diode soit traversée par un courant est  $U_0 = 0,6 \text{ V}$ , représenter l'allure de la caractéristique de cette diode.
- 2 On donne les deux montages suivants :

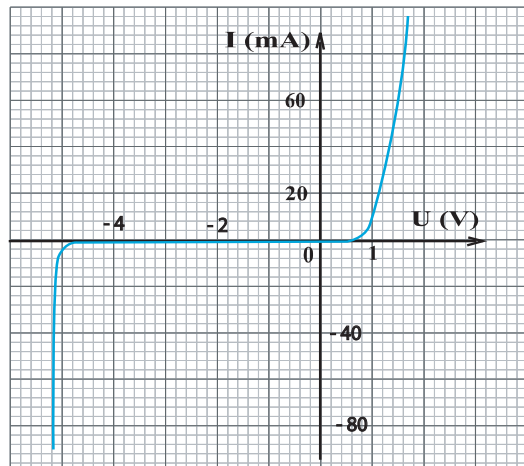


Préciser le rôle de chaque montage.

- 3 Une diode  $D$  est supposée idéale (la tension de seuil et la résistance dans le sens passant sont supposées nulles). Représenter la caractéristique de cette diode.

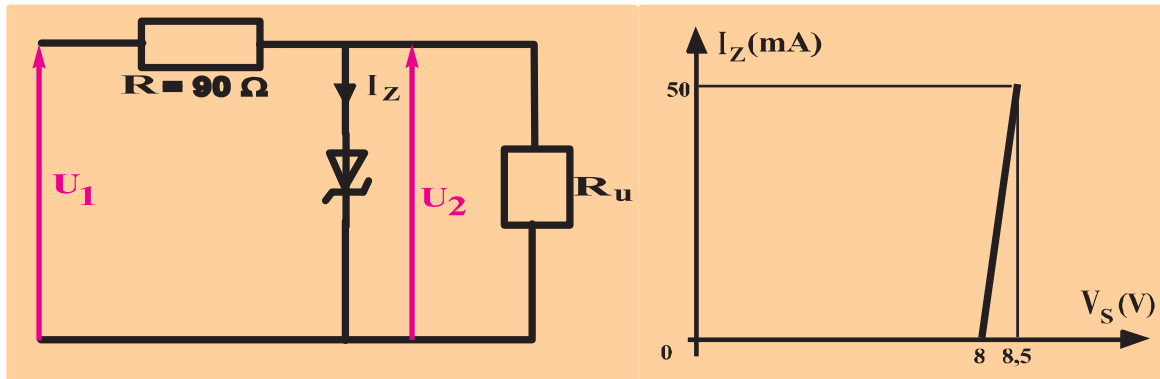
## Est ce que je sais appliquer ?

- 1 On veut obtenir une alimentation stabilisée ( $6\text{V} ; 30 \text{ mA}$ ) à partir d'une source de tension constante de  $12 \text{ V}$ .
- Quel type de diodes utilise t-on ?
  - Quelle sera la valeur de la tension de claquage ?
  - Faire le schéma du montage correspondant.
- 2 La caractéristique  $I = f(U)$  d'une diode est donnée par la courbe ci-contre :
- Quelle est la partie correspondante au sens inverse ?
  - Déterminer la résistance  $R_{\text{dif}}$  dans le sens direct et  $R_{\text{dif}}$  dans le sens inverse.
  - Déterminer la valeur de la tension Zéner  $U_Z$ .



## Est ce que je sais raisonner ?

**1** Dans la structure suivante la diode Zéner est modélisée par une source de tension  $V_Z$  et une résistance interne  $R_Z$ . La résistance  $R_u$  est réglable de l'infini à une valeur minimum  $R_{um}$ .



- $R_u$  est déconnectée (infinie). Pour une variation de  $u_1$  de 10V à 16V, calculer la variation de  $u_2$ .
- Si  $R_u = 400\Omega$  et  $u_1 = 18V$ , calculer  $u_2$ .
- Si  $u_1 = 17V$ , calculer la valeur de  $R_u$  qui rend  $I_Z$  nul.
- Pour  $u_1 = 18V$  et  $R_u = 200\Omega$ , calculer la puissance dissipée dans la diode Zéner.

**2** On veut réaliser une alimentation stabilisée (12 V ; 30 mA) à partir d'une source de tension constante de 24 V.

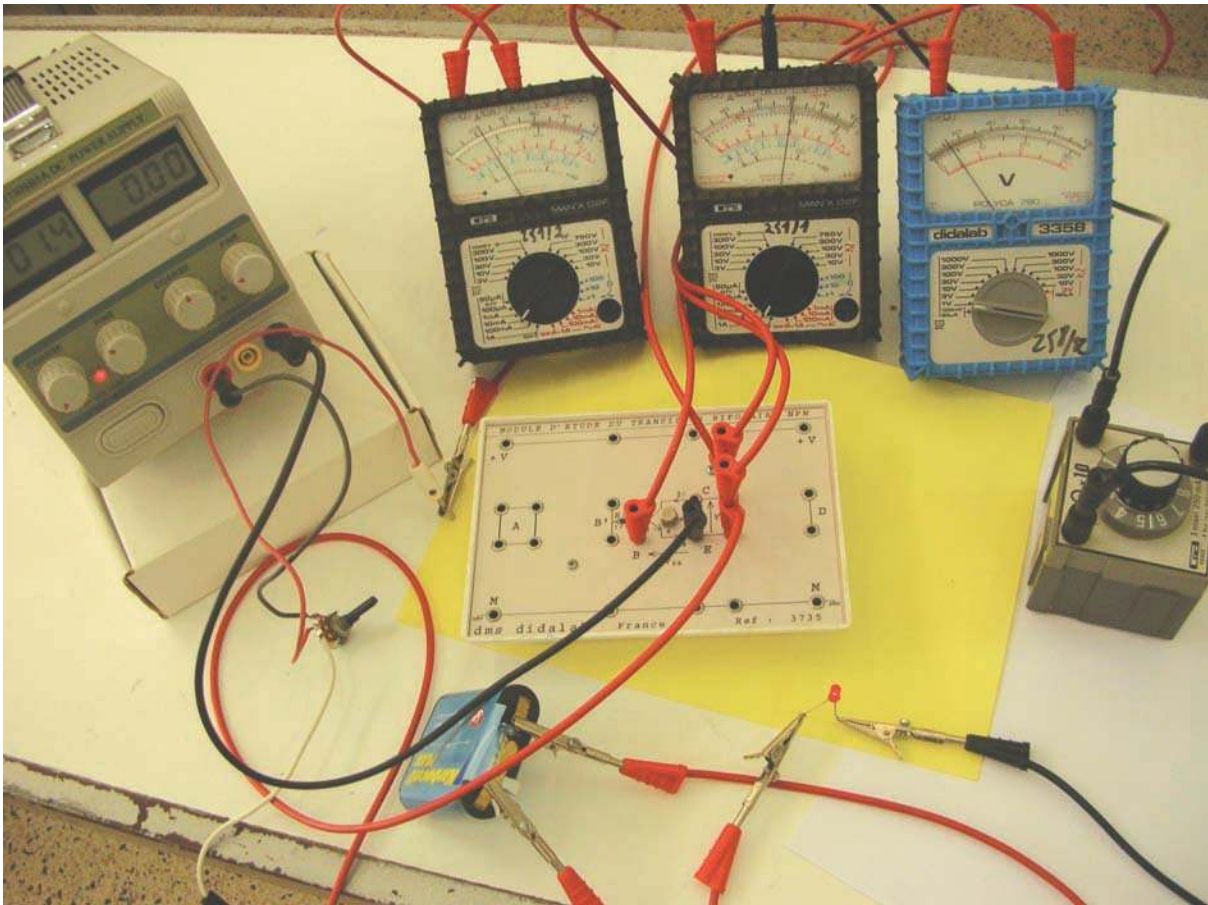
On dispose d'une diode Zéner BZX55-C12 dont les caractéristiques techniques sont :

$$V_Z = 12 \text{ V} ; P_Z = 500 \text{ mW} ; I_{Z\max} = 32 \text{ mA} \text{ et } I_{Z\min} = 0.$$

- Faire le schéma du montage qui permet la réalisation de cette alimentation.
- Calculer la résistance de protection.
- Calculer le courant débité par l'alimentation.
- Calculer l'intensité maximale du courant traversant la diode.
- Calculer La puissance dissipée dans la résistance de protection.

# Chapitre 5

## Le transistor



**LE TRANSISTOR** découvert en 1947, en plus de sa petitesse, de sa fiabilité, sa consommation d'énergie est infime.

En 1950, commence l'ère du **circuit intégré**. Rassemblant plusieurs composants (en majorité des transistors) sur un même substrat de silicium, ces circuits intégrés donnent un essor nouveau à l'ordinateur.

L'intégration et la miniaturisation continuent à progresser pour rendre possible la construction d'appareillages électroniques de plus en plus puissants et performants.

**Le transistor**, élément de base de l'électronique, est le **cerveau** de tout montage.

**Qu'est - ce qu'un transistor ?**

**Comment est - il fait?**

**A quoi sert - il ?**

# Contenu du chapitre 5

- ◆ Constitution, symboles et modes de montage : Le transistor NPN et le transistor PNP
- ◆ Polarisation d'un transistor avec un seul générateur
- ◆ Mode de fonctionnement d'un transistor NPN : Effet transistor
  - Transistor bloqué
  - Transistor passant
  - Transistor saturé
- ◆ Caractéristiques d'un transistor NPN
  - Caractéristique d'entrée  $I_B = f(U_{BE})$  avec  $U_{CE}$  constante
  - Caractéristique de transfert  $I_C = f(I_B)$  avec  $U_{CE}$  constante
  - Caractéristique de sortie  $I_C = f(U_{CE})$  avec  $I_B$  constante
- ◆ Fonctions d'un transistor
  - Fonction analogique : amplification de signaux
  - Fonction logique : La commutation
- ◆ Application : Les détecteurs

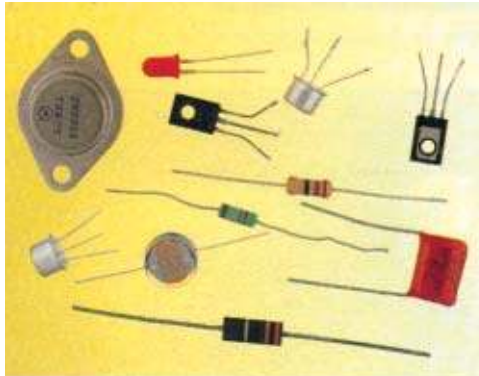
# Le transistor bipolaire

## Je dois être capable :

- ◆ de distinguer un transistor NPN d'un transistor PNP.
- ◆ de réaliser un montage en émetteur commun.
- ◆ de réaliser un montage de polarisation.
- ◆ de reconnaître les différents modes de fonctionnement d'un transistor.

## Je dois d'abord tester mes acquis :

1- D'après la photo ci-dessous, donner le nom et le schéma normalisé des composants électroniques que vous connaissez.



2- Citer quelques composants électroniques qui peuvent se trouver dans les circuits des appareils, tel que : la commande du téléviseur, le poste radio, le portable.

3- Comment fonctionne une diode ?

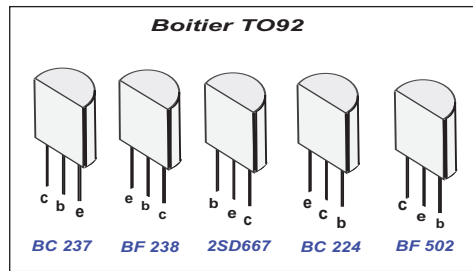
4- Une association en opposition de deux diodes (anode commune ou cathode commune) conduit - elle le courant électrique ?

5- Quel est le rôle d'un potentiomètre intercalé dans un circuit électrique ?

6- Donner quelques exemples d'appareils ayant quatre bornes.



Pour un même boîtier TO92, on trouve 5 brochages différents suivant les modèles de transistors.



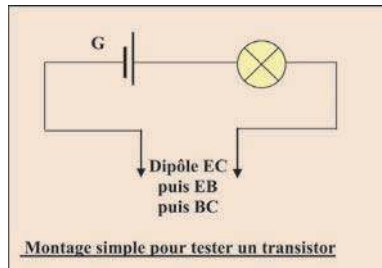
## 2 Quels sont les comportements des dipôles EC, EB et BC d'un transistor?



Étudions sommairement les dipôles EC, EB et BC.

Pour cela, on met en série une pile G de 4,5V, une ampoule adaptée à cette pile et le dipôle formé avec les deux bornes du transistor.

L'ampoule est choisie de façon que le courant nécessaire pour l'allumer ne risque pas de détériorer le transistor (une ampoule de signalisation 6V, 50 mA convient en général).



- Avec le dipôle EC, l'ampoule ne s'allume jamais quelque soit le sens de branchement.
- Avec le dipôle EB, l'ampoule s'allume pour un sens de branchement du dipôle et reste éteinte si les connexions sont inversées : tout se passe comme si on avait branché une diode.
- Le dipôle BC se comporte de façon analogue, comme une diode.



Les dipôles EB et BC sont **équivalents à des diodes**, alors que EC (qui correspond à EB et BC en série) bloque toujours le passage du courant : c'est que, si la diode EB est passante, BC est bloquée et inversement.

Donc, du point de vue constitution, un transistor pourrait être assimilé à deux diodes en opposition.

**Remarque :** l'association de deux diodes en opposition ne constitue pas un transistor. Un transistor est nécessairement fabriqué dans un même bloc de semi-conducteur.

**Si le pôle B n'est pas branché,  $I_{CE}$  est nul quelque soit le sens de branchement des deux autres pôles.**

**Le transistor branché entre C et E se comporte donc comme un interrupteur ouvert : on dit qu'il est bloqué.**

**Dans le dipôle BE ou BC, le courant ne peut circuler que dans un seul sens.**

**Le dipôle BE ou BC peut être assimilé à une diode.**

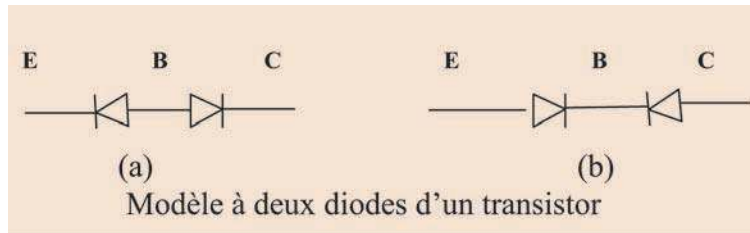
**Du point de vue constituant, un transistor est équivalent à deux diodes en opposition d'anode commune (la base) ou de cathode commune (la base).**

### 3 Quelles sont les deux catégories de transistor ?

#### ■ Constitution et caractéristiques physiques d'un transistor.

Assimilons le transistor à deux diodes associées en opposition.

Deux diodes en opposition peuvent être branchées de deux façons: ou elles sont passantes depuis la base en direction de l'émetteur et du collecteur, ou bien elles sont passantes en sens contraire.



Au modèle (a) correspond un transistor **NPN** et à celui de (b) correspond un transistor **PNP**. Donc, on distingue deux types importants de transistors : le transistor **NPN** et le transistor **PNP**.

Les appellations **NPN** et **PNP** des deux types de transistor proviennent de leurs constituants internes. On a signalé au départ qu'un transistor bipolaire est formé d'un monocristal semi-conducteur dans lequel on a créé trois zones de conductivités différentes. Ces zones peuvent être de type **N** ou de type **P**.

Le semi-conducteur est à base de silicium (Si) ou de germanium (Ge). Les zones conductrices sont obtenues en injectant une petite quantité d'éléments étrangers ou impuretés (Arsenic, Bore...) dans le semi-conducteur. Suivant la nature de ces impuretés, on obtient un semi-conducteur de type N ou de type P. Les lettres P et N sont l'abréviation de positif et négatif.

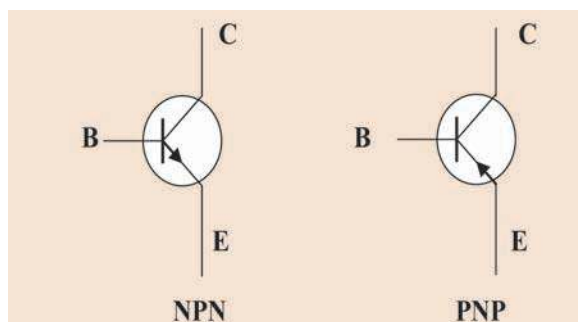
La frontière entre deux zones est appelée **jonction PN**.

La nature **NPN** ou **PNP** d'un transistor peut être connue grâce aux indications codées qu'il porte : un groupe de lettres majuscules suivies de chiffres.

Les fabricants de composants électroniques fournissent des catalogues dans lesquels ils précisent le code utilisé.

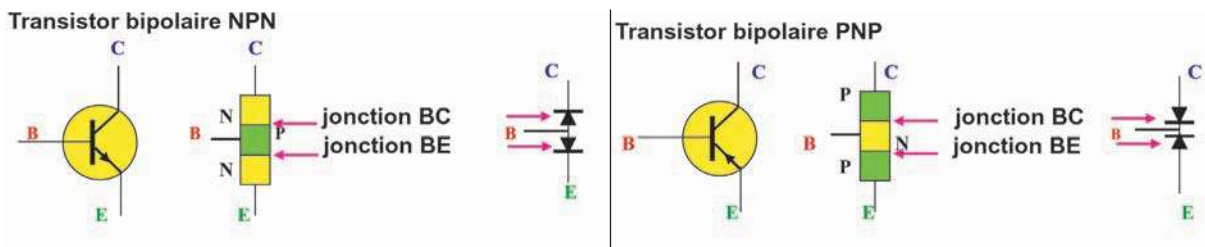
#### ■ Représentation symbolique des transistors

Deux symboles sont actuellement utilisés pour le transistor bipolaire.



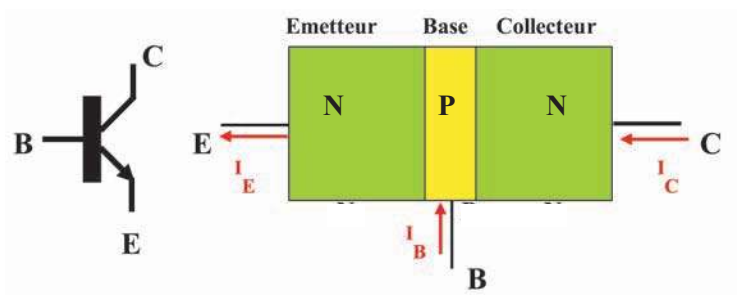
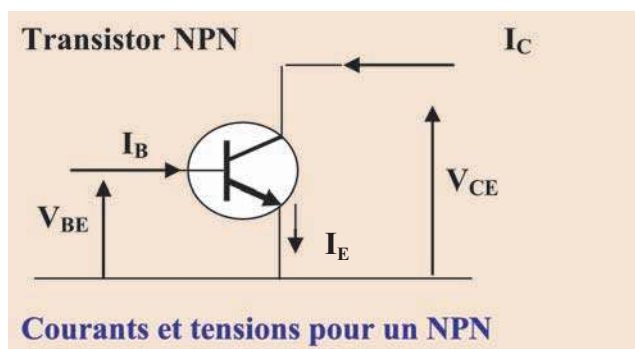
Nous distinguons sur chacun des symboles une flèche. Celle-ci indique le sens passant de la jonction base - émetteur ; c'est aussi le sens que doit avoir le courant dans cette jonction lorsque le transistor fonctionne normalement.

### Schémas récapitulatifs

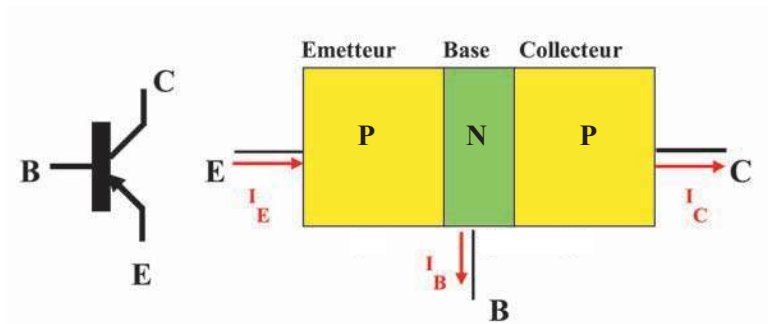
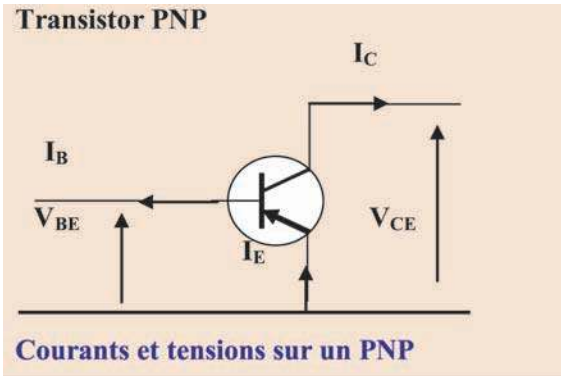


#### ■ Courants et tensions pour un transistor

- Cas d'un transistor NPN : dans ce type de transistor, les courants de base  $I_B$  et de collecteur  $I_C$  sont rentrants, et le courant d'émetteur  $I_E$  est sortant. Les tensions  $V_{BE}$  ou ( $U_{BE}$ ) et  $V_{CE}$  ou ( $U_{CE}$ ) sont ici positives.



- Cas d'un transistor PNP : dans ce type de transistor, les courants de base  $I_B$  et de collecteur  $I_C$  sont sortants, et le courant d'émetteur  $I_E$  est rentrant. Les tensions  $V_{BE}$  et  $V_{CE}$  sont ici négatives.



- Pour les deux types de transistor, la loi des nœuds permet d'écrire :

$$I_E = I_B + I_C$$

**Remarque :** Dans la suite, l'étude porte sur les transistors **NPN**.

Les transistors **NPN** sont plus répandus car ils ont de meilleures performances que les **PNP** (la conductibilité du silicium N est meilleure que celle du silicium P, ainsi que la tenue en tension).

#### 4 Comment commande-t-on le blocage et le déblocage d'un transistor ?



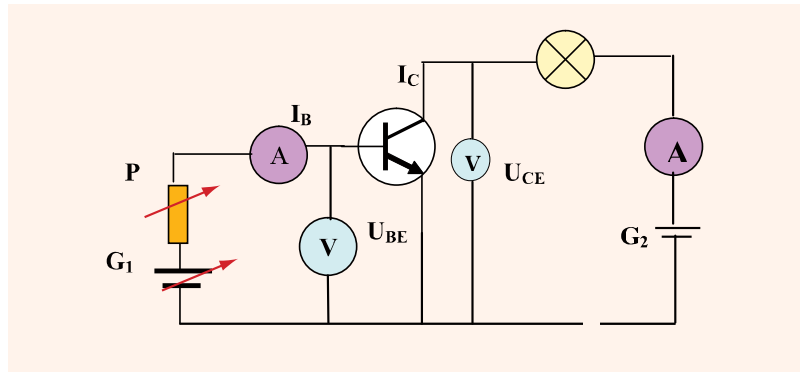
Réaliser sur une plaquette le montage suivant :

G<sub>1</sub> : générateur de f.é.m. E<sub>1</sub>= 1,5V

G<sub>2</sub> : générateur de f.é.m. E<sub>2</sub>= 4,5V

P : potentiomètre de 10 kΩ sert à faire varier l'intensité du courant I<sub>B</sub>

Le transistor utilisé est 2N2219



- Pour  $U_{BE} < 0,6V$ ,  $I_B$  est nul, et de même  $I_C$  (la lampe ne s'allume pas) : le transistor est **bloqué**.
- Pour  $U_{BE} > 0,6V$ ,  $I_B$  est non nul, il y'a un courant  $I_C$  (la lampe s'allume) : le transistor est **débloqué**.
- Selon la valeur de  $U_{BE}$  ( et donc selon la valeur de  $I_B$ ), le transistor est partiellement ou parfaitement débloqué.



Lorsque le transistor est débloqué et à l'aide d'un voltmètre, noter les signes des tensions  $U_{BE}$  et  $U_{BC}$  indiquées dans le tableau suivant :



Tension	Signe
$U_{BE}$	+
$U_{BC}$	-



Lorsque  $U_{BE}$  est positive, on dit que la jonction **BE** est **polarisée en direct** et lorsque  $U_{BC}$  est négative, on dit que la jonction **BC** est **polarisée en inverse**.

Le « **fonctionnement normal** » du transistor celui qui est caractérisé par :

- La jonction **BE** est polarisée en direct.
- La jonction **BC** est polarisée en inverse.

La tension  $U_{BE}$ , par le biais du courant  $I_B$ , peut débloquent le transistor et permet le passage d'un courant de collecteur  $I_C$ .

Le courant de base  $I_B$  débloquent la jonction base collecteur. Elle devient conductrice malgré sa polarisation en inverse : c'est l'**effet transistor**.

## Définitions

Le circuit fermé sur les pôles **B** et **E** est appelé **circuit de commande**.

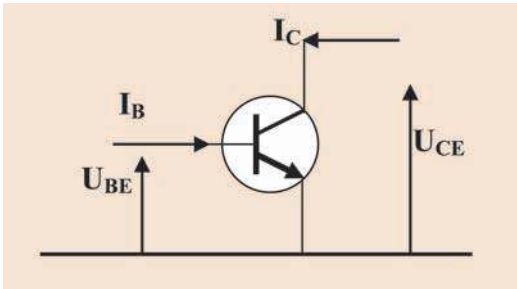
Le circuit fermé sur les pôles **C** et **E** est appelé **circuit principal**.

## 5 Quels montages possibles peut-on réaliser en utilisant un transistor ?

Un transistor peut être monté en **quadripôle**.

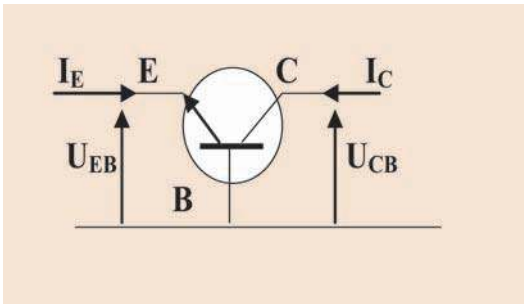
Quand on branche un transistor, on s'arrange pour qu'il y ait une borne commune à l'entrée et à la sortie du montage. Il existe donc trois manières de procéder :

- La borne commune est l'émetteur : c'est le montage **émetteur commun**.  
L'entrée est sur la base et la sortie sur le collecteur.



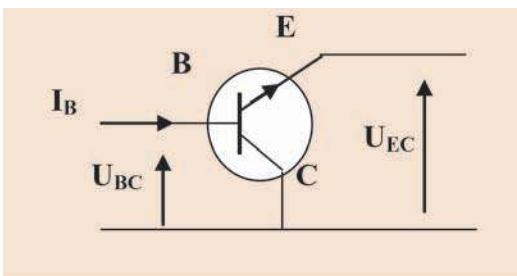
	Entrée	Sortie
<b>Courants</b>	$I_B$	$I_C$
<b>Tensions</b>	$U_{BE}$	$U_{CE}$

- La borne commune est la base : c'est le montage **base commune**.  
L'entrée est sur l'émetteur et la sortie sur le collecteur.



	Entrée	Sortie
<b>Courants</b>	$I_E$	$I_C$
<b>Tensions</b>	$U_{EB}$	$U_{CB}$

- La borne commune est le collecteur : c'est le montage **collecteur commun**.  
L'entrée est sur la base et la sortie sur l'émetteur.



	Entrée	Sortie
<b>Courants</b>	$I_B$	$I_E$
<b>Tensions</b>	$U_{BC}$	$U_{EC}$

On se limitera dans la suite à l'étude du transistor monté en émetteur commun.

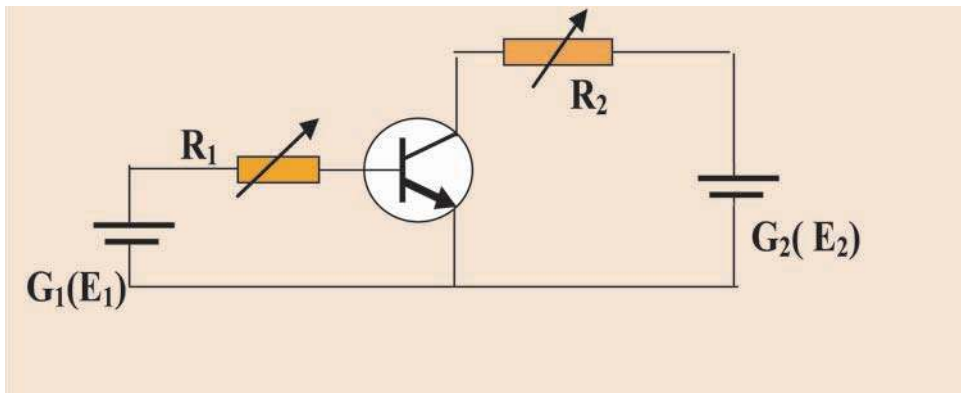
## 6 Comment polariser un transistor en montage fonctionnement normal ?

En fonctionnement normal d'un transistor, la jonction base - émetteur doit être polarisée en direct et la jonction base - collecteur doit être polarisée en inverse.

Cette polarisation du transistor peut être obtenue par :

- **Deux générateurs :**

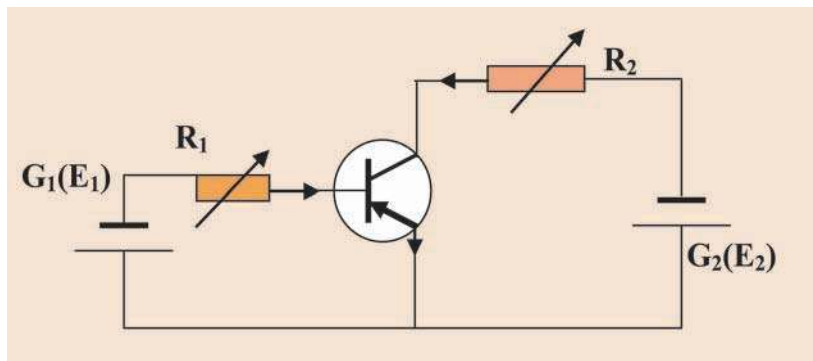
- cas d'un transistor NPN :



$E_1$  ,  $E_2$  ,  $R_1$  et  $R_2$  doivent être convenablement choisies.

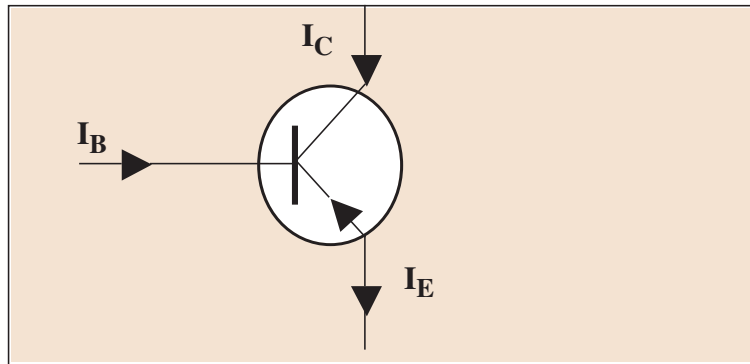
Les pôles négatifs des générateurs d'entrée et de sortie doivent être reliés à l'émetteur.

- Cas d'un transistor PNP :



**Exemple :** On donne:  $U_{BE} = -0,7V$  ,  $E_1 = 1,5V$  ,  $E_2 = 8V$  ,  $R_1 = 200K\Omega$  et  $R_2 = 5 K\Omega$

- 1) Montrer que la jonction base - émetteur est polarisée en direct.
- 2) En orientant les conducteurs comme c'est indiqué sur le schéma ci-dessous et en appliquant la loi des mailles au circuit de commande, montrer que  $I_B = -4 \cdot 10^{-6}A$ .

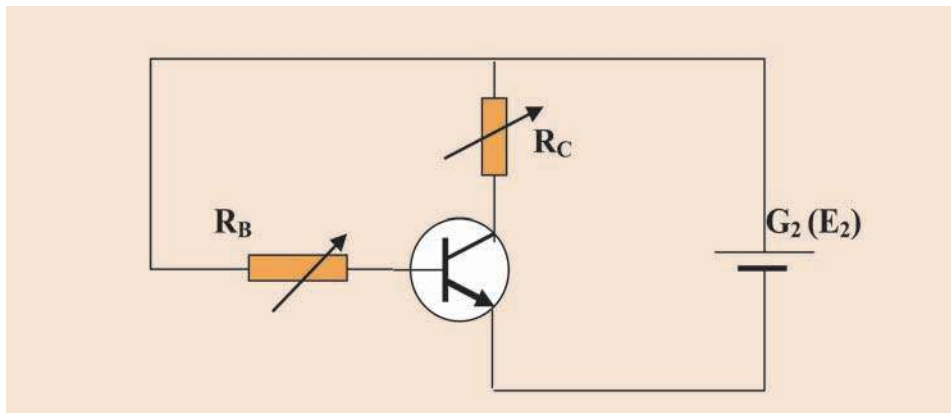


- 3) Sachant que  $I_C = 200 \cdot I_B$ , calculer  $U_{CB}$ .
- 4) Dédire que la jonction base - collecteur est polarisée en inverse.

• **Un seul générateur**

- **Polarisation par résistance de base**

On considère le montage comme l'indique la figure suivante :

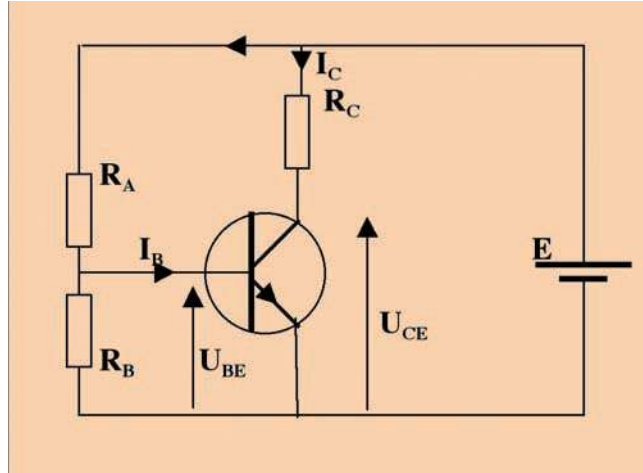


On donne :  $U_{BE} = 0,7V$ ,  $R_B = 2,2 M\Omega$ ,  $R_C = 2,2 K\Omega$ ,  $E_2 = 13,8V$

Montrer que le transistor est en fonctionnement normal.

## - Polarisation par pont de base

Dans le montage de la figure suivante, les résistances  $R_A$ ,  $R_B$  et  $R_C$  doivent être choisies de façon à polariser en direct la jonction base émetteur ( $U_{BE} > 0,6V$ ) et en inverse la jonction base collecteur ( $U_{BC} < 0$ ).



- 1) Exprimer  $I_B$  en fonction de  $E$ ,  $U_{BC}$ ,  $R_A$  et  $R_B$ .
- 2) Exprimer en fonction de  $E$ ,  $U_{BE}$  et  $R_A$ , la valeur minimale de  $R_B$  pour que le transistor conduise.

## 7 Quels sont les modes de fonctionnement d'un transistor ?

Réaliser le montage suivant sur une plaquette adaptée.



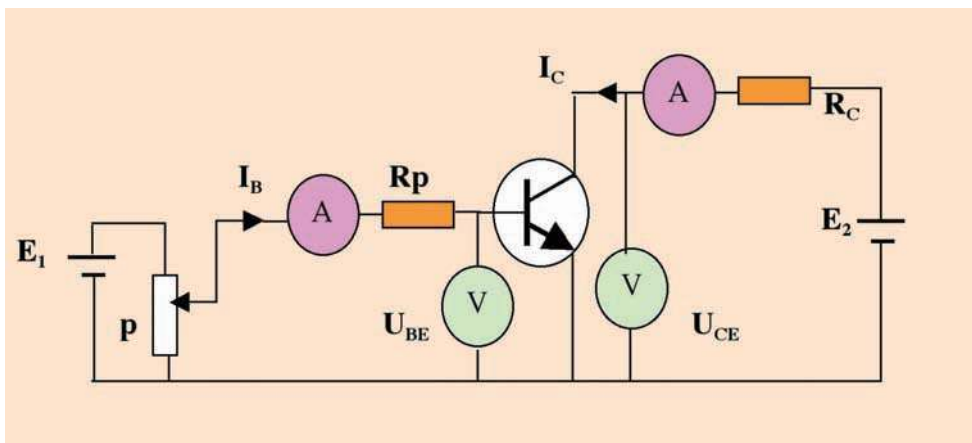
$G_1$  : générateur de f.é.m.  $E_1 = 1,5V$

$G_2$  : générateur de f.é.m.  $E_2 = 4,5V$

P : potentiomètre de  $10\text{ k}\Omega$  sert à faire varier l'intensité du courant  $I_B$

$R_P$  et  $R_C$  sont des résistances de protection

Le transistor utilisé est 2N2219



La tension d'entrée  $U_{BE}$  et la tension de sortie  $U_{CE}$  sont notées souvent  $V_{BE}$  et  $V_{CE}$ .



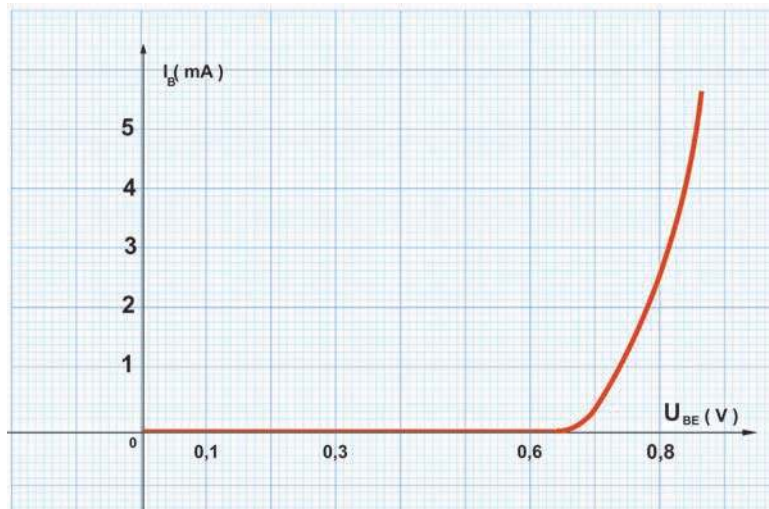
Augmenter doucement  $U_{BE}$  jusqu'à avoir  $I_B = 0,1$  mA et poursuivre les mesures en faisant croître  $I_B$ .

Le résultat obtenu est consigné dans le tableau suivant :

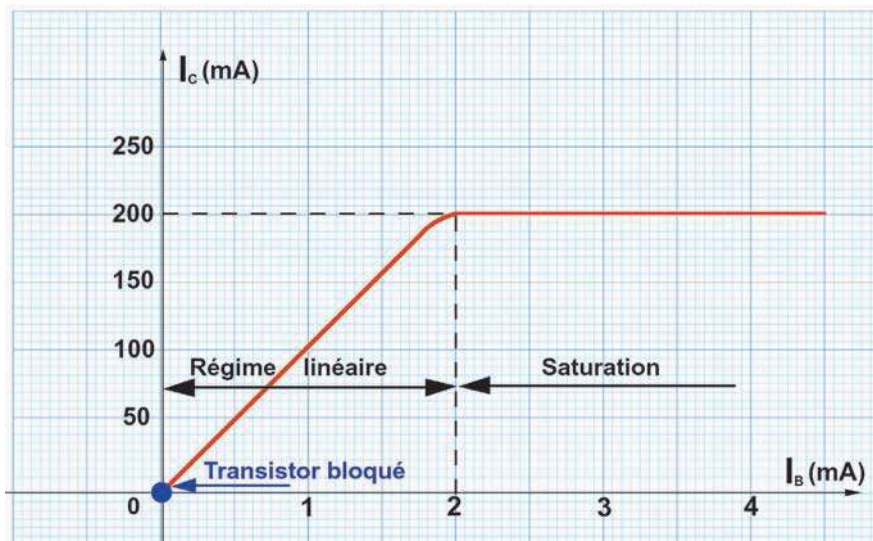
$U_{BE}$ (V)	0	0,2	0,4	0,6	0,65	0,70	0,75	0,77	0,78	0,79	0,80	0,82	0,83	0,84
$I_B$ (mA)	0	0	0	0	0,1	0,2	0,5	1	1,5	1,7	2	2,5	3	4
$I_C$ (mA)	0	0	0	0	10	20	50	100	150	170	200	200	200	200
$U_{CE}$ (V)	4,5	4,5	4,5	4,5	4,0	3,3	2,7	2,0	1,6	1,0	0,1	0,1	0,1	0,1

- tracer sur papier millimétré les courbes  $I_B = g(U_{BE})$  et  $I_C = f(I_B)$ .

Courbe  $I_B = g(U_{BE})$



Courbe  $I_C = f(I_B)$





Interprétation des caractéristiques tracées :

### **$I_B$ en fonction de $U_{BE}$ :**

- La courbe  $I_B = g(U_{BE})$  obtenue est analogue à la caractéristique d'une diode silicium : **le dipôle BE se comporte comme une diode ordinaire** de tension seuil  $U_S$  voisine de 0,6V.
- Si  $U_{BE}$  est inférieure à  $U_S = 0,6$  V (**tension seuil**), on a :  $I_B = I_C = 0$
- Quand  $U_{BE}$  varie légèrement autour de  $U_S$ ,  $I_C$  augmente fortement.

**Remarque :** La tension de sortie  $U_{CE}$  décroît lorsque l'intensité du courant de base  $I_B$  et celle du courant collecteur  $I_C$  augmentent.

### **$I_C$ en fonction de $I_B$ :**

La courbe  $I_C = f(I_B)$  obtenue présente deux zones séparées par une zone de transition.

- 1ère partie :  $I_C$  est fonction linéaire croissante de  $I_B$  ;
- \* 2ème partie :  $I_C = \text{cte}$

D'après le tableau de mesure, on peut distinguer **trois modes de fonctionnement pour un transistor**.

#### ♦ Domaine 1, transistor bloqué :

$U_{BE} < U_S$  ;  $I_B = I_C = 0$  ;  $U_{CE} = 4,5$  V =  $E_2$  (f.e.m du générateur placé dans le circuit du collecteur).

Le transistor est équivalent à un interuteur ouvert

#### ♦ Domaine 2, transistor amplificateur linéaire de courant :

$U_{BE}$  voisine de  $U_S$  ;  $I_C = \beta I_B$  ( $\beta \gg 1$ ) ;  $I_E = I_B + I_C$  voisine de  $I_C$  ;  $U_{CE} < E_2 = 4,5$ V

#### ♦ Domaine 3, transistor saturé

$U_{BE}$  voisine de  $U_S$  ;  $U_{CE}$  voisine de 0 ;  $I_C = \text{constante} = \frac{E_2}{R_C}$  quelque soit  $I_B$

## **8** Quels sont les modes d'utilisation d'un transistor ?

En conclusion deux modes de fonctionnement sont possibles pour un transistor.

### Mode tout ou rien :

domaines 1 et 3, le transistor fonctionne comme un **interrupteur commandé par  $I_B$**  donc par  $U_{BE}$  :  $I_B = 0$ , interrupteur ouvert ;  $I_B > I_{B \text{ sat}}$ , interrupteur fermé.

### Mode amplificateur de courant :

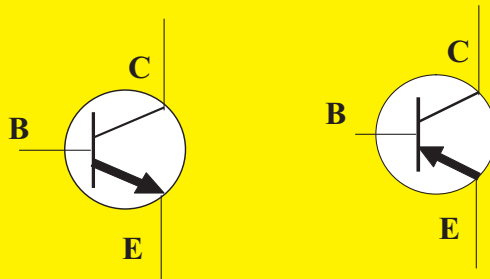
domaine 2,  $I_C$  est proportionnel à  $I_B$  avec un coefficient élevé.

## L' ESSENTIEL

Un transistor bipolaire est un composant électronique qui a trois pôles :

L'émetteur (**E**), la base (**B**) et le collecteur (**C**).

On distingue deux types de transistors bipolaires : le transistor **NPN** et le transistor **PNP** dont les symboles sont respectivement :



Il existe trois types de montages fondamentaux selon les connexions sur lesquelles est appliqué le signal d'entrée et prélevé le signal de sortie :

- montage base commune (**BC**)
- montage émetteur commun (**EC**)
- montage collecteur commun (**CC**).

En fonctionnement normal du transistor et en montage émetteur commun, la jonction **BE** est polarisée en direct et la jonction **BC** est polarisée en inverse.

Pour un transistor **NPN** en émetteur commun :

La jonction **BE** est polarisée en direct et la jonction **BC** est polarisée en inverse, si  $U_{BE} > 0$  et  $U_{BC} < 0$ .

Dans un montage à émetteur commun, la tension  $U_{BE}$  commande le passage du courant  $I_C$  dans le circuit principal.

Le courant de base  $I_B$  débloque la jonction base collecteur. Elle devient conductrice malgré sa polarisation en inverse : c'est l'**effet transistor**.

Les modes de fonctionnement d'un transistor : transistor bloqué -transistor passant-transistor saturé.

Les courants du transistor sont régis par la relation :  $I_E = I_B + I_C$



<http://www.eudil.fr/~bboittia/Enhtm/page11.htm>

<http://courelectr.free.fr/TRANS/COURS.HTM>

<http://www.eudil.fr/~bboittia/Enhtm/page12.htm>

<http://www.ac-bordeaux.fr/Pedagogie/Physique/STAGES/IEE3.htm>

# EXERCICES EXERCICES

## Est-ce que je connais ?

- 1 Recopier et compléter les phrases suivantes :
- Un transistor est un composant électronique d'où sortent en général trois fils conducteurs reliés aux trois parties du transistor appelées ....., ..... et .....
  - Un transistor peut être assimilé à une association de deux ..... **BE** et **BC** en..... La partie commune à ces deux diodes, très mince, est la.....
  - Dans la représentation symbolique d'un transistor, la flèche marquée entre la .....et l'.....indique en fonctionnement normal, le sens du .....d'émetteur. Il correspond au sens passant de la ..... base - émetteur.
  - Il suffit d'un faible courant de ..... pour provoquer « l'effet transistor » et obtenir un courant de .....**I<sub>C</sub>** important.

- 2 Choisir la bonne réponse et la recopier.  
Lorsque la tension  $U_{BE}$  entre la base et l'émetteur d'un transistor **NPN** est inférieure à 0,6V, le transistor est bloqué ou passant.

- 3 Dessiner le symbole d'un transistor **PNP**. Préciser le rôle de la flèche sur le dessin.

- 4 Quand dit - on qu'un transistor est en fonctionnement normal ?

- 5 Pour un transistor **NPN**, que signifie :
- La jonction BE est polarisée en direct ?
  - la jonction BC est polarisée en inverse ?

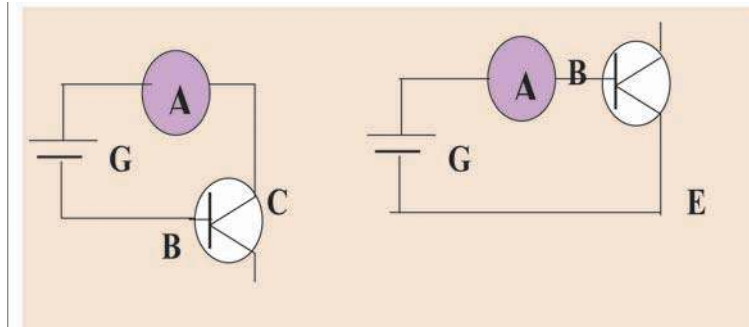
- 6 Pourquoi un transistor est assimilé à un quadripôle ?

- 7 Combien de montage peut - on réaliser en utilisant en commun l'une des bornes d'un transistor ? Quel est le montage le plus utilisé et pourquoi ?

- 8 Le transistor 2N 2222 est de type **NPN**. Indiquer sur son symbole le sens que doit avoir le courant dans l'émetteur.

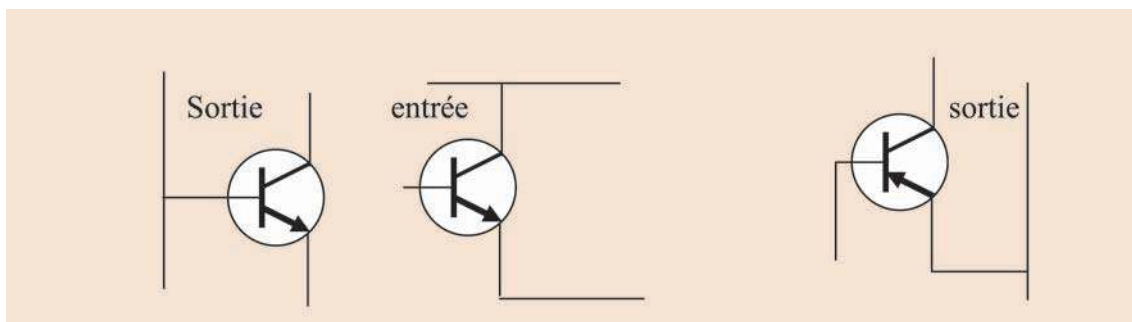
## Est-ce que je sais appliquer ?

- 1 On réalise avec un transistor T, un générateur G et un milliampmètre les deux circuits suivants :

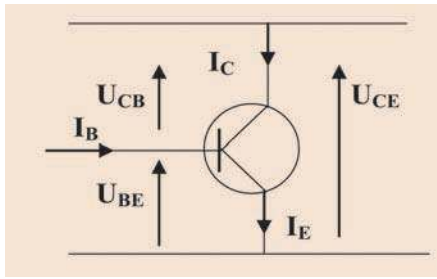


Indiquer pour chacun de ces circuits s'il y a ou non passage du courant dans les deux cas suivants :

- a- T est du type **NPN**.
  - b- T est du type **PNP**
- 2 Pour les trois montages suivants, indiquer pour le quadripôle transistor :
- le type de montage;
  - les grandeurs d'entrée;
  - les grandeurs de sortie.



- 3 Avec les orientations indiquées sur la figure ci-dessous que peut - on dire des signes des courants et des tensions indiquées:
- a) Pour un transistor NPN en fonctionnement normal.
  - b) Pour un transistor PNP en fonctionnement normal.

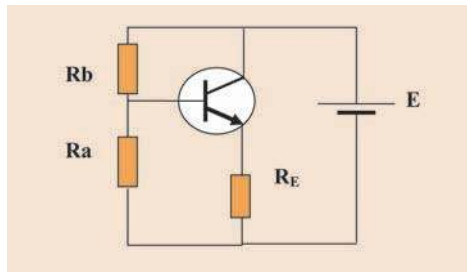


- 4** Un transistor **PNP** est en fonctionnement normal.
- a- Sur un dessin, marquer le sens des courants tels qu'ils circulent. Préciser le signe de  $U_{CE}$  et  $U_{BE}$ .
  - b- Dessiner un montage permettant de polariser le transistor en fonctionnement normal.

### Est-ce que je sais raisonner ?

**1** Dans le montage ci-dessous le transistor fonctionne dans les conditions suivantes :  
 $U_{CE} = 6V$  ;  $I_B = 0,02 \text{ mA}$  ;  $I_C = 3\text{mA}$  ;  $U_{BE} = 0,6V$  ;  $E = 9V$  .

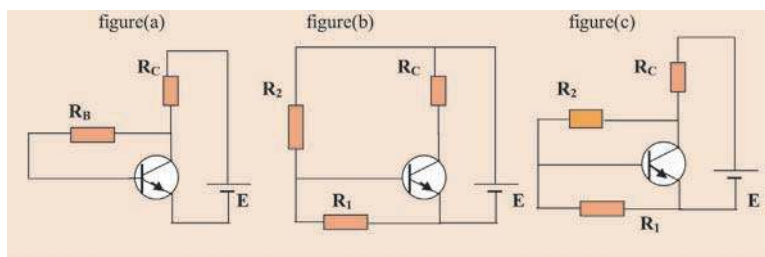
- a- Déterminer la valeur de  $R_E$  .
- b- Sachant que  $R_b = 90K\Omega$ , déterminer la valeur de  $R_a$  .
- c- Pour quelle valeur limite de  $R_a$  aura - t- on blocage du transistor ?



**2** Divers modes d'alimentation d'un seul transistor par une seule source.  
 On désire qu'un transistor NPN au silicium, alimenté par un générateur de f.é.m.  $E=6V$  et de résistance interne négligeable, fonctionne dans les conditions suivantes :

$$I_C = 200\text{mA} \quad , \quad I_B = 2,5\text{mA} \quad , \quad U_{CE} = 4V \quad , \quad U_{BE} = 0,6V$$

- a- On réalise le montage de la figure (a) .
  - Déterminer les valeurs de  $R_C$  et  $R_B$  pour que le transistor fonctionne comme prévu
  - Quelle est l'intensité débitée par le générateur ?
- b- On réalise maintenant les montages indiqués sur les figures (b) et (c). Déterminer les valeurs de  $R_C$  ,  $R_1$  et  $R_2$  pour que le transistor fonctionne comme prévu, le générateur débitant 220mA.



# LECTURE

## LES PUCES DE DEMAIN

L'industrie électrique évolue à l'inverse de ses composants : plus celle-ci augmente, plus ceux-ci se miniaturisent.

Les premiers transistors sont apparus en 1959. Sur une puce de cette époque, il n'y avait qu'un transistor. aujourd'hui les circuits intégrés en comportent plusieurs millions. Sur les puces de l'an 2000, il y aura un milliard de composants.

Depuis 1959, le matériau de choix pour fabriquer des circuits intégrés est le silicium qui possède des propriétés semi-conductrices. Il est en outre abondant dans la nature et on peut en faire des cristaux presque parfaits et peu coûteux.

Aucun autre matériau ne possède autant de qualités et c'est pourquoi il est l'élément essentiel des circuits intégrés. Mais depuis quelques années, un autre matériau est apparu : l'arséniure de gallium dans lequel les électrons circulent six fois plus vite que dans le silicium.

Un progrès considérable a été accompli avec la découverte des transistors à effet de champ métal-oxyde-semiconducteur : les MOSTEC. Ils devraient permettre d'atteindre des dimensions de l'ordre de 0,1 à 0,2  $\mu\text{m}$ . La miniaturisation des composants a imposé celle de leurs connexions.

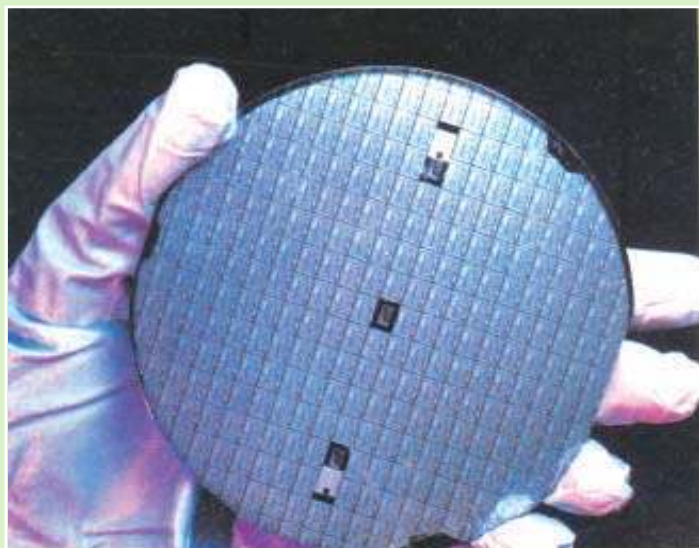
La diminution des dimensions des transistors a été accompagnée par une augmentation de la taille des puces : 1,4 mm de côté en 1960, 8 mm en 1980 et peut-être entre 20 et 40 mm en l'an 2000. Ceci explique pourquoi il est possible de mettre plus de composants sur les puces : elles sont plus grandes et ils sont plus petits.

D'autres transistors sont à l'étude tels que les transistors quantiques à l'arséniure de gallium cent fois plus petits que les transistors au silicium.

L'an 2000 verra l'utilisation du GSI (Giga Scale Integration) c'est-à-dire de l'intégration à un milliard de composants.



-Fig. A- La fabrication de circuits intégrés



-Fig. B- Une plaque de circuits intégrés comporte de nombreuses puces qui sont ensuite déclinées

# Caractéristiques électriques d'un transistor NPN monté en émetteur commun

## Je dois être capable :

- ❖ de tracer la caractéristique d'entrée  $I_B = f(U_{BE})$  d'un transistor NPN monté en émetteur commun à  $U_{CE}$  constante;
- ❖ de tracer la caractéristique de sortie  $I_C = f(U_{CE})$  d'un transistor NPN monté en émetteur commun à  $I_B$  constante;
- ❖ de tracer la caractéristique de transfert en courant  $I_C = f(I_B)$  d'un transistor NPN monté en émetteur commun à  $U_{CE}$  constante;
- ❖ de calculer le coefficient d'amplification d'un transistor ;
- ❖ de déterminer le point de fonctionnement d'un transistor à l'aide de son réseau de caractéristiques.

## Je dois d'abord tester mes acquis :

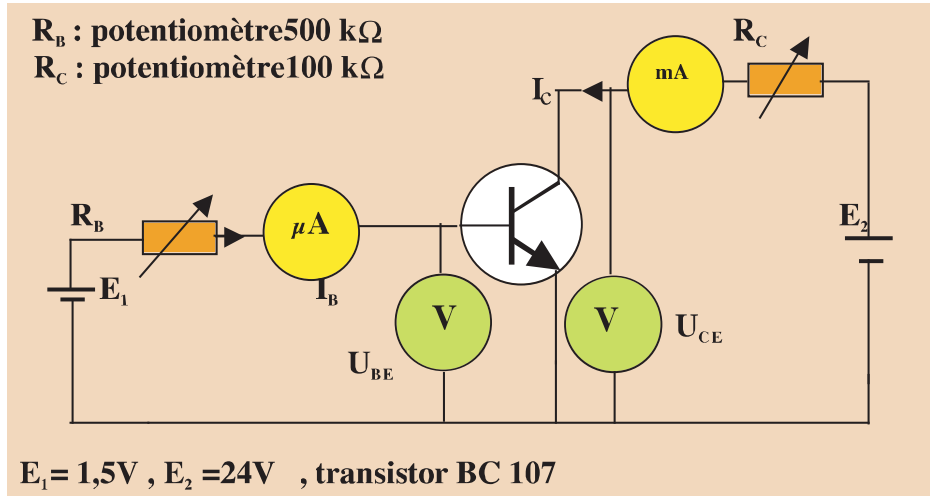
- 1- Expliquer les mots soulignés suivants : Transistor bloqué et transistor débloqué.
- 2- L'apparition d'un courant de base  $I_B$  dans le circuit de commande d'un transistor produit-t-elle toujours un courant de collecteur  $I_C$  dans le circuit principal.
- 3- Que signifie « effet transistor » ?
- 4- Comment doivent être polarisées les jonctions **BE** et **BC** pour un fonctionnement normal d'un transistor en émetteur commun ?
- 5- Qu'entend-on par une tension amplifiée ou un courant amplifié ?
- 6- Donner l'allure de la caractéristique intensité - tension de chacun des dipôles suivants : résistor, diode, lampe, pile.  
La caractéristique est - elle toujours linéaire ?
- 7- Comment s'assurer du fonctionnement normal d'un appareil électrique ?
- 8- Comment peut - t - on savoir qu'un dipôle récepteur s'adapte à un dipôle générateur ?
- 9- Que signifie le point de fonctionnement d'un circuit électrique ? Comment peut - on déterminer graphiquement ce point ?

## Je construis mes savoirs :

**1** Quelle est l'allure de la caractéristique d'entrée d'un transistor NPN monté en émetteur commun ?



• Réaliser le montage suivant :

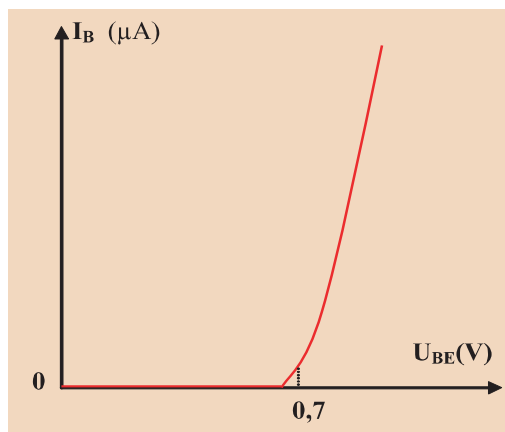


• Pour une valeur  $U_{CE}$  donnée, faire varier la tension d'entrée  $U_{BE}$  par action sur le potentiomètre  $R_B$  et mesurer l'intensité du courant de base correspondante  $I_B$ .

• Compléter le tableau suivant :

$U_{BE}$ (V)									
$I_B$ ( $\mu\text{A}$ )									

• Tracer la courbe représentant la relation  $I_B = f(U_{BE})$



La courbe de  $I_B = f(U_{BE})$ , pour  $U_{CE}$  constante, est appelée **caractéristique statique d'entrée du transistor**.



Reprendre les mêmes mesures pour une autre valeur de  $U_{CE}$ . Conclure.



La caractéristique statique d'entrée du transistor reste sensiblement la même quelque soit  $U_{CE}$ .



La caractéristique d'entrée d'un transistor NPN monté en émetteur commun a l'allure de celle d'une diode à jonction PN de tension seuil  $U_S$  voisine de 0,6V.

## 2

**Quelle est l'allure de la caractéristique de sortie d'un transistor NPN monté en émetteur commun ?**



Reprendre le montage précédent, faire varier  $R_C$  et suivre les variations de l'intensité du courant  $I_C$  et celles de la tension  $U_{CE}$  pour une valeur de  $I_B$  fixée.



Pour une intensité  $I_B$  donnée, lorsque  $U_{CE}$  varie,  $I_C$  varie aussi.



Pour un courant de base constant,  $I_C$  et  $U_{CE}$  sont deux grandeurs liées.

La courbe de  $I_C = f(U_{CE})$ , pour  $I_B$  constante, est appelée **caractéristique statique de sortie du transistor**.

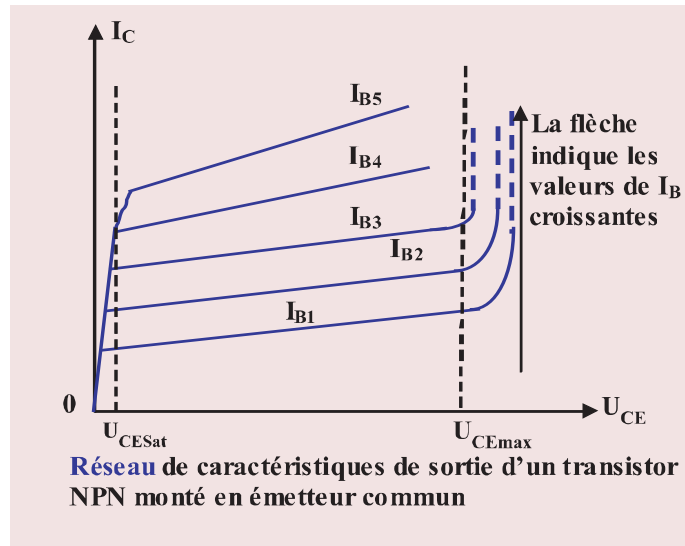


- Pour quelques valeurs de  $I_B$ , faire varier  $U_{CE}$  par action sur le potentiomètre  $R_C$  et mesurer l'intensité du courant  $I_C$  pour chacune des valeurs de  $I_B$  choisies.

- Compléter le tableau suivant :

$I_{B1} =$		$I_{B2} =$		$I_{B3} =$		$I_{B4} =$		$I_{B5} =$	
$I_C$	$U_{CE}$	$I_C$	$U_{CE}$	$I_C$	$U_{CE}$	$I_C$	$U_{CE}$	$I_C$	$U_{CE}$

- Tracer la caractéristique de sortie du transistor pour chaque intensité du courant de base  $I_B$ .



Chaque caractéristique de sortie du transistor se compose de trois parties bien distinctes :

$U_{CE\ max}$  (fournie par le constructeur).

$U_{CE}$  saturation est de 0,2V à 0,3V pour un transistor au silicium.

Région I	Région II	Région III
$U_{CE} < U_{CE\ sat}$	$U_{CE\ sat} < U_{CE} < U_{CE\ max}$	$U_{CE} > U_{CE\ max}$
La caractéristique statique est sensiblement verticale : $I_C$ dépend de $U_{CE}$ . <b>Le transistor est saturé</b>	La caractéristique à $I_B$ constante est presque horizontale : $I_C$ dépend peu de $U_{CE}$ . <b>Le transistor est en fonctionnement normal</b>	$I_C$ croît brusquement : Le transistor risque de se détériorer

### 3/ Quelle allure a la caractéristique de transfert en courant d'un transistor monté en émetteur commun ?



Reprendre le montage précédent et faire varier la résistance  $R_B$  du potentiomètre tout en gardant constante  $U_{CE}$ .



- Le courant  $I_C$  varie dès que  $I_B$  varie.
- Les courants  $I_B$  et  $I_C$  sont liés.



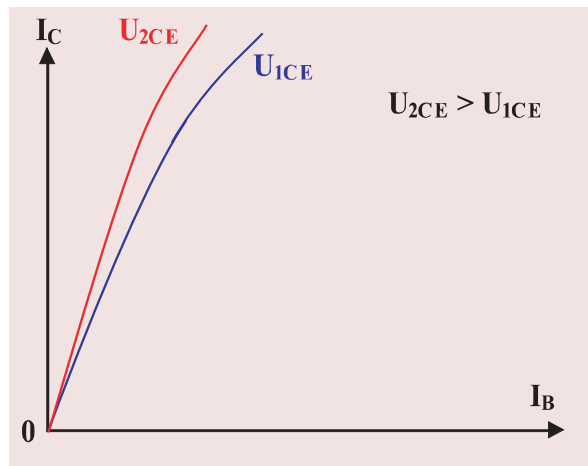
La courbe représentant la variation de  $I_C = f(I_B)$  pour  $U_{CE}$  constante, est appelée **caractéristique de transfert en courant du transistor**.



• Reprendre le réseau de caractéristiques de sortie précédemment tracé relatif aux intensités ( $I_{B1}$ ,  $I_{B2}$ ,  $I_{B3}$ ,  $I_{B4}$ ,  $I_{B5}$ ), et pour quelques valeurs données  $U_{1CE}$  et  $U_{2CE}$  de  $U_{CE}$ , compléter le tableau suivant :

$U_{1CE} =$					
$I_B(\mu A)$					
$I_C(mA)$					
$U_{2CE} =$					
$I_B(\mu A)$					
$I_C(mA)$					

- Tracer la caractéristique de transfert  $I_C = f(I_B)$  du transistor.



Pour de petites valeurs de  $I_B$ ,  $I_C$  est une fonction linéaire de  $I_B$ .



- $I_C$  est proportionnelle à  $I_B$ .
- $I_C = \beta I_B$  ( $\beta \gg 1$ ) ;  $I_E = I_B + I_C \approx I_C$

Pour le transistor utilisé, déterminer graphiquement la valeur de  $\beta$ .

Le coefficient de proportionnalité  $\beta$  est positif et élevé pour un montage émetteur commun. On l'appelle **coefficient d'amplification en courant du transistor**.

Le transistor monté en émetteur commun peut donc être considéré comme un quadripôle dont l'une des fonctions est l'amplification en courant.

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

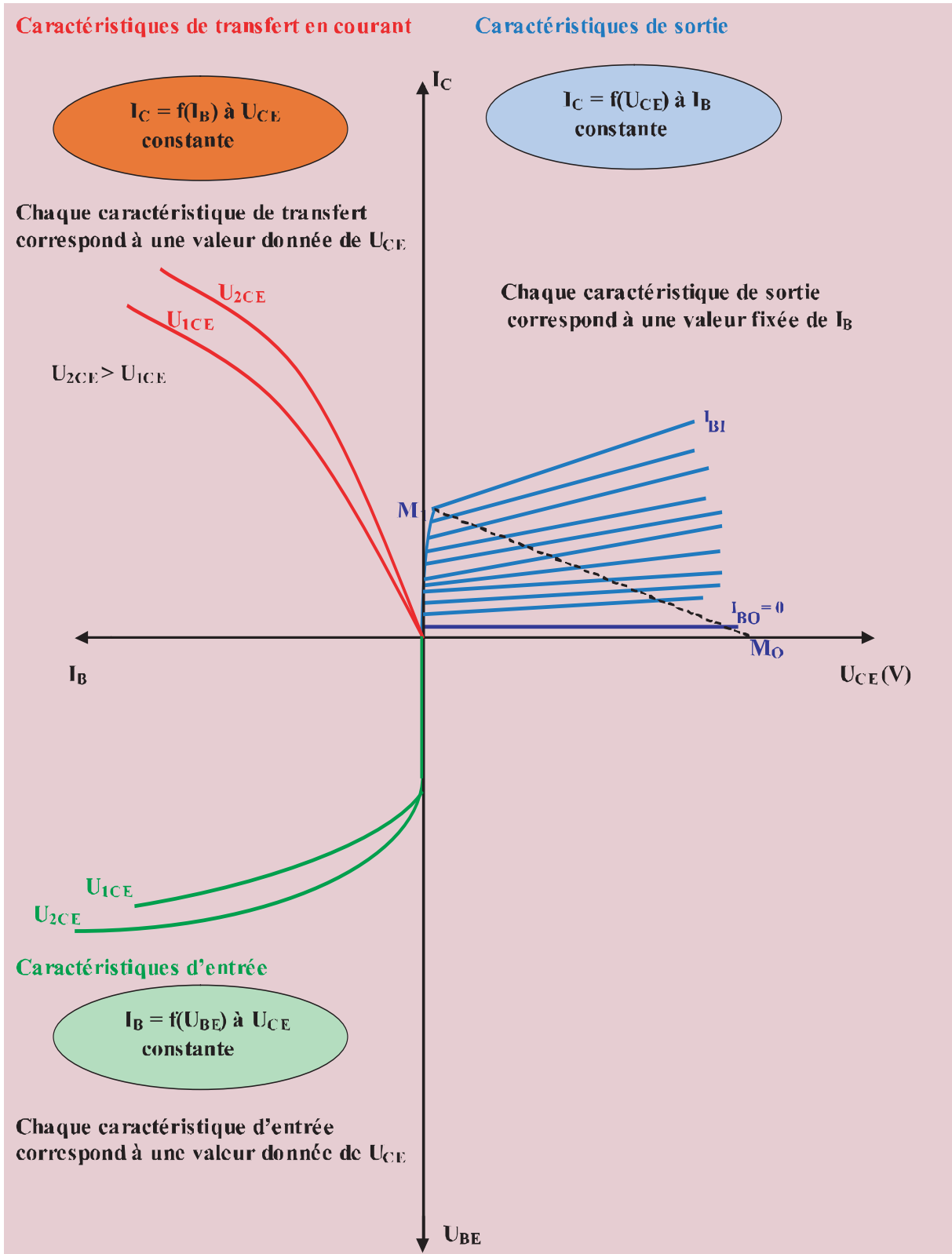
#### Remarques :

- Parfois on utilise maladroitement l'appellation gain en courant d'un transistor pour désigner son coefficient d'amplification  $\beta$ .
- Le coefficient  $\beta$  varie faiblement avec la tension  $U_{CE}$ .

**Quelques coefficients d'amplification en courant ( $\beta$ ) de certains transistors bipolaires à jonctions :**

Transistor	$\beta$
2N1711	150
BC 107	110
BC109	200
BD139	50

#### 4 Réseau de caractéristiques électriques d'un transistor NPN monté en émetteur commun



**Commentaires :** Pour un transistor NPN monté en émetteur commun

- La fonction  $I_B = f(U_{BE})$  est celle d'une jonction PN entre la base et l'émetteur.
- La fonction  $I_C = f(U_{CE})$  est commandée par la valeur du courant de base. Celle-ci comporte trois domaines :
  - une partie coudée où le transistor est en régime saturé,
  - une partie où  $I_C$  est peu variable pour une valeur de  $I_B$  fixée : Le transistor est en régime linéaire,
  - une partie où  $I_C$  croît brusquement.
- La tension de saturation dépend des caractéristiques physiques du transistor. Elle est de quelques dixièmes de volt.
- Au point  $M_0$  le transistor est bloqué. Entre son collecteur et son émetteur le transistor est équivalent à un interrupteur ouvert.
- Au point  $M_1$  le transistor est saturé. Entre son collecteur et son émetteur, le transistor est équivalent à un interrupteur fermé.
- La fonction  $I_C = f(I_B)$  caractérise " l'effet transistor " en régime linéaire. C'est une droite de pente  $\beta$ .
- En régime linéaire  $I_C \approx \beta \cdot I_B$  et en régime saturé  $I_C < \beta \cdot I_B$
- En faisant varier, à l'entrée du transistor,  $I_B$  tout en conservant le transistor en régime linéaire, on obtient à la sortie un courant  $I_C$   $\beta$  fois  $I_B$  ( $\beta \gg 1$ ) : On peut utiliser le transistor comme amplificateur de courant.

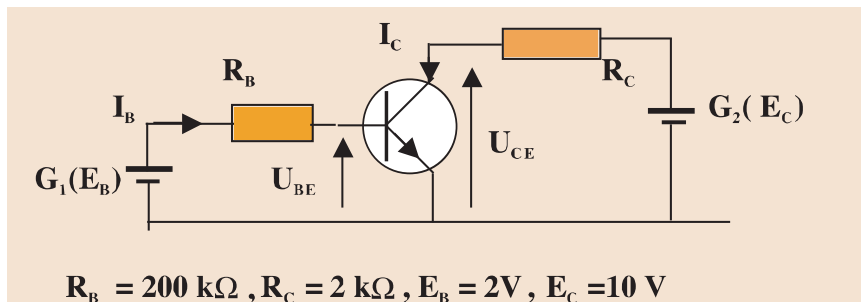
### 5 A quoi servent les courbes caractéristiques d'un transistor : Point de fonctionnement d'un transistor

Les caractéristiques des transistors sont utilisées pour déterminer les conditions de fonctionnement des transistors. Elles permettent de déterminer les valeurs des grandeurs électriques intervenant dans ce fonctionnement.

La caractéristique la plus utilisée est celle qui est relative au circuit de sortie.

### Comment déterminer les grandeurs électriques d'entrée ?

Soit un transistor polarisé en émetteur commun comme l'indique le montage de la figure :



En appliquant la loi des mailles (maille d'entrée), montrer que  $I_B = -\frac{U_{BE}}{R_B} + \frac{E_B}{R_B}$



La caractéristique du dipôle d'entrée  $I_B = f(U_{BE})$  est une droite dite **droite d'attaque statique**. C'est la caractéristique du circuit externe de base.

Soit la caractéristique d'entrée du transistor :



• Représenter la droite d'attaque dans le même repère ( $U_{BE}$ ,  $I_B$ ). Deux points suffisent pour représenter cette droite :

$$U_{BE} = 2V \quad I_B = 0$$

$$U_{BE} = 0 \quad I_B = \frac{E_B}{R_B}$$

• Déterminer graphiquement les valeurs des coordonnées du point  $P_0$ , intersection de la droite d'attaque statique avec la caractéristique d'entrée du transistor :

$$I_B = \quad , \quad U_{BE} = \quad .$$

$I_B$  et  $U_{BE}$  sont appelées les grandeurs électriques d'entrée.

Le point d'intersection entre la droite d'attaque et la caractéristique d'entrée ( $U_{BE}$ ,  $I_B$ ) fixe le point de fonctionnement en entrée ( $U_{BE}$ ,  $I_B$ ).

### Comment déterminer les grandeurs électriques de sortie?



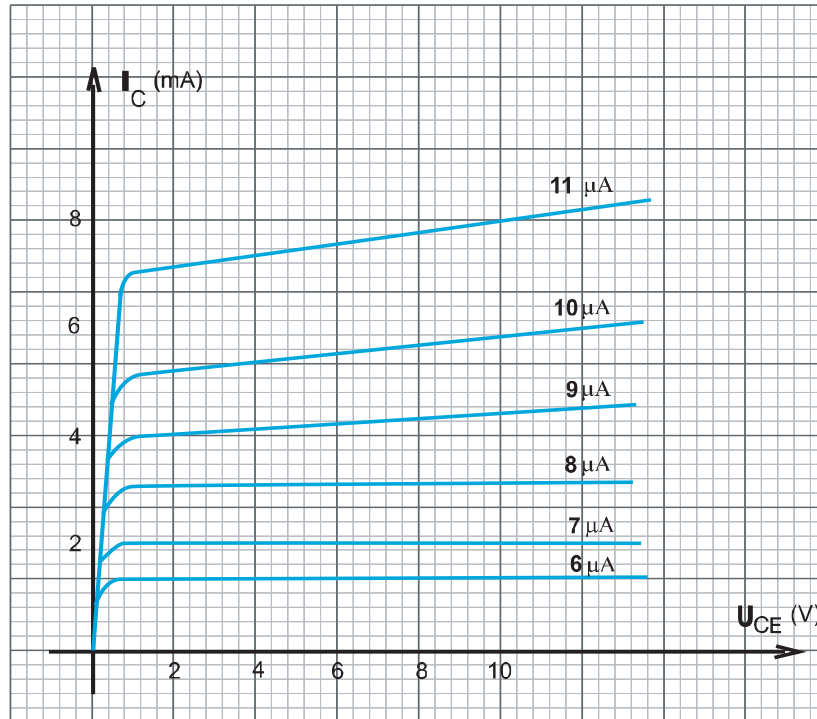
En appliquant la loi des mailles (maille de sortie), montrer que  $I_C = -\frac{U_{CE}}{R_C} + \frac{E_C}{R_C}$



La caractéristique du dipôle de sortie (de charge)  $I_C = f(U_{CE})$  est une droite dite **droite de charge statique du transistor**.

La droite de charge est la caractéristique du circuit extérieur du collecteur.

Soit la caractéristique de sortie du transistor :



- Représenter la droite de charge dans le même repère ( $U_{CE}$ ,  $I_C$ ). Deux points suffisent pour représenter cette droite :

$$\begin{aligned} U_{CE} &= 10V & I_C &= 0 \\ U_{CE} &= 0 & I_C &= \frac{E_C}{R_C} \end{aligned}$$

- Déterminer graphiquement les valeurs des coordonnées du point P, intersection de la droite de charge avec la caractéristique de sortie du transistor pour  $I_B$  déterminée précédemment:  $I_C =$  ,  $U_{CE} =$

- Pour  $I_B$  :

- réaliser le montage correspondant à la détermination des grandeurs d'entrée,
- déterminer par mesure directe, les valeurs de  $U_{CE}$  et  $I_C$ ,
- comparer les deux résultats (graphique et par mesure directe).

$I_C$  et  $U_{CE}$  sont appelées grandeurs électriques de sortie.

**Le point d'intersection entre la droite de charge et la caractéristique de sortie associée au courant  $I_B$ , impose le point de fonctionnement en sortie ( $U_{CE}$ ,  $I_C$ ).**



Le point P est **le point de fonctionnement** du transistor correspondant à  $I_B$ .

**Un point de fonctionnement d'un transistor est situé à l'intersection de la droite de charge avec la caractéristique de sortie du transistor correspondant à  $I_{B0}$ .**

**Un point de fonctionnement d'un transistor est caractérisé par les grandeurs électriques  $U_{BE0}$ ,  $I_{B0}$  en entrée et  $I_{C0}$ ,  $U_{CE0}$  en sortie.**

### Remarques :

-La droite de charge représente l'ensemble des points de fonctionnement pour le transistor. C'est-à-dire pour chaque point de la droite, on peut déterminer les trois grandeurs électriques  $I_C$ ,  $U_{CE}$  et  $I_B$  correspondantes.

-Lorsque les quatre paramètres extérieurs  $E_B$ ,  $E_C$ ,  $R_B$  et  $R_C$  sont choisis, le transistor se trouve ( pour une température donnée) dans un état invariable défini par les valeurs que prennent les quatre paramètres propres au transistor. Ces paramètres sont  $I_B$ ,  $I_C$ ,  $U_{BE}$  et  $U_{CE}$ .

Les valeurs que prennent ces quatre paramètres sont dites : valeurs **de repos**. Elles sont notées :  $I_{B0}$ ,  $I_{C0}$ ,  $U_{BE0}$  et  $U_{CE0}$ .

- Un transistor a un fonctionnement linéaire si  $\frac{I_C}{I_B} = \beta$ , et si **le point de repos** ( $I_{C0}$ ,  $U_{CE0}$ ) est sur la partie linéaire de la caractéristique de la sortie.

### 6 / Un transistor fonctionne – t – il toujours dans les conditions normales ?

Comme tout composant, le transistor ne peut fonctionner dans les conditions normales d'utilisation qu'entre certaines valeurs limites des grandeurs électriques qui lui sont liées. Ces valeurs limites sont liées au type du transistor, à ses dimensions, à sa constitution... Par exemple, un transistor de petites dimensions dissipera moins de puissance qu'un autre de dimensions plus importantes.

Pour chaque type de transistor, le constructeur fournit des valeurs limites qui ne doivent pas être dépassées dans les conditions normales d'utilisation. Dans le cas contraire, le transistor peut être irrémédiablement endommagé, ou tout du moins occasionner un fonctionnement anormal.

Les valeurs limites généralement fournies par les constructeurs sont les suivantes :

- Le courant maximal de collecteur  $I_C$  **max**.
- La tension maximale de collecteur  $U_{CE}$  **max**.
- La puissance maximale de collecteur  $P_C$  **max**.
- La température maximale de la jonction  $T_j$  **max**.

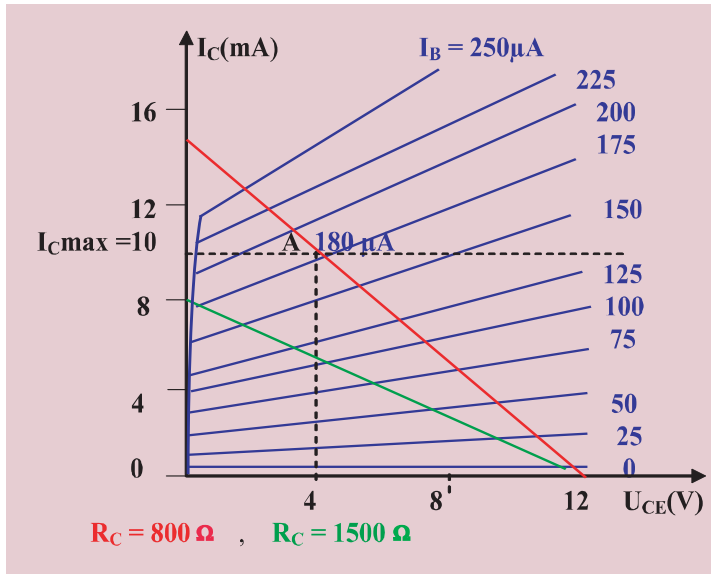
D'autres valeurs limites relatives à la base et à l'émetteur peuvent être fournies.

## Conséquences :

### a. Ne pas dépasser la valeur maximale du courant de collecteur

Pour un transistor monté en émetteur commun avec une résistance de charge  $R_C$ , le réseau de caractéristiques de sortie est comme l'indique la figure ci-après.

Dans cette figure, on a représenté les deux droites de charges correspondantes à deux résistances de charge différentes.



La valeur maximale du courant de collecteur est déterminée de façon que le transistor fonctionne correctement et de façon que la jonction ne puisse pas être endommagée.

Dans la figure ci-dessus, cette valeur limite  $I_C \text{ max}$ . (fournie par le constructeur) est représentée par une ligne horizontale en pointillée. Dans le cas présent,  $I_C \text{ max} = 10 \text{ mA}$ .

Le point de fonctionnement du transistor doit être situé en dessous de cette ligne pointillée.

Selon la valeur de la résistance  $R_C$ , deux situations peuvent être envisagées :

- 1ère situation : la droite de charge est entièrement située en dessous de la ligne pointillée. C'est le cas, par exemple si  $R_C = 1,5 \text{ k}\Omega$  : figure précédente.

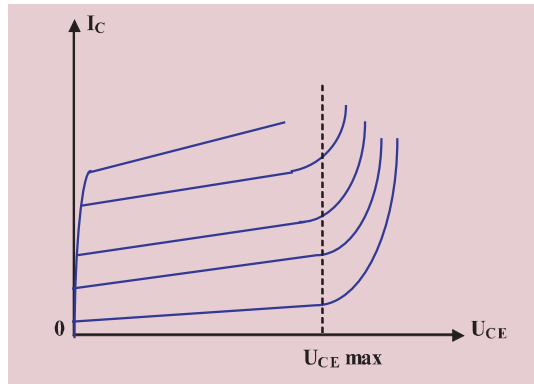
Tous les points de fonctionnement sont ainsi situés en dessous de cette ligne pointillée.

- 2ème situation : (cas où  $R_C = 800 \text{ ohms}$ ), la droite de charge coupe la ligne pointillée, par exemple au point A. Dans ce cas, il est nécessaire de limiter le courant  $I_B$  à  $180 \mu\text{A}$ . En effet, la caractéristique relative à  $I_B = 180 \mu\text{A}$  passe précisément par ce point A et tout point de fonctionnement du transistor ne peut être choisi au-dessus du point A. On peut dire que A est un point limite pour le fonctionnement normal du transistor.

### b) Ne pas dépasser la valeur maximale de la tension de collecteur

Lors de l'étude de la diode à jonction, on a vu qu'il existe une tension inverse dite «tension de claquage» au-delà de laquelle la diode était endommagée. Or, dans le transistor, la jonction collecteur base est équivalente à une diode polarisée en inverse.

Il existe donc une tension maximale  $U_{CE \text{ max}}$  entre le collecteur et la base du transistor à ne pas dépasser. Sur la figure ci-dessous, la tension  $U_{CE \text{ max}}$  est indiquée par la ligne en pointillée.



Le point de fonctionnement du transistor doit être situé à gauche de cette ligne pointillée. Si  $U_{CE}$  dépasse notablement la valeur  $U_{CE \text{ max}}$ ,  $I_C$  devient très important et le transistor risque d'être détruit.

### c) Ne pas dépasser la valeur maximale de la puissance de dissipation du collecteur

La puissance absorbée par le transistor correspond à une consommation d'énergie électrique. Cette énergie électrique est transformée dans le transistor en énergie thermique par effet Joule, par conséquent, il y a échauffement du transistor ; en particulier la température de la jonction augmente. Or, comme la température de jonction ne peut dépasser une certaine valeur, il est nécessaire de limiter la puissance dissipée par effet Joule dans le transistor.

La température maximale admissible au niveau de la jonction se situe entre  $150^\circ \text{C}$  et  $200^\circ \text{C}$  pour un transistor au silicium.

La puissance maximale admissible  $P_C \text{ max}$  dépend non seulement du type de transistor mais aussi de la température ambiante  $T_a$ .

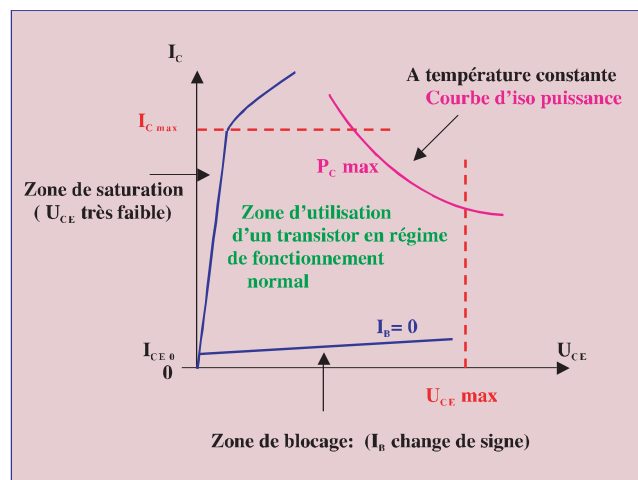
Le constructeur indique donc une valeur de  $P_C \text{ max}$  pour une température  $T_a$  fixée.

$$P_C \text{ max} = U_{CE} \cdot I_C$$

La courbe représentative de  $I_C = \frac{P_C \text{ max}}{U_{CE}}$  est appelée courbe d'iso puissance.

La connaissance de  $P_C \text{ max}$  limite la zone d'utilisation du réseau de caractéristiques.

### Récapitulation : Zone de fonctionnement d'un transistor



## ***L'ESSENTIEL***

Pour une tension de sortie  $U_{CE}$  fixée, la caractéristique statique d'entrée d'un transistor monté en émetteur commun est semblable à celle d'une diode à jonction PN de tension seuil  $U_S$  voisine de 0,6V.

La caractéristique statique de sortie d'un transistor monté en émetteur commun présente trois parties distinctes :

$U_{CE} < U_{CE\text{ sat}}$  : Le transistor est saturé.

$U_{CE\text{ sat}} < U_{CE} < U_{CE\text{ maximale}}$  : Le transistor est en fonctionnement normal.

$U_{CE} > U_{CE\text{ maximale}}$  :  $I_C$  croît brusquement.

Pour de petites valeurs de  $I_B$ , la caractéristique de transfert en courant d'un transistor monté en émetteur commun est linéaire.

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

Le coefficient de proportionnalité  $\beta$  entre  $I_B$  et  $I_C$  est appelé coefficient d'amplification en courant du transistor.

Pour un montage émetteur commun,  $\beta$  est positif et élevé.

Un transistor est un amplificateur de courant : c'est un générateur de (fort) courant (en sortie) piloté par un (faible) courant (en entrée).

Un état de fonctionnement d'un transistor est caractérisé par deux grandeurs électriques en entrée ( $I_B$ ,  $U_{BE}$ ) et deux grandeurs électriques en sortie ( $I_C$ ,  $U_{CE}$ ).

Un point de fonctionnement d'un transistor est situé à l'intersection de la droite de charge avec la caractéristique de sortie du transistor correspondante à  $I_B$  fixée.

Les valeurs limites généralement fournies par le constructeur sont :

- le courant maximal du collecteur  $I_C\text{ max}$
- la tension maximale du collecteur  $U_{CE\text{ max}}$
- la puissance maximale du collecteur  $P_C\text{ max}$
- la température maximale de la jonction  $T_{j\text{max}}$

Avant de brancher un transistor, il faut consulter la notice fournie par le constructeur.



<http://www.ac-bordeaux.fr/Pedagogie/Physique/STAGES/IEE3.htm>

<http://courelectr.free.fr/TRANS/COURS.HTM>

[http://perso.wanadoo.fr/daniel.robert9/Semi conducteurs5 Suite.htm](http://perso.wanadoo.fr/daniel.robert9/Semi%20conducteurs5%20Suite.htm)

[http://perso.wanadoo.fr/daniel.robert9/images/Diagramme du transistor NPN.gif](http://perso.wanadoo.fr/daniel.robert9/images/Diagramme%20du%20transistor%20NPN.gif)

# TRAVAUX PRATIQUES

- Caractéristiques électriques d'un transistor NPN monté en émetteur commun
- Point de fonctionnement d'un transistor
- Coefficient d'amplification en courant

## Matériel :

- 1 transistor NPN 2N1711 :  $P_{\max} = 800 \text{ mW}$  à  $25^\circ\text{C}$  ;

$$I_{C\max} = 500 \text{ mA} ;$$

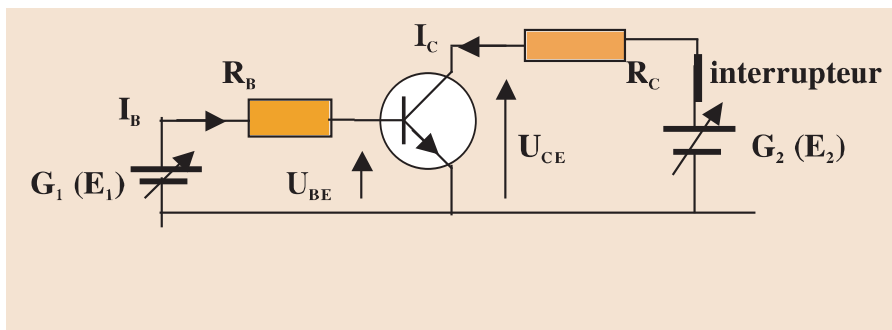
$$U_{CE\max} = 50 \text{ V} ;$$

- Deux ampèremètres, un voltmètre et un interrupteur.
- Deux résistances ( $R_B = 10 \text{ k}\Omega$  et  $R_C = 100 \Omega$ ).
- Deux alimentations stabilisées réglables.

**Remarque :** Les caractéristiques sont sensibles à la température du boîtier; on veillera donc à ouvrir l'interrupteur après chaque mesure.

## I. Ensemble de caractéristiques

### I-1. Montage



### I-2. Mesures

#### I-2-1. Caractéristique d'entrée $I_B = f(U_{BE})$

$E_1$  = variable entre 0 et 12 V et  $E_2$  entre 0 et 5V

En faisant varier la tension  $E_1$  de l'alimentation  $G_1$ , relever  $I_B$  et  $U_{BE}$  (On fera varier  $I_B$  entre 0 et 1mA)

**a-Tracer la courbe  $I_B = f(U_{BE})$ .**

**b-** A quel composant électronique peut-on comparer la jonction base-émetteur du transistor? Justifier.

### I-2-2. Caractéristique de transfert en courant $I_C = f(I_B)$ à $U_{CE}$ constante.

Maintenir la tension  $U_{CE}$  constante et faire varier  $I_B$  (entre 0 et 1mA) en faisant varier la tension  $E_1$  de l'alimentation  $G_1$ .

a- Pour  $U_{CE} = 5V$ , relever et tracer la caractéristique de transfert en courant  $I_C = f(I_B)$ .

b- On appelle "coefficient d'amplification de courant", le rapport  $\beta = \frac{I_C}{I_B}$  dans le domaine de linéarité de la courbe représentative de la fonction  $I_C = f(I_B)$ .

Calculer la valeur de  $\beta$  et la comparer à l'indication donnée par le constructeur :  $\beta \geq 100$ .

c- Refaire le même Travail pour  $U_{CE} = 10 V$ . Conclure

### I-2-3. Caractéristique de sortie $I_C = f(U_{CE})$ à $I_B$ constante.

a- Agir sur la tension  $E_1$  de l'alimentation  $G_1$  pour régler  $I_B$  à la valeur  $500 \mu A$ . Faire varier  $U_{CE}$  par action sur la tension  $E_2$  de l'alimentation  $G_2$ , relever et tracer la courbe  $I_C = f(U_{CE})$ . (On ajustera  $E_1$  pour maintenir  $I_B$  constante)

b- Même travail pour  $I_{B2} = 250 \mu A$ . (On se limitera à des valeurs de  $U_{CE} \leq 10 V$ )

## II. Exploitation des caractéristiques

### 1. Droite de charge

a- Pour  $E_2 = 5V$ , trouver la relation liant  $U_{CE}$ ,  $R_C$ ,  $I_C$  et  $E_2$ . (Loi des mailles).

b- La courbe d'équation  $I_C = f(U_{CE})$  s'appelle la droite de charge du transistor. Tracer cette courbe sur le même graphe que précédemment.

c- Déterminer le point de fonctionnement du transistor pour  $I_B = 250 \mu A$

### 2. Conclusion

a- Pour  $U_{CE} = E_2 = 5V$ , le transistor est dit "bloqué". Pourquoi?

b- Pour  $0 < I_B < \frac{E_2}{\beta R_C}$  le transistor fonctionne en régime linéaire. Par quoi cela se traduit-il?

c- Pour  $I_B > \frac{E_2}{\beta R_C}$ , le transistor est dit saturé, donner une explication.

## III. Etats de fonctionnement :

Etat bloqué :	$U_{BE} =$	Etat saturé :	$U_{BE} =$
	$I_B =$		$I_B =$
	$I_C =$		$I_C =$
	$U_{CE} =$		$U_{CE} =$

# EXERCICES EXERCICES

## Est-ce que je connais ?

- 1 Définir la caractéristique de transfert d'un transistor.
- 2 Définir le coefficient d'amplification en courant d'un transistor.  
De quoi dépend -t-il ?
- 3 Que signifie chacune des phrases suivantes :
  - un transistor bloqué.
  - un transistor saturé.
- 4 Choisir la bonne réponse et la recopier.
  - a) Lorsqu'une augmentation de  $I_B$  provoque une augmentation proportionnelle de  $I_C$ , le transistor fonctionne en *régime linéaire / régime de saturation* .
  - b) Le transistor est *bloqué / saturé* lorsque l'intensité  $I_C$  reste constante alors que l'intensité  $I_B$  augmente.
  - c) Lorsqu'un transistor fonctionne en régime linéaire, l'amplification en courant est :
$$\beta = \frac{I_B}{I_C} , \beta = \frac{I_C}{I_B} .$$
- 5 Préciser les signes de  $U_{BE}$  et  $U_{CE}$  pour un transistor **PNP** bloqué.
- 6 Recopier et compléter les phrases suivantes :
  - Pour un transistor fonctionnant normalement et en régime linéaire, les intensités  $I_B$  et  $I_C$  sont liées par la relation..... , .....désigne le coefficient d'.....en courant.
  - Lorsque l'intensité du courant de commande  $I_B$  est.....pour que  $I_C$  atteigne sa valeur limite, une nouvelle augmentation de  $I_B$  ne provoque plus .....de  $I_C$  : on dit alors que le transistor fonctionne en état.....
- 7 La relation  $I_C = \beta \cdot I_B$  ou  $\beta$  est une constante, s'applique - t - elle pour tous les régimes de fonctionnement d'un transistor ?

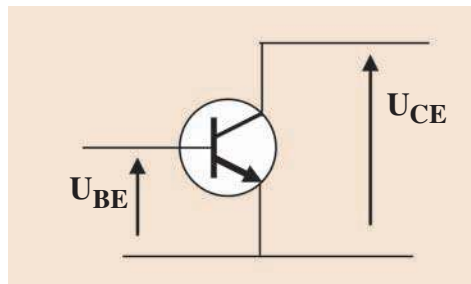
## Est-ce que je sais appliquer ?

**1** Quel est l'état de fonctionnement d'un transistor pour lequel la tension  $U_{CE}$  entre collecteur et émetteur est :

- a- pratiquement égale à 0V ?
- b- pratiquement égale à la tension  $U$  aux bornes du générateur du circuit de commande ?
- c- intermédiaire entre les précédentes ?

**2** La figure suivante représente un transistor (au silicium) :

- a- S'agit-il d'un transistor NPN ou PNP ?
- b- Quel est l'état de fonctionnement de ce transistor lorsque :
  - $U_{BE} \approx 0,05 \text{ V}$  et  $U_{CE} \approx 5 \text{ V}$  ?
  - $U_{BE}$  légèrement supérieure à 0,6V et  $U_{CE} \approx 0,5 \text{ V}$  ?
  - $U_{BE}$  légèrement supérieure à 0,6V et  $U_{CE} \approx 5 \text{ V}$  ?



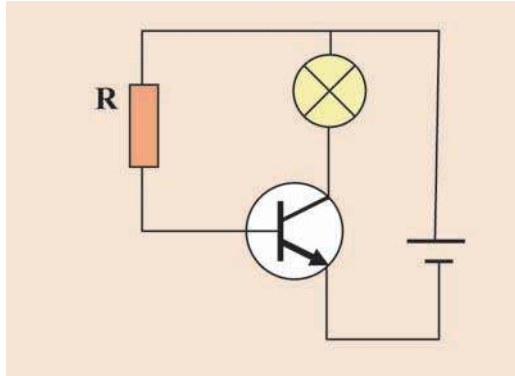
**3** On a mesuré pour un transistor ( $T_1$ ) :  $I_C = 20 \text{ mA}$ ,  $I_B = 0,30 \text{ mA}$  et  $U_{CE} = 5 \text{ V}$ .

Pour un transistor ( $T_2$ ) :  $I_C = 25 \text{ mA}$ ,  $I_B = 1,00 \text{ mA}$  et  $U_{CE} = 0,3 \text{ V}$ .

Déduire le coefficient d'amplification de chaque transistor et conclure.

**4** Un transistor fonctionne en amplificateur linéaire de courant. Son amplification en courant est  $\beta = 250$ .

- a- Reproduire le schéma du montage ci-dessous et flécher les courants  $I_C$ ,  $I_B$  et  $I_E$  qui passent dans le collecteur, la base et l'émetteur.
- b- L'ampermètre, branché en série avec la lampe, indique 250 mA. Calculer les intensités  $I_B$  et  $I_E$  des courants de base et de l'émetteur. Conclure.



### Est-ce que je sais raisonner ?

**1** Pour étudier la fonction amplificateur de courant du transistor 2N 2222 de type **NPN**, on réalise un montage à émetteur commun avec un générateur continu de tension réglable de 0 à 12V et deux ampermètres.

- a- Faire le schéma du montage.
- b- Indiquer le sens du courant dans chaque branche du circuit.
- c- Les résultats expérimentaux sont :

$I_B$ (mA)	0	0,2	0,4	0,8	1
$I_C$ (mA)	0	14	28	56	70

Tracer le graphique de  $I_C$  en fonction de  $I_B$ . Que pouvez -vous en conclure ?

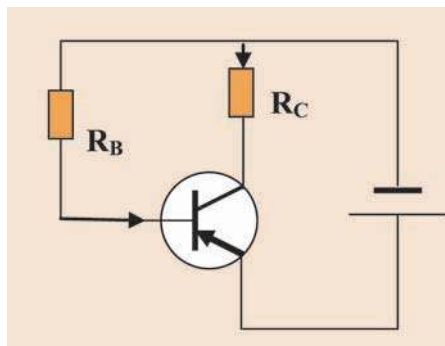
**d)** Calculer le coefficient d'amplification du transistor 2N 2222.

**2** On désire qu'un transistor PNP, dont le coefficient d'amplification en courant vaut  $\beta = 100$ , fonctionne normalement dans les conditions suivantes :

$$I_C = -50\text{mA}, U_{BE} = -0,20 \text{ V} \text{ et } U_{CE} = -5\text{V}.$$

Ce transistor est inséré dans le circuit de la figure ci-dessous, où le générateur maintient entre ses bornes une tension de 6V indépendante du courant débité.

- a- Déterminer les valeurs des intensités des courants de base  $I_B$  et d'émetteur  $I_E$ .
- b- Calculer les valeurs des résistances  $R_C$  et  $R_B$  pour que le transistor fonctionne comme prévu.

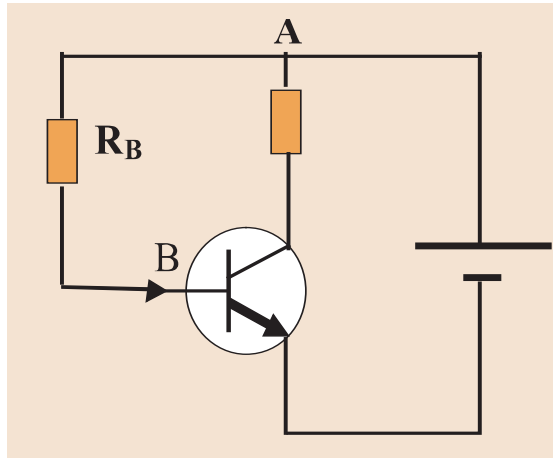


**3** Dans le montage schématisé ci-dessous, le transistor fonctionne en régime linéaire. On mesure  $U_{AB} = 3,2V$ .

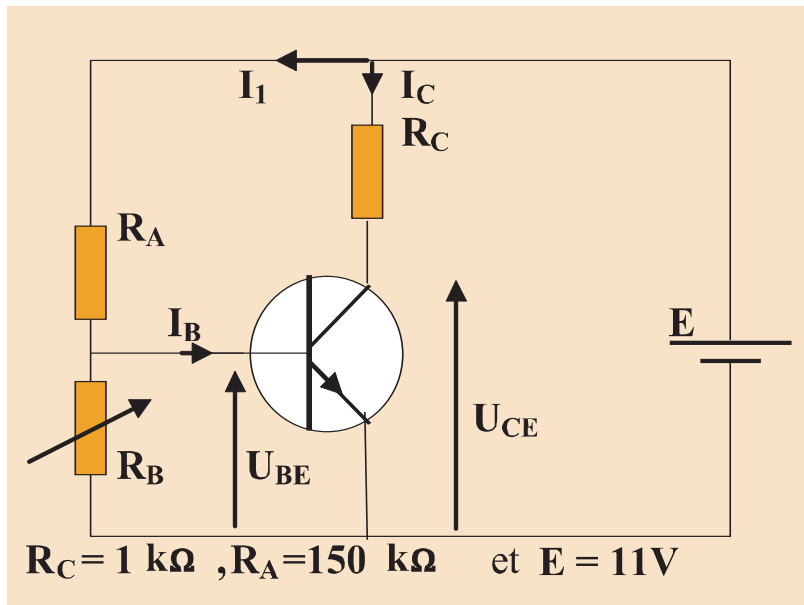
**a-** Appliquer la loi d'Ohm entre les bornes A et B et déduire la valeur de la résistance  $R_B$  si  $I_B = 1m A$ .

**b-** Le coefficient d'amplification en courant étant  $\beta = 120$ , chercher l'intensité  $I_E$  du courant émetteur.

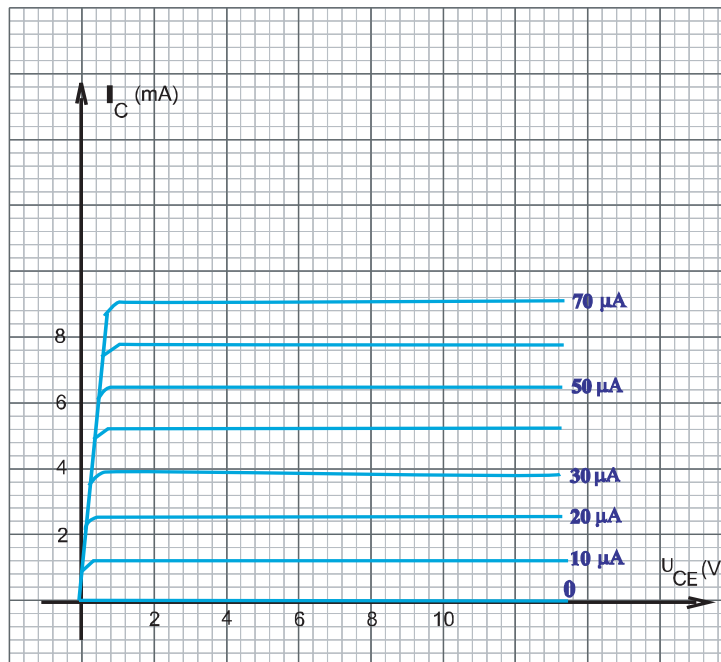
**c-** Que se passe-t-il si la résistance  $R_B$  est trop faible ?



**4** - On considère le montage de polarisation par pont de base suivant :

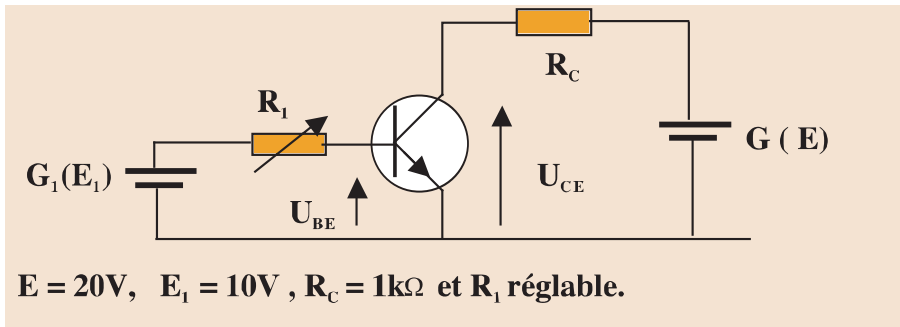


Pour une certaine valeur de la résistance  $R_B$  ajustable, on a  $U_{CE0} = 8V$ .  
On donne les caractéristiques d'entrée et de sortie.

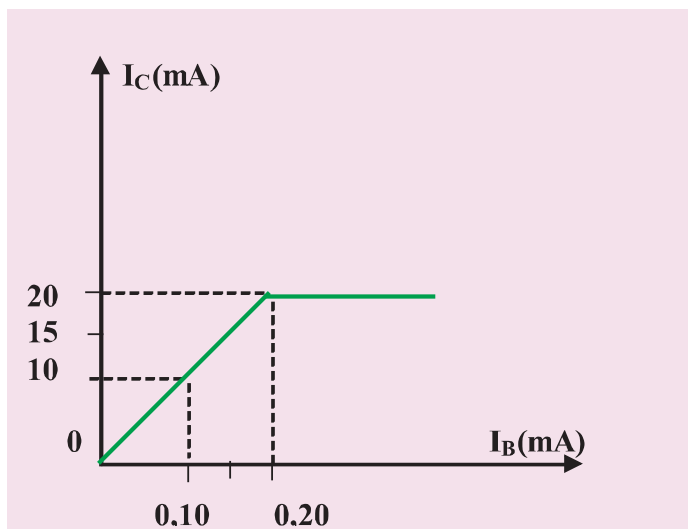
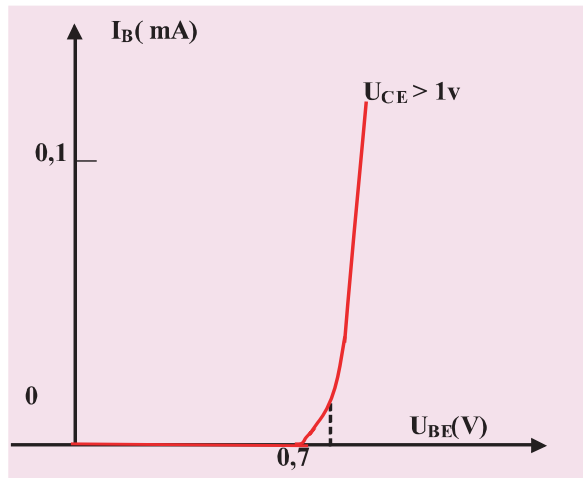
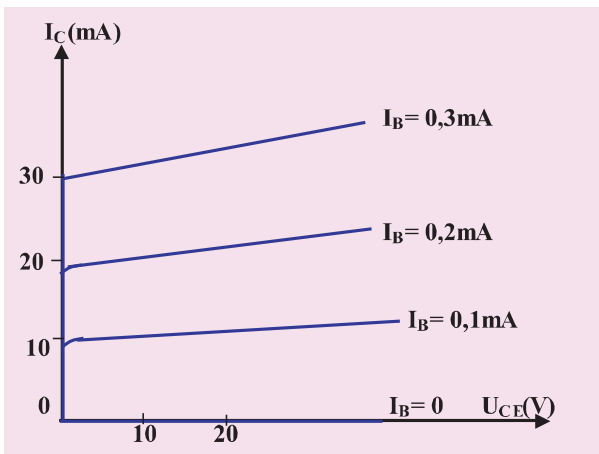


- Tracer la droite de charge sur le réseau de caractéristiques et déterminer graphiquement  $I_{B0}$ ,  $I_{C0}$  et  $U_{BE0}$ .
- Exprimer le courant  $I_1$  qui traverse  $R_A$  en fonction de  $E$ ,  $U_{BE}$  et  $R_A$  et calculer sa valeur.
- Exprimer la résistance  $R_B$  en fonction de  $U_{BE}$  et des intensités  $I_B$  et  $I_1$ .
- Pour quelle valeur limite de  $U_{BE}$  aura-t-on blocage du transistor ?  
Déterminer la valeur limite correspondante de  $R_B$ .

5 On considère le montage suivant :



On donne les caractéristiques ci-dessous :



Dans le calcul, on néglige la tension seuil d'entrée devant les valeurs des tensions E et  $E_1$ .

**1<sup>er</sup> cas :  $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$**

- 1- En appliquant la loi des mailles, trouver l'équation de la droite d'attaque statique.
- 2- Préciser les coordonnées des points d'intersection de cette droite avec les axes de la caractéristique d'entrée.
- 3- Tracer la droite d'attaque dans le plan ( $I_B, U_{BE}$ ).
- 4- Déterminer les grandeurs électriques en entrée du point de fonctionnement  $P_0$ .
- 5- Déduire la valeur de  $I_{CO}$  à partir de la caractéristique de transfert.
- 6- Calculer le coefficient d'amplification en courant du transistor à partir de la caractéristique de transfert.
- 7- En appliquant la loi des mailles, trouver l'équation de la droite de charge statique.
- 8- Déterminer les points d'intersection de cette droite avec les axes de la caractéristique de sortie.
- 9- Tracer la droite de charge sur la caractéristique de sortie du transistor.
- 10- Déterminer le point de fonctionnement  $P_1$  en sortie à partir de la caractéristique de sortie.
- 11- On rappelle qu'un transistor est :
  - En fonctionnement normal si le point de repos est situé:
    - sur la caractéristique de sortie correspondant à  $I_B = \text{constante}$ ,
    - sur la droite de charge statique du montage.
  - Saturé, si  $I_B > \frac{I_C}{\beta}$

Déduire le mode de fonctionnement du transistor.

**2<sup>ème</sup> cas :  $R_1 = 33 \text{ k}\Omega$**

- 1- Calculer  $I_{B1}$
- 2- Déterminer graphiquement les coordonnées du point de fonctionnement  $P'_1$  en sortie.
- 3- Préciser l'état du transistor.
- 4- Si  $R_1$  diminue encore, comment varient  $I_B$  et  $I_C$  ?

**3<sup>ème</sup> cas :**

Si enfin  $R_1$  est reliée à un point dont le potentiel  $E'$  est négatif par rapport au potentiel de l'émetteur.

Que peut-t-on dire de l'état du transistor ?

# Fonctions d'un transistor bipolaire

## Je dois être capable :

- ❖ de réaliser un montage électronique utilisant des transistors en vue d'une application pratique simple ;
- ❖ d'analyser une chaîne électronique.

## Je dois d'abord tester mes acquis :

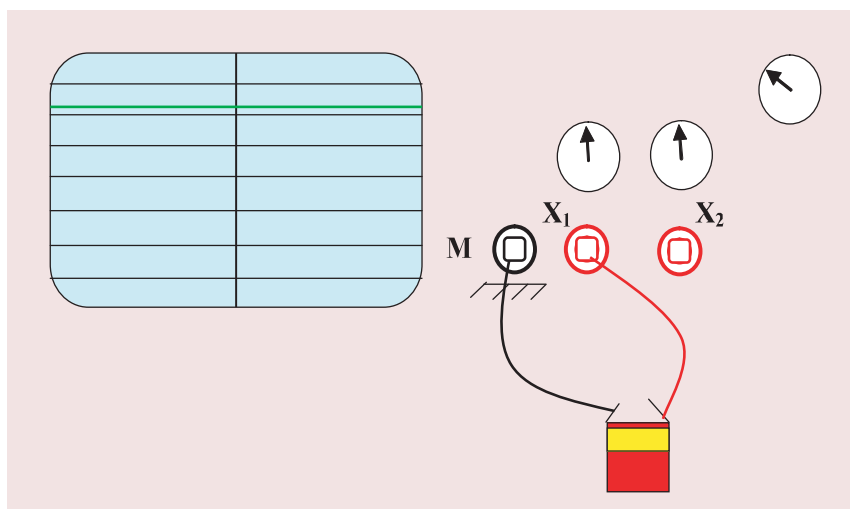
- 1- Peut – t – on visualiser une tension électrique et mesurer sa valeur ? Si oui comment procéder ?
- 2- Une tension électrique est – elle toujours positive.
- 3- Avant de brancher un transistor, il faut consulter la notice fournie par le constructeur.  
Pourquoi ?
- 4- Définir le coefficient d'amplification en courant d'un transistor.  
De quoi dépend –t-il ?
- 5- Quels sont les trois modes de fonctionnement d'un transistor ?
- 6- Quand est ce que un transistor est équivalent à :
  - un interrupteur ouvert ?
  - un interrupteur fermé ?
- 7- Une diode peut elle jouer, comme le transistor, le rôle d'un interrupteur commandé?  
Expliquer.

## Je construis mes savoirs :

### 1 Qu'appelle-t-on une tension variable ?



- Régler l'oscilloscope de manière à faire apparaître au centre de l'écran un segment lumineux horizontal.
- Brancher les bornes d'une pile plate aux entrées **M** et **X<sub>1</sub>** de l'oscilloscope.



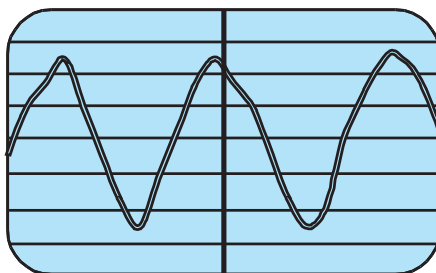
Une déviation verticale du trait lumineux horizontal vers le haut ou vers le bas.



- L'oscillogramme (la courbe) de la tension aux bornes de la pile plate est un segment de droite horizontal.
- La tension aux bornes de la pile ne varie pas au cours du temps : elle est dite tension **continue**.



- Reprendre l'expérience précédente en remplaçant la pile par la génératrice d'une bicyclette.
- Faire tourner rapidement le galet de façon uniforme.





- La courbe de la tension donnée par la génératrice de la bicyclette est "ondulée"
- L'oscillogramme visualisé n'est pas semblable à celui de la pile plate.



La tension délivrée par une génératrice de bicyclette change de valeurs au cours du temps : elle est dite tension **variable**.

**Une tension dont la valeur n'est pas constante au cours du temps est appelée tension variable.**

On symbolise une tension continue par la lettre majuscule  $U$  et une tension variable par la lettre minuscule  $u(t)$  ou  $u$ .

Exemples de tension variable :

Tension	Oscillogramme
sinusoïdale	
en créneaux	
en dents de scie	

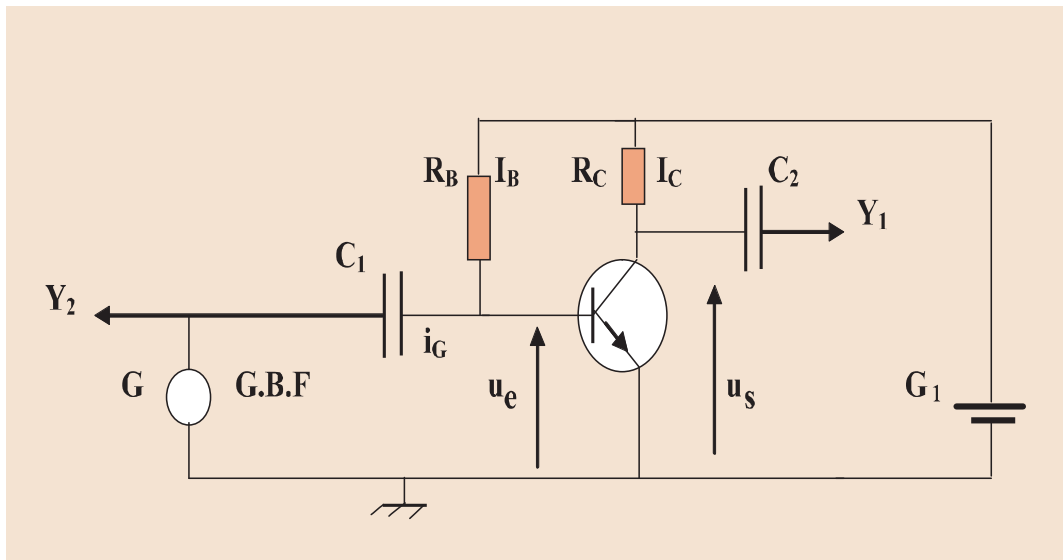
Les tensions indiquées dans le tableau ci-dessus peuvent être délivrées par un générateur de fonction, appelé aussi générateur basses fréquences (GBF).

## 2 Fonction analogique d'un transistor : Amplification

**Comment amplifier un très faible courant ou une très faible tension ?**



Réaliser le montage suivant :



Le transistor utilisé est le BC 107.

$G_1$  : Générateur de f.é.m.  $E = 12 \text{ V}$ , il permet la polarisation du transistor.

$G$  : Générateur basse fréquence

Les résistances des résistors sont :  $R_B = 560 \text{ k}\Omega$ ,  $R_C = 2,2 \text{ k}\Omega$

On désigne par :

$I_C$  le courant continu du collecteur

$I_B$  le courant continu de base

$i_G$  le courant variable débité par le générateur  $G$

$C_1$ : condensateur qui empêche le courant continu  $I_B$  de passer dans le générateur  $G$ .

$C_2$  : condensateur qui arrête le courant continu  $I_C$  .



• Appliquer à l'entrée une tension sinusoïdale de valeurs efficace très faible (10 mV) délivrée par le générateur  $G$  et observer les tensions d'entrée  $u_e$  et de sortie  $u_s$  sur un oscilloscope bicourbe.

- Mesurer les valeurs maximales des tensions d'entrée et de sortie.



La tension de sortie est aussi sinusoïdale de valeur maximale beaucoup plus grande que celle de la tension d'entrée.

**A partir d'une tension d'entrée faible, le transistor permet d'obtenir une tension de sortie plus grande. On a réalisé un montage amplificateur de tension à transistor**

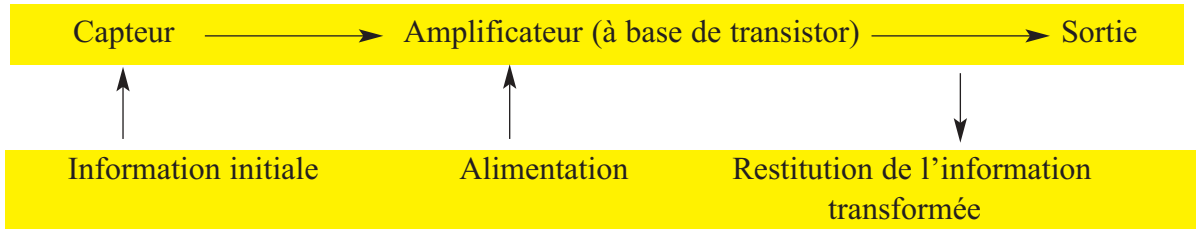
### Remarques

- Le montage réalisé est dit **montage amplificateur de tension**.
- L'amplification des tensions dépend du montage dans lequel est branché le transistor et des résistances qui sont autour de lui.

Autres exemples : -Amplification du courant d'un microphone  
 -Amplification audiofréquence

**Généralisation** : Rôle amplificateur du transistor

En utilisant un transistor, le schéma synoptique général pour amplifier une tension ou un courant est comme suit :

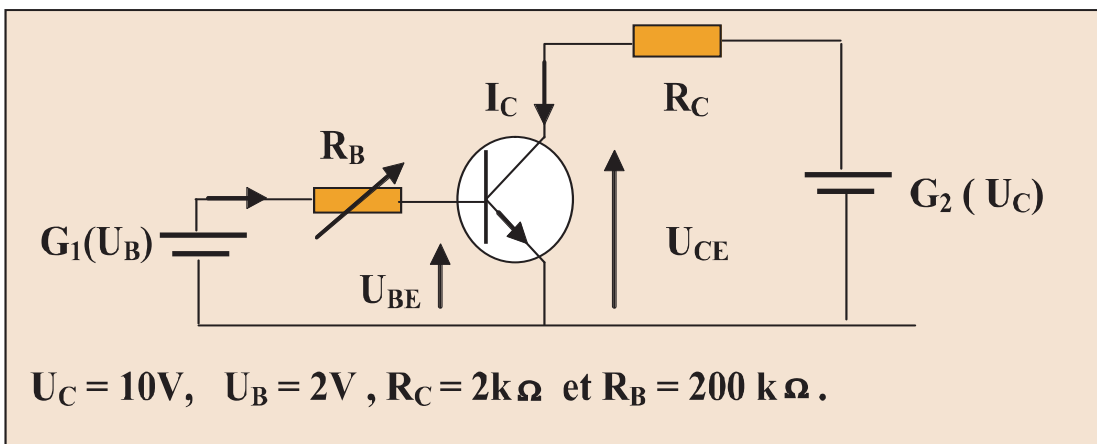


- Le capteur reçoit l'information.
- Le transistor joue le rôle d'un amplificateur.
- L'alimentation fournit l'énergie électrique pour amplifier le signal électrique reçu.
- La sortie restitue l'information.

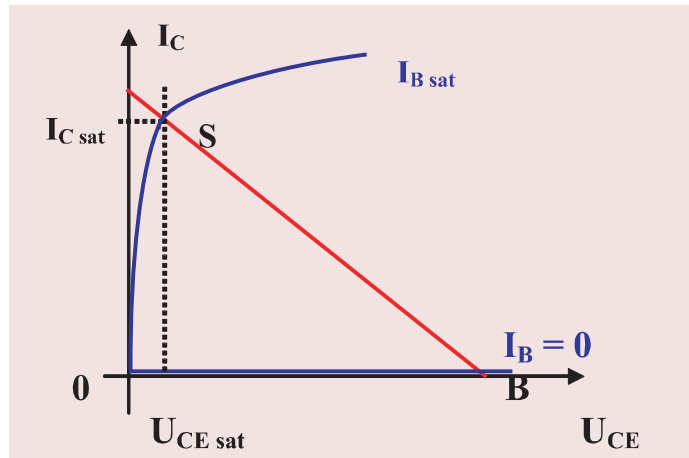
**2** Fonction logique d'un transistor : la commutation

a) Etat bloqué – état saturé

Soit le montage suivant :



Les allures de la caractéristique de sortie du transistor et de la droite de charge dans le plan ( $U_{CE}, I_C$ ) sont représentées par la figure suivante.



Suivant l'état du transistor, on distingue trois régions :

- Une région de **blocage** caractérisée par  $I_B = 0$ ,  $I_C = 0$  et  $U_{CE} = U_C$  (point B).
- Une région de **saturation** caractérisée par la tension  $U_{CE\ sat}$  et le courant  $I_{C\ sat}$ .
- Une région d'**amplification** dite région de fonctionnement linéaire ou zone active située entre les deux régions précédentes.

- Ecrire les équations des mailles d'entrée et de sortie.

- Montrer que :

$$I_B = \frac{U_B}{R_B} - \frac{U_{BE}}{R_B}$$

$$I_C = \frac{U_C}{R_C} - \frac{U_{CE}}{R_C}$$

- Dédire que  $I_{C\ sat} = \frac{(U_C - U_{CE\ sat})}{R_C}$  (point S)

La condition de saturation s'écrit  $I_B \geq I_{C\ sat} / \beta$   $I_B \geq \frac{(U_C - U_{CE\ sat})}{\beta \times R_C}$

$$I_{B\ sat} = \frac{I_{C\ sat}}{\beta} = \frac{(U_C - U_{CE\ sat})}{\beta \times R_C}$$

En réalité, on a  $U_C \gg U_{CE\ sat}$  d'où la condition de saturation :

$$I_B \geq I_{B\ sat} \approx \frac{U_C}{\beta \times R_C}$$

Le courant  $I_B$  est donné par :  $I_B = \frac{U_B - U_{B\ sat}}{R_B}$ ,  $I_B$  est fixé par le circuit d'entrée.

Pour  $I_B \geq I_{B\ sat}$  : Le courant  $I_C$  n'augmente quasiment plus : on dit que le transistor fonctionne en **régime de sursaturation**.

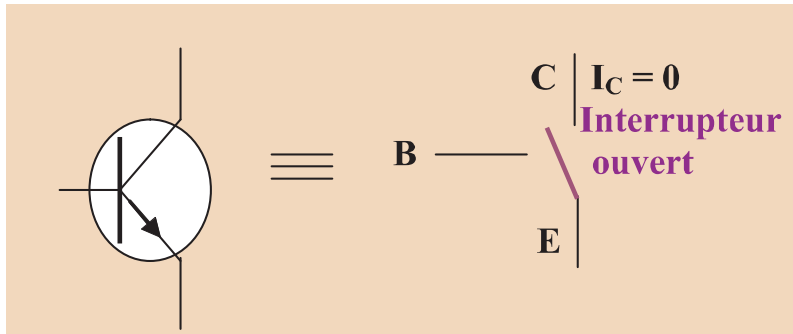
## b- Le phénomène de commutation

On peut assimiler un transistor à un interrupteur commandé électriquement.

La borne de commande étant la base, et l'interrupteur étant entre le collecteur et l'émetteur.

► Pour un transistor NPN :

• Théoriquement, lorsque  $U_{BE} \leq 0$ , le transistor est bloqué. Ca signifie que  $I_C = I_E = 0$ . Le transistor se comporte comme un **interrupteur ouvert**. Mais, dans la pratique, le transistor reste bloqué jusqu'au seuil de conduction de la jonction **BE** soit environ 0,6V.



**N.B :** pour éviter le claquage du transistor,  $U_{CE}$  doit être inférieure à  $U_{CEmax}$ .

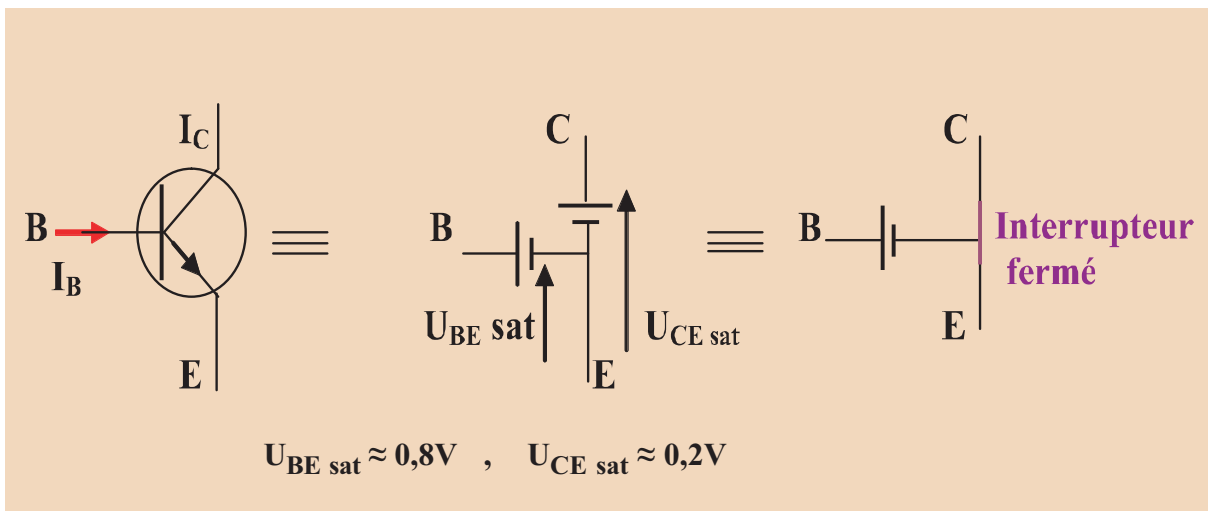
• Lorsque  $U_{BE} > 0,6V$  (tension seuil de la diode base émetteur), le transistor est passant.

• Pour qu'il soit saturé, on a vu qu'il fallait  $I_B \geq \frac{I_C \text{ sat}}{\beta}$  et dans ce cas  $U_{BE} = U_{BE \text{ sat}} \approx 0,8V$ ,

ce qui entraîne  $U_{CE} = U_{CE \text{ sat}} \approx 0,2V$  pour un transistor de faible puissance.

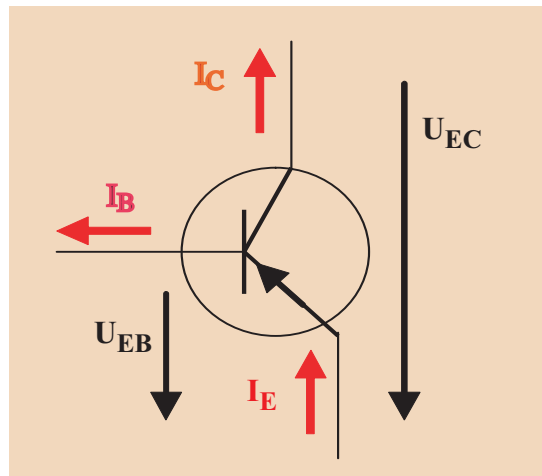
Le courant peut alors circuler dans le transistor du collecteur vers l'émetteur. Le transistor se comporte, entre le collecteur et l'émetteur comme un **interrupteur fermé**.

$I_C$  est fonction des éléments externes du montage.



► Pour un transistor **PNP**, c'est exactement le même principe :

- Lorsque  $U_{BE} \leq 0$ , le transistor est bloqué,  $U_{EC}$  dépend des éléments du montage :  $I_C = I_E = 0$ .
- Lorsque  $U_{BE} > 0,6V$  (donc  $I_B > 0$ ), à la saturation on a :  $U_{EC} = U_{EC\text{ sat}}$  et  $I_B \geq I_C\text{ sat} / \beta$ .



**La commutation pour un transistor est le passage de l'état bloqué à l'état saturé et inversement.**

Utiliser un transistor en commutation consiste à le faire fonctionner comme un interrupteur ouvert ou fermé en exploitant ses états bloqué et saturé.

### c- Comment réaliser la commutation ?

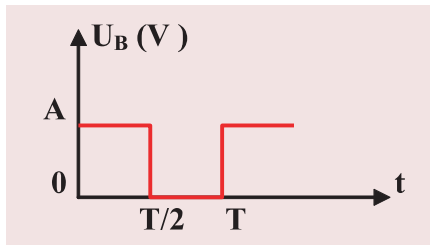
Pour faire passer le transistor d'un état à un autre (**bloqué**  $\longleftrightarrow$  **saturé**), on peut procéder comme suit :

- Appliquer une tension continue convenable sur la base à travers une résistance de charge  $R_B$ ,
- fermer et ouvrir le circuit d'entrée (en basculant l'interrupteur).

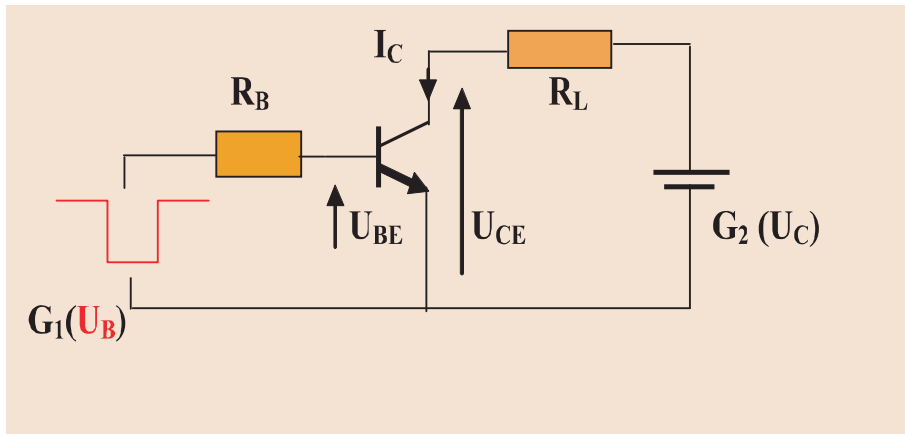
L'opération décrite présente des inconvénients :

- lenteur : le temps de réponse est de quelques centièmes de secondes (très souvent, les changements d'états se font à une fréquence très élevée). Ce qui est beaucoup pour certaines applications,
- dissipation d'une puissance qui provoque l'échauffement des jonctions, d'où le risque de détériorer le transistor,
- détérioration des contacts mécaniques,
- dépendance de l'opérateur.

Pour éviter ces inconvénients, on applique sur la base **une tension carrée**  $U_B$  dont les variations au cours des temps sont représentées par le diagramme de la figure(1).



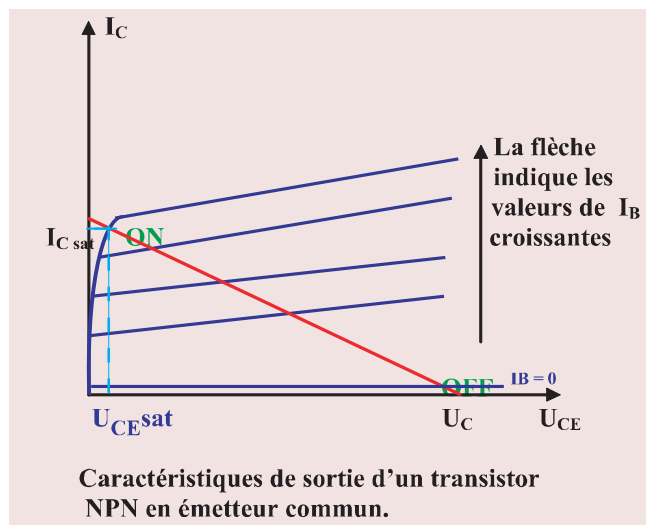
Montage pour réaliser la commutation :



Le transistor est **commandé par une impulsion de courant de base**, générée par l'impulsion de tension appliquée sur la base à travers la résistance  $R_B$ .

Il passe de l'état bloqué à l'état saturé en lui appliquant une impulsion positive de courant (cas d'un transistor NPN).

Le circuit de sortie comprend une résistance de charge  $R_L$  telle que la valeur du rapport  $\frac{U_C}{R_L}$  soit inférieure à la valeur du courant de collecteur maximum supportable par le transistor.



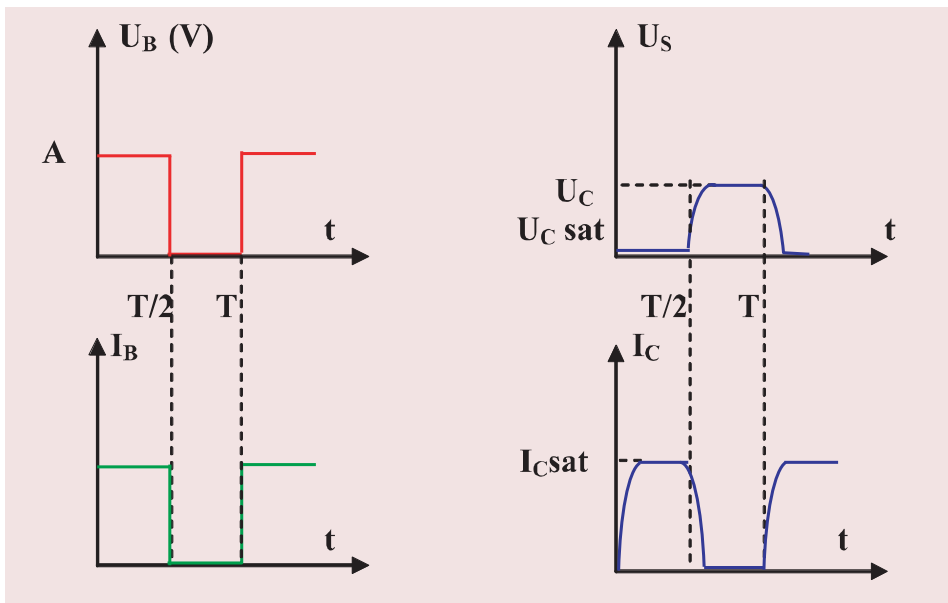
Si on suppose qu'au **départ** le transistor est **bloqué** (état OFF) :Le courant qui traverse le transistor est faible, la tension entre le collecteur et l'émetteur vaut  $U_C$ .

**On applique l'impulsion de courant sur la base.**

- Le transistor va quitter l'état bloqué (état OFF) pour atteindre l'état saturé.
- la tension collecteur-émetteur est pratiquement nulle (égale à  $I_{CE\ sat} = 0,2$  à  $0,3$  V pour un transistor au silicium)
- Le courant collecteur atteint alors la valeur :  $I_{C\ sat} = \frac{U_C - U_{CEsat}}{R_L} \approx \frac{U_C}{R_L}$  (égalité approximative).
- Le courant qui traverse le transistor est important, la tension collecteur-émetteur est faible.
- L'amplitude minimale de courant de base pour obtenir la saturation est donc :

$$I_{BM} > \frac{I_{C\ sat}}{\beta} \approx \frac{U_C}{\beta R_L}$$

**Diagrammes des grandeurs électriques d'entrée et de sortie :**



**Les temps de commutation** sont les temps nécessaires au transistor pour passer d'un état à l'autre. Ils correspondent en première approximation aux temps d'établissement et de disparition de la charge stockée dans la base. Les charges stockées sont assimilées à des condensateurs qu'en série avec les résistances externes ralentissent les transitions.

- La durée minimale de l'impulsion qui provoque le basculement de l'état bloqué à l'état saturé est appelée temps de fermeture  $t_{on}$ .
- La durée minimale de l'impulsion qui provoque le basculement de l'état saturé à l'état bloqué est appelée temps d'ouverture  $t_{off}$ .
- Les temps  $t_{on}$  et  $t_{off}$  sont faibles.

### Remarques :

- Bloqué, le transistor ne dissipe pas de puissance ( $I_C = 0$ ).
  - Saturé, le transistor dissipe une puissance faible ( $U_{CE} \approx 0$ ) en viron de 10mW.
- Pendant la commutation,  $I_C$  et  $U_{CE}$  existent simultanément, le transistor dissipe une puissance lors de chaque transition.
- L'échauffement du transistor en régime de commutation est proportionnel à la fréquence de répétition des basculements qui est égale au nombre de passage de l'état bloqué à l'état saturé par unité de temps (seconde). Plus cette fréquence est grande, plus le transistor s'échauffe. Ce phénomène doit être pris en compte notamment pour les transistors de puissance qui doivent être équipés de radiateurs et menus de circuit d'aide à la commutation.

### 3 Comment vérifier si un montage à transistor fonctionne en commutation ?

**1<sup>ère</sup> étape :** On fixe une hypothèse  $U_{CE} = U_{CEsat}$

Cette hypothèse correspond à la conséquence d'un transistor saturé.

**2<sup>ème</sup> étape :** On calcule  $I_B$  et  $I_C$ .

**3<sup>ème</sup> étape :** On calcule le rapport  $\frac{I_C}{I_B}$ .

**4<sup>ème</sup> étape :** On cherche dans la documentation du transistor le  $\beta$  minimum.

Si le rapport  $\frac{I_C}{I_B}$  est strictement inférieur au  $\beta$  minimum du transistor, alors, on peut dire que le transistor est saturé.

La conséquence ( $U_{CE} = U_{CEsat}$ ) est alors vérifiée.

**5<sup>ème</sup> étape :** On pourra également vérifier que la tension  $U_{BE}$  prend ses valeurs les plus élevées ( $\geq 0,8V$ )

### 4 Qu'est ce qu'une chaîne électronique ?

a- Les détecteurs

Comment on commande l'éclairage d'une lampe par la variation de la lumière ambiante ?

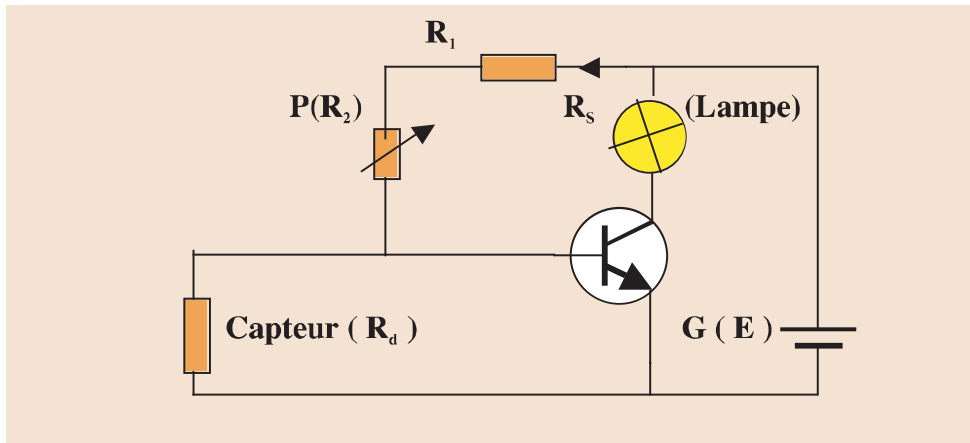
Comment on commande l'éclairage d'une lampe par la variation du niveau d'un liquide dans un réservoir ?

Comment on commande l'éclairage d'une lampe en utilisant une thermistance ?

**Remarques :** On peut remplacer la lampe par un haut parleur, un moteur, une sonnerie...



Réaliser le montage suivant :



- Le capteur de résistance  $R_d$  peut être :
  - une photo résistance (**détecteur de lumière**) qui est un élément constitué par un semi-conducteur dont la résistance varie avec l'éclairement ( la lumière).
  - deux plaques conductrices très proche placées dans un liquide conducteur se trouvant dans un réservoir (**détecteur de niveau d'humidité**).
  - Une thermistance (**détecteur de température ou de chaleur**) est un élément constitué par un semi-conducteur dont la résistance varie avec la température( la résistance diminue lorsque la température augmente).
- l'amplificateur : un transistor BC 115
- une sortie : une lampe (  $R_s$  )
- une alimentation : une pile de f.é.m.  $E = 4,5V$

### Quelle condition doit satisfaire $R_d$ pour avoir l'éclairage ou l'extinction de la lampe ?

L'élément de sortie ne fonctionne pas si le transistor est bloqué, c'est-à-dire  $V_{BE} < 0,6V$ . Lorsque le transistor est bloqué, le courant d'intensité  $I$  débité par le générateur (G) passe totalement dans le résistor de résistance  $R_1 = 100\Omega$ , le potentiomètre de résistance  $R_2$  et le capteur (détecteur) de résistance  $R_d$ .

D'après la loi des mailles :  $E = (R_1 + R_2 + R_d) \cdot I$  ,  $V_{BE} = R_d \cdot I$

$$V_{BE} = \frac{R_d \cdot E}{R_1 + R_2 + R_d} < 0,6V$$

On déduit que le transistor est bloqué si  $R_d < \frac{(100 + R_2) \cdot 0,6}{3,9}$  ,  $E = 4,5V$

la valeur de  $R_d$  commande alors l'état de la sortie (lampe allumée ou éteinte).

## Fonctionnement

### §-Cas de la photo résistance (détecteur de lumière)

- Si la photo résistance est fortement éclairée, sa résistance est alors faible et le transistor reste bloqué.
- Si l'intensité de la lumière ambiante diminue, la résistance  $R_d$  augmente progressivement et débloque le transistor : la lampe s'allume.

### §-Cas d'un détecteur de niveau d'humidité

- Quand les plaques sont totalement ou fortement immergées dans le liquide, la résistance  $R_d$  est faible, le transistor est alors bloqué : la lampe reste éteinte.
- Quand le niveau du liquide descend, le degré (la surface) d'immersion des plaques diminue, la résistance  $R_d$  augmente et débloque le transistor : la lampe s'allume.

### §-Cas de la thermistance

- Prendre  $R_2 = 100 \Omega$ , déterminer la résistance limite  $R_{d0}$ .
- Chauffer progressivement la thermistance et observer l'état de la lampe.
- Refroidir progressivement la thermistance et observer l'état de la lampe

## b- Notion de chaîne électronique ?

Dans l'exemple des détecteurs :

- Le capteur reçoit l'information
- Le transistor joue le rôle d'un amplificateur.
- L'alimentation fournit l'énergie électrique pour amplifier le signal électrique reçu.
- Une sortie restituant l'information transformée.

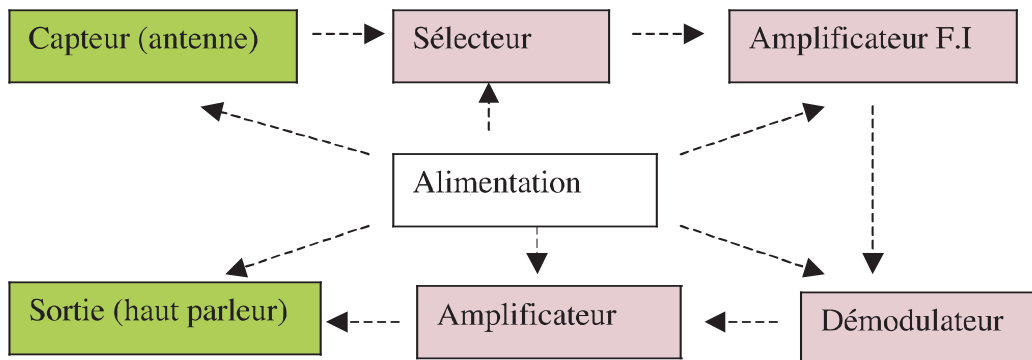
L'ensemble capteur, amplificateur (transistor), sortie et alimentation forment **une chaîne électronique**.

**Un montage électronique constitué d'une suite d'appareillages remplissant chacun une fonction donnée est appelé chaîne électronique.**

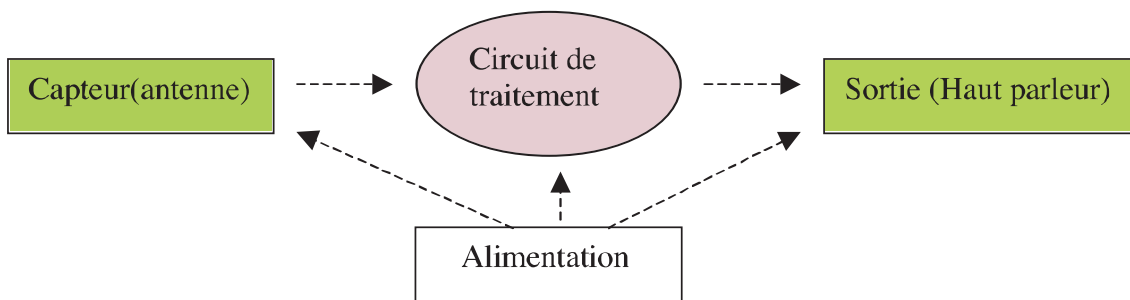
## Exemples de chaînes électroniques :

### ▶ Le poste radio

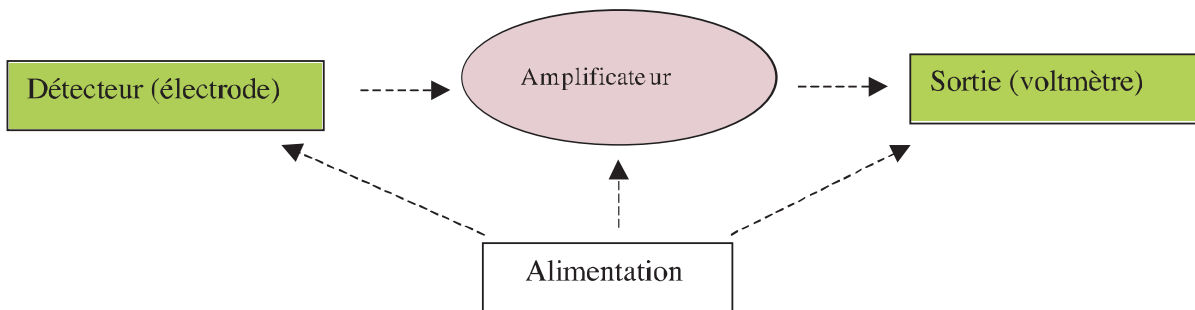
La chaîne électronique peut être schématisée comme suit :



Pour simplifier, on peut adopter le schéma suivant :

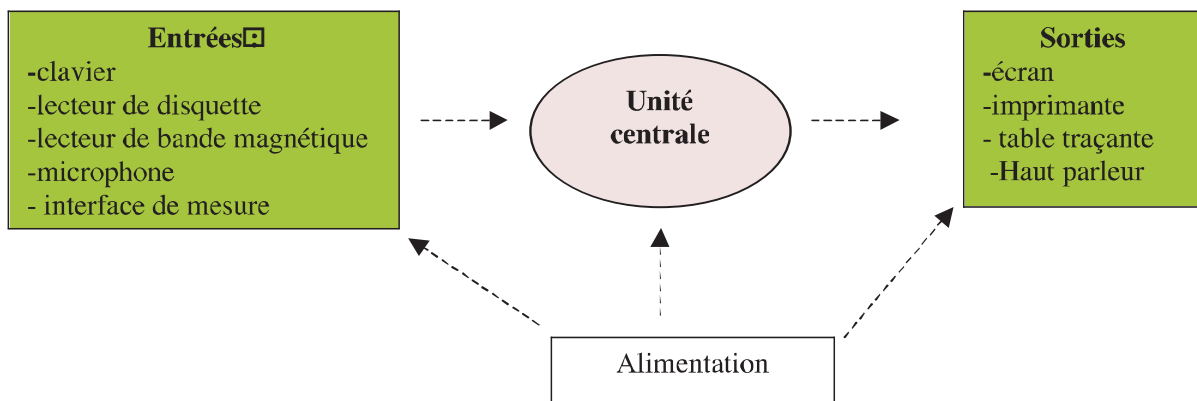


### ◆ Le pH-mètre



### ◆ L'ordinateur

Le module fondamental de l'ordinateur est l'unité centrale. Cette unité traite les informations reçues des différentes entrées (clavier, lecteur de disquette, lecteur de bande magnétique, microphone, interface de mesure) et affiche le résultat sur l'une des sorties (écran, imprimante, table traçante, haut parleur..).



- ◆ Récepteur de télévision ;
- ◆ Une régulation thermique d'un appareil de chauffage.

En plus de l'alimentation, une chaîne électronique est généralement formée par trois étages : l'entrée, le circuit de traitement et la sortie.

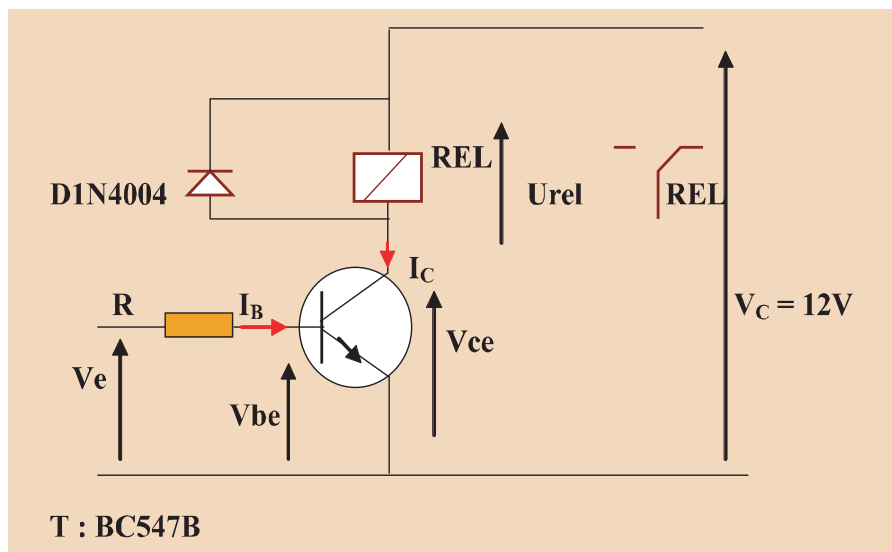
# EXERCICE RESOLU

## Commande d'un relais à partir d'un signal logique :

Le but est de commander un relais à l'aide d'une porte logique, d'une sortie du port parallèle, .... On ne peut pas brancher directement le relais sur cette sortie, car il consomme trop de courant. Il faut donc mettre un transistor qui va servir d'interrupteur commandé électriquement.

On va calculer la valeur de **R**. Cette résistance est obligatoire, en effet, la jonction base - émetteur se comporte comme une diode. C'est à dire que  $V_{be\ max} = 0.7V$  environ. Sans cette résistance, on forcerait  $V_{be}$  à **5V**, ce qui aurait pour effet de griller le transistor et /ou la sortie de la porte logique.

## Schéma du montage d'étude :



## Données :

~ T : transistor NPN,  $\beta = 200$ ,  $V_{ce\ sat} = 0.2V$ ,  $V_{be\ sat} = 0.7V$ ,  $V_{ce\ max} = 45V$

~ REL: relais,  $R_{rel} = 310\ \Omega$ , relais prévu pour être alimenté en 12V

~ D : diode de roue libre. Cette diode sert uniquement à protéger le transistor lorsqu'on le bloque (supprime le pic de tension du au relais).

~ R : ce qu'on cherche.

~  $V_c = +12V$

~  $V_e$  vaut 0 ou 5V. Lorsque  $V_e = 0$ , on veut que le relais **ne soit pas alimenté** (soit  $U_{rel} = 0$ ), et lorsque  $V_e = 5V$ , on veut que le relais **soit alimenté** (soit  $U_{rel} = 12V$  environ).

## Résolution du problème:

### On commence par vérifier pour $V_e = 0$ :

~ Si  $V_e = 0$ , alors  $V_{be} = 0$ , et  $I_b = 0$  (la "diode" base émetteur est bloquée).

Donc le transistor est bloqué,  $I_c = I_e = 0$ . Donc  $U_{rel} = R_{rel} \times I_c = 310 \times 0 = 0$ .

~ On a bien obtenu ce qu'on voulait.

~ Remarque, dans ce cas la,  $V_{ce} = V_c = 12V$ . (C'est bien inférieur à  $V_{ce\ max}$ )

**On fait le calcul de R pour  $V_e = 5V$ :**

~ Calcul de  $I_c$ :

$$\text{On a } V_c = V_{ce} + U_{rel}$$

Or il faut que le transistor soit saturé. Donc  $V_{ce} = V_{ce\ sat}$

$$\text{D'autre part, } U_{rel} = R_{rel} \cdot I_c$$

$$\text{Donc } V_c = V_{ce\ sat} + R_{rel} \cdot I_c$$

$$\text{Soit } I_c = \frac{V_c - V_{ce\ sat}}{R_{rel}} = \frac{12 - 0.2}{310} = 0.038 \text{ A}$$

~ Calcul de  $I_b\ min$ :

$$I_b\ min = \frac{I_c}{\beta} = \frac{0,038}{200} = 0.00019 \text{ A} = 0.19 \text{ mA}$$

~ On prend un coefficient de sécurité de 1.5 pour être sûr que le transistor sera bien saturé :

$$\text{Donc } I_b\ sat = I_b\ min \cdot 1.5 = 0.28 \text{ mA}$$

~ Enfin, calcul de **R**

Il faut se souvenir que la jonction base émetteur se comporte comme une diode (voir cours sur les diodes).

On a  $V_e = U_R + V_{be}$ . Or  $V_{be} = V_{be\ sat} = 0.7V$  (diode).

$$\text{Donc } V_e = R \cdot I_b\ sat + V_{be\ sat}$$

$$\text{Soit } R = \frac{V_e - V_{be\ sat}}{I_b\ sat} = \frac{5-0,7}{0,00028} = 15062 \ \Omega \approx 15 \text{ k}\Omega$$

### Résumé :

~ On a donc réalisé un "interrupteur" commandé électriquement:

~ Lorsque  $V_e = 0$ , le transistor est bloqué, et le relais n'est pas alimenté.

~ Lorsque  $V_e = 5V$ ,  $I_b$  est un "petit" courant de commande, qui laisse passer un "grand" courant entre le collecteur et l'émetteur. Le relais est alimenté.

### Remarque :

~ le calcul serait identique pour une LED à la place du relais. On aurait  $I_{led} = I_c = 0.025A$  par exemple (ça dépend de l'éclairage qu'on veut). Il faudrait simplement faire attention de mettre une résistance en série avec cette LED, car sinon elle serait alimentée en 12V comme le relais. (Calcul de cette résistance :  $R_{led} = \frac{V_c - V_{ce\ sat} - U_{led}}{I_{led}} = \frac{12 - 0.2 - 2}{0,025} = 390 \ \Omega$  par exemple. ( $U_{led} = 2V$  pour une LED verte)).

~ Autre chose: Il faut bien comprendre que le fait d'augmenter  $I_b$  lorsque le transistor est saturé ne change pas  $I_c$ . En effet,  $V_{ce}$  ne peut pas descendre en dessous de  $V_{ce\ sat}$ , donc  $I_c$  ne change plus.

## *L'ESSENTIEL*

Avec un seul transistor, on peut amplifier un très faible courant ou une très faible tension.

Un montage amplificateur à transistor est formé d'un capteur (détecteur), un amplificateur (un transistor) et une sortie.

Le fonctionnement de la sortie est commandé par le capteur (détecteur), selon que le transistor est bloqué ou débloqué.

Comme détecteur, on peut signaler, la photo résistance (détecteur de lumière), détecteur de niveau, la thermistance (détecteur de chaleur).

La commutation pour un transistor est le passage de l'état bloqué à l'état saturé et inversement.

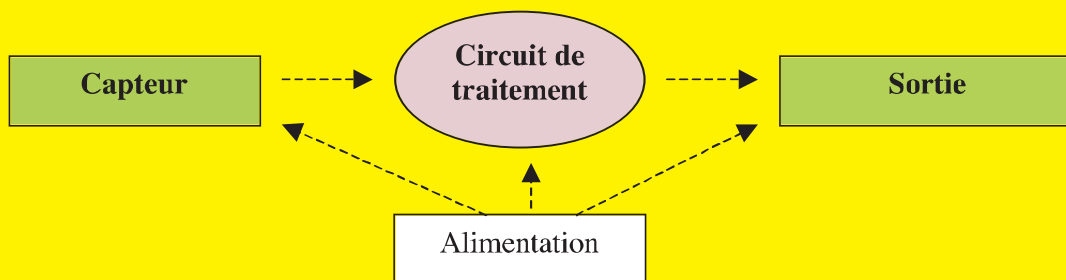
Les temps de commutation sont les temps nécessaires au transistor pour passer d'un état à l'autre (saturé – bloqué).

Un transistor bloqué ne dissipe pas de puissance. Lorsqu'il est saturé, la puissance dissipée est faible.

Pendant la commutation, le transistor dissipe une puissance par chaque impulsion de courant.

Un montage électronique constitué d'une suite d'appareillages remplissant chacun une fonction donnée est appelé chaîne électronique.

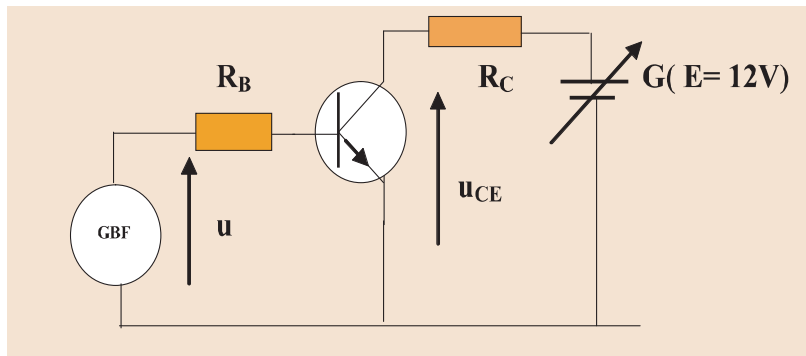
En plus de l'alimentation, une chaîne électronique est généralement formée par trois étages (modules) : L'entrée, le circuit de traitement et la sortie.



# TRAVAUX PRATIQUES

## TP1 Utilisation du transistor en commutation

$u$  est une tension carrée 0-3 V de fréquence 1000 Hz

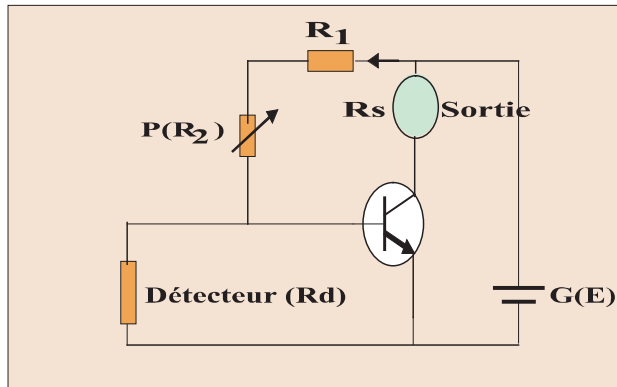


1. En utilisant la valeur de  $\beta$  déterminée au I-2-2-b(voir T.P de la leçon précédente), calculer la valeur maximale de  $R_B$  qui permet de saturer le transistor lorsque  $u = 3$  V. Effectuer le montage.
2. Indiquer les branchements de l'oscilloscope pour relever les oscillogrammes  $u(t)$  et  $u_{CE}(t)$ .  
Relever ces oscillogrammes.
3. Sur les oscillogrammes, indiquer les zones de blocage et de saturation du transistor.

## TP2 Suis je capable de fabriquer une chaîne électronique ?

**Objet :** Commander le fonctionnement d'une sortie par un transistor en agissant sur la résistance d'un détecteur (entrée).

Soit le montage suivant :



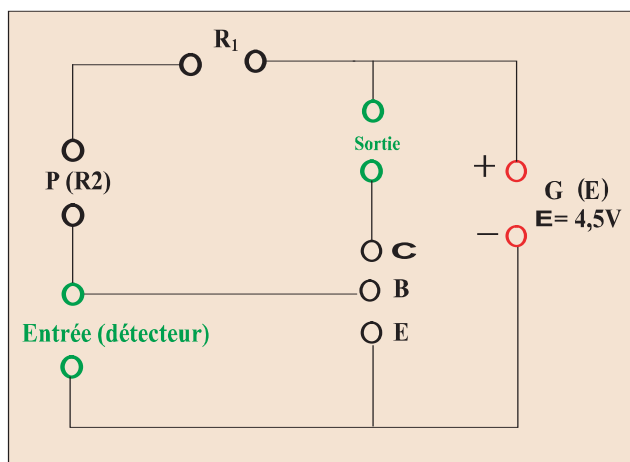
**Activité demandée :** réaliser la chaîne électronique correspondant au montage ci-dessus sur une plaque en plexiglas ou en bois.

Détecteur (capteur) : une thermistance – un photorésistor – un détecteur d'humidité

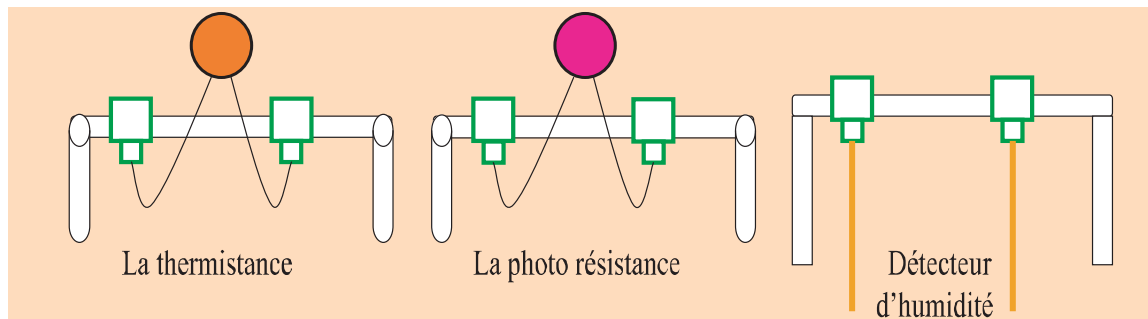
Sortie : une lampe – un moteur électrique – une sonnerie.

### Fabrication des éléments de la chaîne

- Percer et fixer les bornes sur la plaque comme l'indique le schéma suivant :



- Fixer sur la plaque :
  - la résistance  $R_1 = 100 \Omega$  et le potentiomètre ( $R_2$ )
  - le transistor (**BD 137** ou **BC 115**)
- Faire monter les détecteurs sur des supports en plexiglas



### Essais ;

On rappelle que l'organe de sortie ne fonctionne pas si le transistor est bloqué (voir cours) et ce pour  $R_d < \frac{(100 + R_2) \cdot 0,6}{3,9}$ ,  $R_d$  étant la résistance du détecteur

- **Le détecteur de lumière** (la photo résistance) permet d'allumer une lampe quand l'intensité de la lumière ambiante diminue. L'organe de sortie est une lampe de  $3,5V - 0,2A$ .
  - A la lumière ambiante, mesurer la résistance  $R_d$  de la photo résistance,
  - Chercher la valeur adéquate de  $R_2$  pour que la lampe reste éteinte à la lumière du jour.
 Tester l'expérience.
- **Le détecteur de niveau** permet d'arrêter une pompe quand le niveau d'eau dans un réservoir atteint une position bien déterminée. L'organe de sortie est un moteur qui peut fonctionner sous une tension comprise entre 2 et 4,5V. Fixer la valeur de la résistance  $R_2$  et tester l'expérience en agissant sur la hauteur d'immersion des électrodes dans une solution électrolytique, par exemple une solution de sulfate de cuivre. (Les électrodes en cuivre).

**Le détecteur de chaleur** (thermistance) permet d'interrompre le fonctionnement d'un four électrique quand la température atteint une valeur désirée. L'organe de sortie est une lampe de  $3,5V - 0,2A$ .

- A la lumière ambiante ou à chaud, mesurer la résistance  $R_d$  de la thermistance,
- Chercher la valeur limite de  $R_2$  au dessus de la quelle la lampe s'allume. Tester l'expérience.

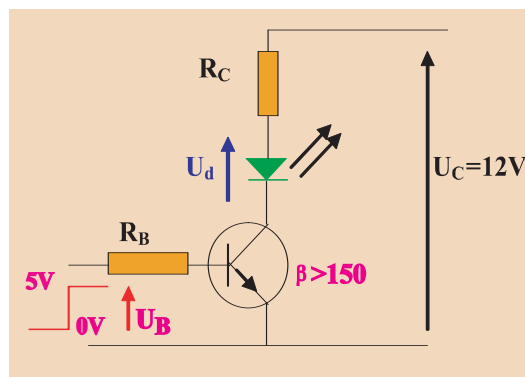
# EXERCICES EXERCICES

## Est-ce que je connais ?

- 1 Définir la commutation pour un transistor bipolaire
- 2 Décrire sommairement une opération permettant de faire passer le transistor de l'état bloqué à l'état saturé et inversement en un temps court.
- 3 Expliquer pourquoi la puissance dissipée par un transistor lorsqu'il est bloqué ou saturé est négligeable devant la puissance dissipée entre deux passages consécutifs de l'état bloqué à l'état saturé ?
- 4 Définir une chaîne électronique.
- 5 Quels sont les principaux étages d'une chaîne électronique ?
- 6 Donner un exemple de chaîne électronique et préciser ses étages.

## Est-ce que je sais appliquer ?

- 1 Le montage ci-contre illustre une utilisation typique du transistor en commutation.



Il s'agit de **commander** une diode électroluminescente à partir d'un **signal logique 0-5v**. Supposons le cahier des charges est défini par les données suivantes:

$U_d = 2V$ ,  $U_{CE\ sat} = 1V$  et un courant  $I_d > 10\text{ mA}$ .

1-Si  $U_B = 0$

- Quel est le mode de fonctionnement du transistor ?
- Quel est l'état de la diode ?

2-Si  $U_B = 5\text{v}$ , le transistor doit être saturé.

- Quelle est la valeur de la tension  $U_{CE}$  ?
- Exprimer  $R_C$  en fonction de  $U_C$ ,  $U_d$ ,  $U_{CEsat}$  et  $I_C$ .
- Quelle est alors la valeur limite de  $R_C$  pour que  $I_d$  soit supérieure à 10 mA.
- Quelle condition vérifient  $I_B$  et  $I_C$  à la saturation ?
- Exprimer  $I_B$  en fonction de  $U_B$ ,  $U_{BE}$  et  $R_B$ .
- Déduire l'expression de  $I_C$  en fonction de  $U_B$ ,  $U_{BE}$ ,  $R_B$  et  $\beta$  minimale.
- Quelle est la valeur limite de  $R_B$  ?

2 Un ohmmètre branché aux bornes d'une photo résistance indique les valeurs suivantes selon l'éclairement :  $500\Omega$ ,  $10^6\Omega$ ,  $2k\Omega$ .

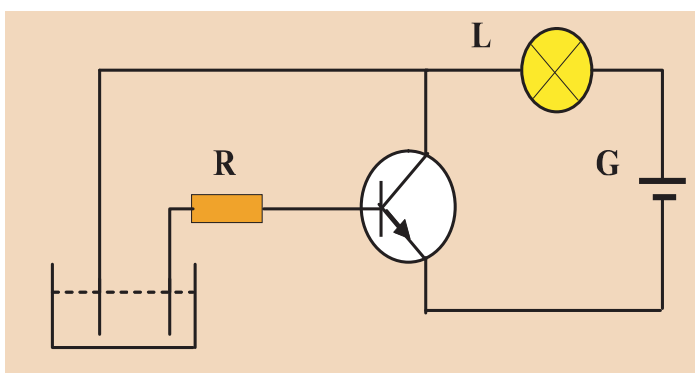
Ranger correctement ces trois valeurs dans le tableau ci-dessous que vous reproduisez.

	Obscurité	Jour	Plein soleil
R ( $\Omega$ )			

### Est-ce que je sais raisonner ?

1 A partir d'une structure où tous les composants sont connus. Expliquer la démarche à employer pour démontrer qu'un transistor bipolaire fonctionne en commutation.

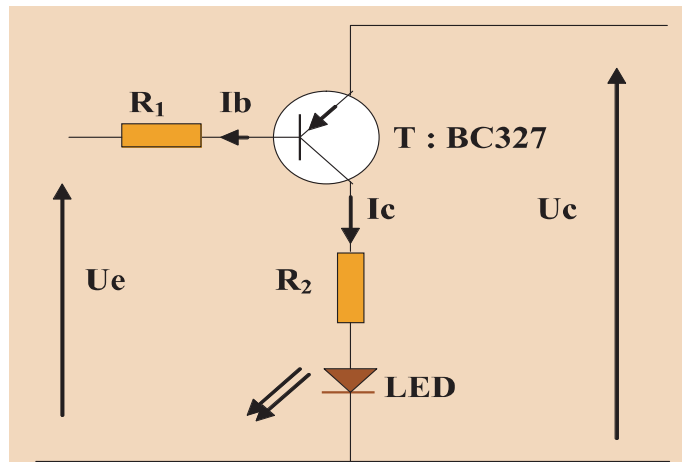
2 Un transistor est utilisé dans un montage « détecteur de niveau d'eau » comme l'indique le schéma suivant :



- a) Quel est le type de transistor utilisé?
- b) Indiquer le sens du courant dans chaque branche du circuit.
- c) Quelle est la tension aux bornes des deux conducteurs hors de l'eau ? Dire si la lampe éclaire ou reste éteinte.
- d) Que se passe-t-il si le niveau de l'eau monte et si les extrémités des deux conducteurs deviennent suffisamment immergées ?

3 Les transistors **PNP** c'est génial!

Un transistor **PNP** et une diode sont montés dans un montage comme l'indique la figure suivante :

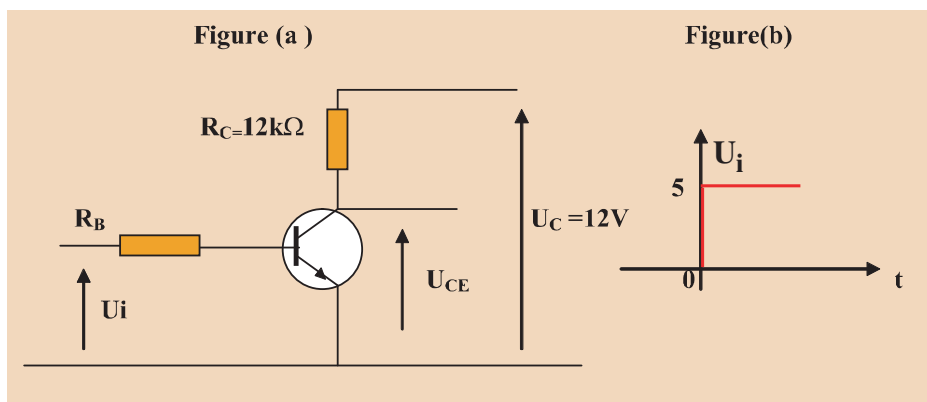


On donne :  $U_e = 12V$  et  $U_c = +12V$ .

En justifiant le résultat, répondre par vrai ou faux :

	Réponse	Justification
La LED est allumée et le transistor est bloqué.		
La LED est allumée et le transistor est saturé.		
La LED est éteinte et le transistor est bloqué.		
La LED est éteinte et le transistor est saturé.		

4 Le circuit représenté ci – dessous ( figure (a) ) fonctionne en commutation :



Le transistor peut occuper deux états :

- saturé :  $U_{CE} < 0.2V$  et  $U_{BE} \geq 0.6V$
- bloqué :  $U_{BE} < 0.4V$

On donne :  $\beta = 100$  à  $200$ .

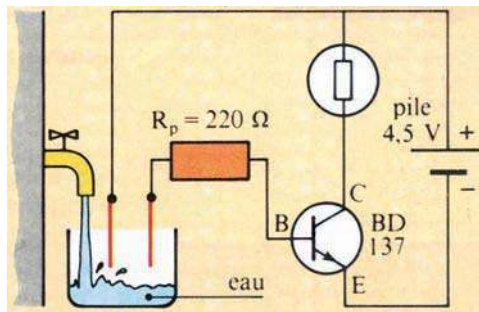
1. Calculer le courant collecteur  $I_C$ .
2. Choisir une résistance  $R_B$  qui débite dans la base un courant suffisant afin de saturer le transistor lorsque  $U_i = 5V$ .
3. Représenter  $U_{CE}$  lorsque la tension d'attaque  $U_i$  a la forme représentée sur la figure(b).

## Suis je capable de ?

### ■ Réaliser un détecteur de niveau d'eau

Dans le montage schématisé ci-après, le circuit de commande du transistor comporte deux électrodes ( extrémités dénudées de deux fils de jonction). Lorsque le niveau de l'eau atteint les électrodes, la lampe s'allume.

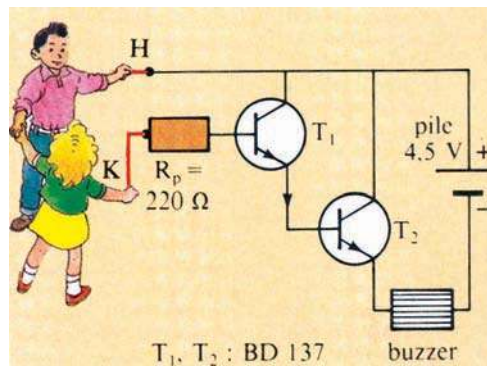
- Essayer le dispositif avec différents liquides : eau de robinet, eau salée, huile.  
Quelle propriété pouvez-vous mettre en évidence.
- Pourquoi est - il prudent de brancher sur la base une résistance de protection ?
- Pouvez-vous imaginer des applications pratiques de ce montage.



### ■ montrer que le corps humain est conducteur

Avec deux transistors, réaliser le montage schématisé ci- dessous.

L'un de vos camarades saisit et serre fortement entre ses doigts l'extrémité H du fil de jonction. Saisir l'extrémité K. Maintenant, serrez - vous tous les deux vigoureusement la main. Le buzzer ( alarme) détecte votre poignée de main. Expliquer le fonctionnement de l'alarme.



## ■ Réaliser un montage pour écouter mon baladeur sur un haut-parleur

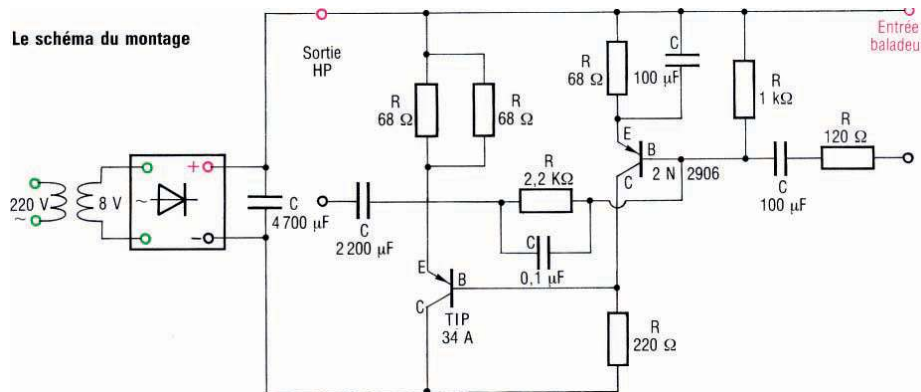
### le matériel

- 1 transformateur 220 V-8V.
- 1 pont de diodes.
- 5 condensateurs chimiques (24 V) : 0,01 $\mu$ F - 100 $\mu$ F - 100 $\mu$ F - 2200 $\mu$ F - 4700 $\mu$ F
- 3 résistances (1W) : 68 $\Omega$  - 68 $\Omega$  - 68 $\Omega$ .
- 4 résistances (0,5W) : 120 $\Omega$  - 220 $\Omega$  - 1k $\Omega$  - 2,2k $\Omega$ .
- 2 transistors PNP : 2N 2906 - TIP 34 A (ou équivalents)

base de circuits intégrés.

- 1 haut-parleur de 8 $\Omega$  d'impédance.
- 1 plaque de fixation.
- 1 boîtier (8,5 cm x 11 cm x 3,5 cm).
- 1 cordon d'alimentation de 1m pour le secteur avec une prise mâle.
- 1 cordon de raccordement bifilaire avec le haut-parleur.
- 1 prise de raccordement avec votre baladeur.
- 2 visse de fixation de transformateur

Le montage proposé est un montage simplifié pour vous permettre d'utiliser tous les composants que vous avez étudiés. Il existe d'autres montages à



### La réalisation

Le montage comporte une alimentation redressée et filtrée.

Le signal d'entrée provenant du baladeur est amplifié par deux transistors.

Une résistance de 120 $\Omega$  détermine le gain d'amplification.

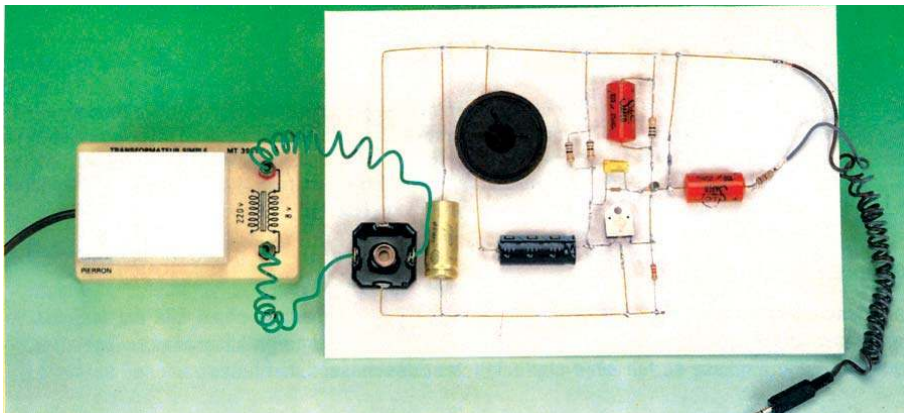
Le signal de sortie est envoyé sur un haut-parleur.

Les soudures sont à réaliser avec un fer à souder de faible puissance (30W Maximum).

Cet ensemble permet d'amplifier le son d'un baladeur ou d'un

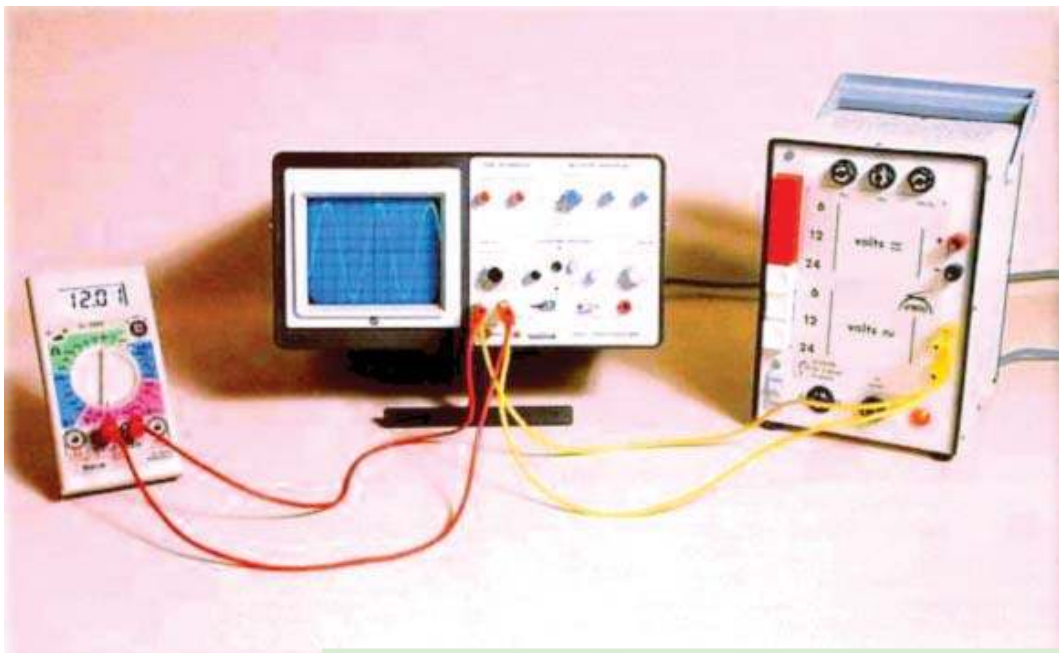
adiocassette et de l'écouter sur un petit haut-parleur.

Pour avoir un montage stéréo de deux hauts-parleurs, il faut réaliser deux fois le montage proposé à partir de l'alimentation redressée et filtrée.



## Chapitre 6

# Courant alternatif



Un multimètre utilisé en voltmètre et un oscilloscope sont connectés aux deux bornes d'un générateur de tension alternative.

L'oscilloscope permet de visualiser la variation de la tension au cours du temps, pourtant, l'indication fournie par le voltmètre est constante !



## Contenu du chapitre 6

- ◆ Tension alternative : période et fréquence, mesure d'une tension efficace.
- ◆ Le courant du secteur.
- ◆ Adaptation : le transformateur.
- ◆ Redressement du courant alternatif.

# Tension alternative

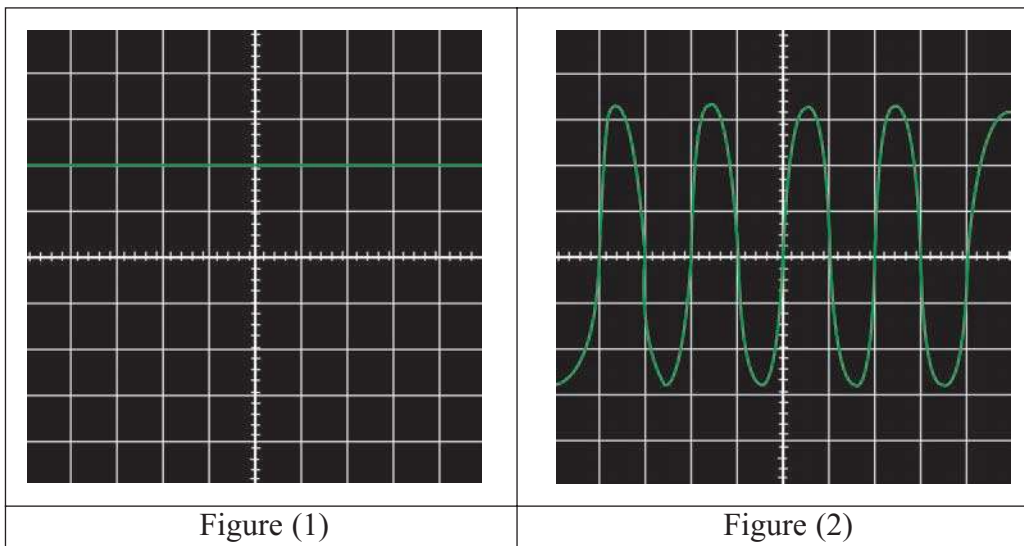
## Je dois être capable :

- ❖ de reconnaître une tension variable.
- ❖ de déterminer la période et la fréquence d'une tension périodique.
- ❖ de reconnaître une tension alternative.
- ❖ de mesurer à l'aide d'un voltmètre une tension efficace.
- ❖ de reconnaître une tension alternative sinusoïdale.

## Je dois d'abord tester mes acquis :

1- Je choisis et je recopie la ou (les) bonne(s) réponse(s) :

- a) La figure (1) représente sur l'écran de l'oscillographe une tension *continue/ variable*.
- b) La figure (2) représente une tension *continue/ variable* .



2- Que veut dire l'expression:« un phénomène est périodique » ?

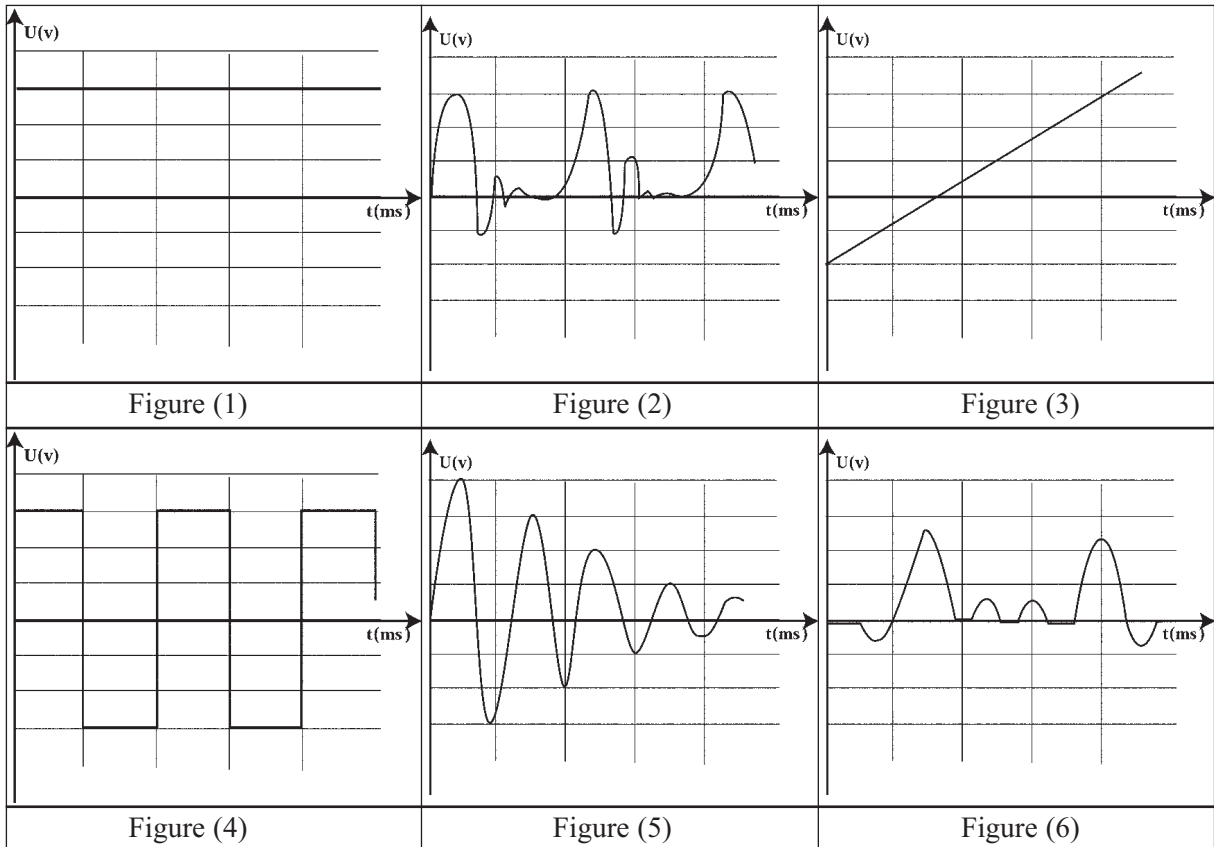
3- Donner cinq exemples de phénomènes périodiques.

## Je construis mes savoirs

### 1 Tensions continues ou tensions variables ?



Parmi les représentations graphiques de l'évolution de tensions au cours du temps suivantes, reconnaître celles qui sont continues et celles qui sont variables.



Une tension continue conserve la même valeur au cours du temps.  
Une tension variable change de valeur au cours du temps.

### 2 Une tension variable est-elle toujours périodique ?



Parmi les représentations graphiques précédentes, reconnaître celle(s) qui est (sont) périodique(s).



Une tension variable n'est pas toujours périodique.  
Une tension est périodique si son oscillogramme comporte un motif élémentaire qui se reproduit régulièrement identique à lui-même pendant des intervalles de temps égaux appelés périodes.

**La période T d'une tension périodique est le plus petit intervalle de temps au bout duquel la tension se reproduit identique à elle-même.**

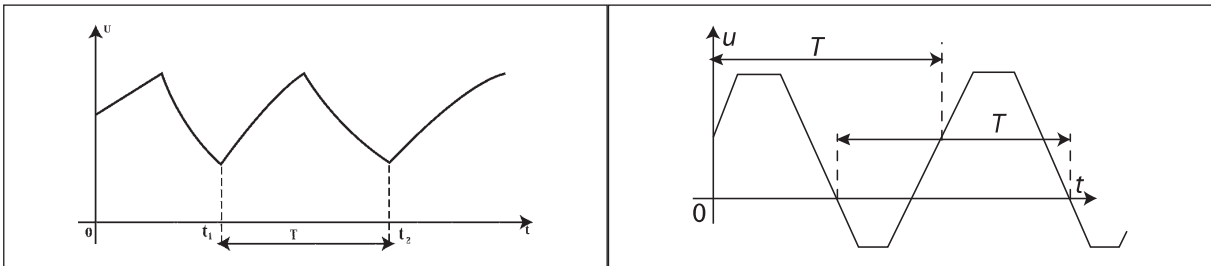
T s'exprime en secondes(s)

**La fréquence f d'une tension périodique est le nombre de périodes par seconde.**

C'est l'inverse de la période. On l'exprime en **Hertz** (symbole: **Hz**)

$$f = \frac{1}{T}$$

Exemples :



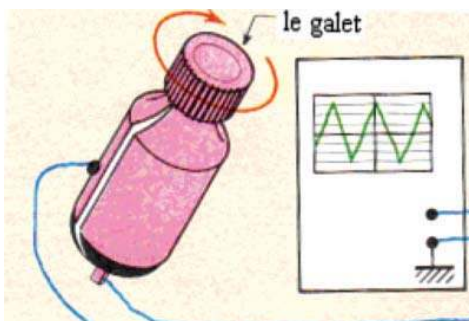
### 3 Quel type de tension est donnée par une génératrice de bicyclette ?



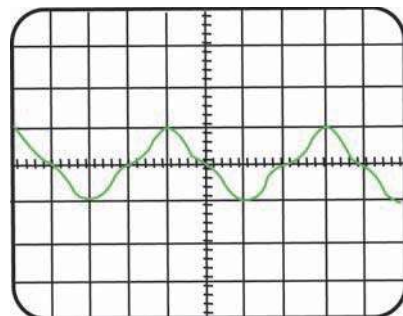
- Brancher les deux bornes d'une génératrice de bicyclette aux bornes de l'oscilloscope.
- Déclencher le balayage de l'oscilloscope.
- Faire tourner rapidement le galet de façon uniforme.



- Pour une rotation uniforme, la courbe observée se compose de parties identiques qui se répètent.
- Pendant qu'il balaie l'écran, le spot est dévié tantôt vers le haut, tantôt vers le bas (figure a).



générateur de bicyclette branché aux bornes de l'oscilloscope



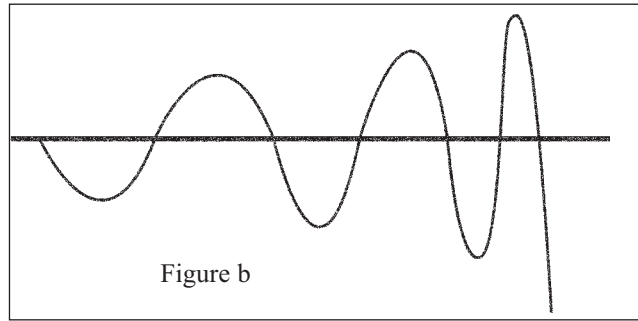
(figure a) Tension délivrée par une génératrice de bicyclette



- Faire tourner rapidement le galet de façon quelconque.



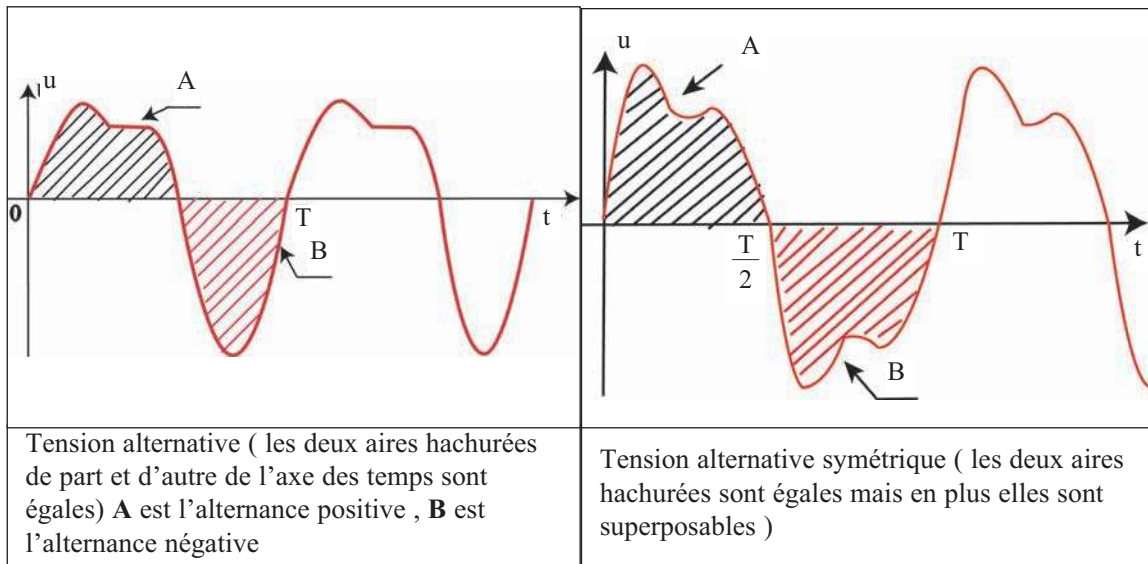
Pour une rotation quelconque, on observe l'oscillogramme donnée par la figure b.



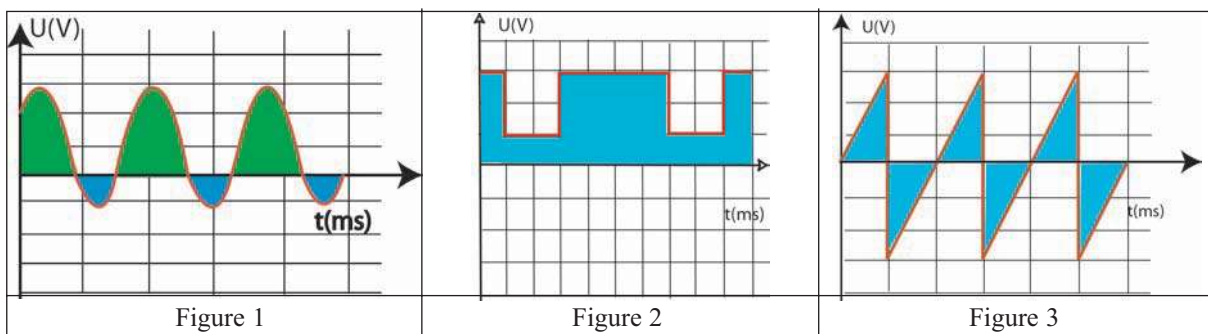
La tension fournie par une génératrice de bicyclette se compose **d'alternances positives** et **d'alternances négatives**.

Lorsque les alternances positives et négatives se compensent (l'aire d'une alternance positive est égale à celle de l'alternance négative ce qui signifie que la quantité d'électricité transportée dans un sens est égale à celle transportée dans l'autre sens), cette tension est dite **alternative**.

**Remarque :**



**Reconnaître une tension alternative :**





- Associer la phrase convenable à la figure qui lui correspond.
- a- Cette tension est alternative car elle présente une succession d'alternances positives et négatives qui se compensent.
- b- Cette tension n'est pas alternative car elle reste toujours positive.
- c- Cette tension n'est pas alternative car les alternances positives et négatives ne se compensent pas.

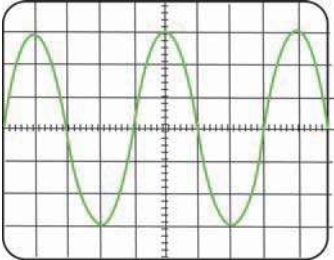
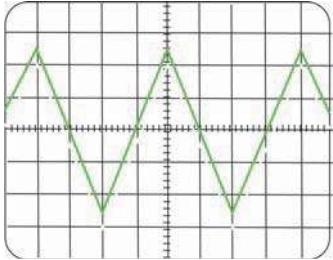
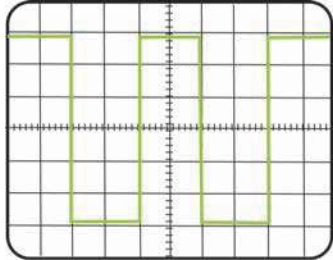
### Observons d'autres tensions alternatives



- Brancher la sortie d'un générateur basses fréquences «G.B.F» aux bornes de l'oscilloscope. Le balayage est déclenché.

Le générateur basse fréquence délivre trois type de tensions variables : une tension alternative sinusoïdale (figure-1-), une tension alternative triangulaire (figure-2-), ou une tension alternative en créneaux (figure -3-).

- Sélectionner l'allure de la tension.
- Pourquoi dit-on que ces tensions obtenues sont alternatives ?

		
figure-1-tension alternative sinusoïdale.	figure-2-tension alternative triangulaire.	figure-3-tension alternative en créneaux.



- Les courbes sont régulières et traversent alternativement la ligne centrale de l'écran.
- Elles présentent une succession d'alternances positives et négatives qui se compensent.

**Une tension alternative est une tension variable dont le signe s'inverse régulièrement au cours du temps, qui se reproduit régulièrement dans le temps (elle est périodique) et qui présente une succession d'alternances positives et négatives qui se compensent.**

## 4

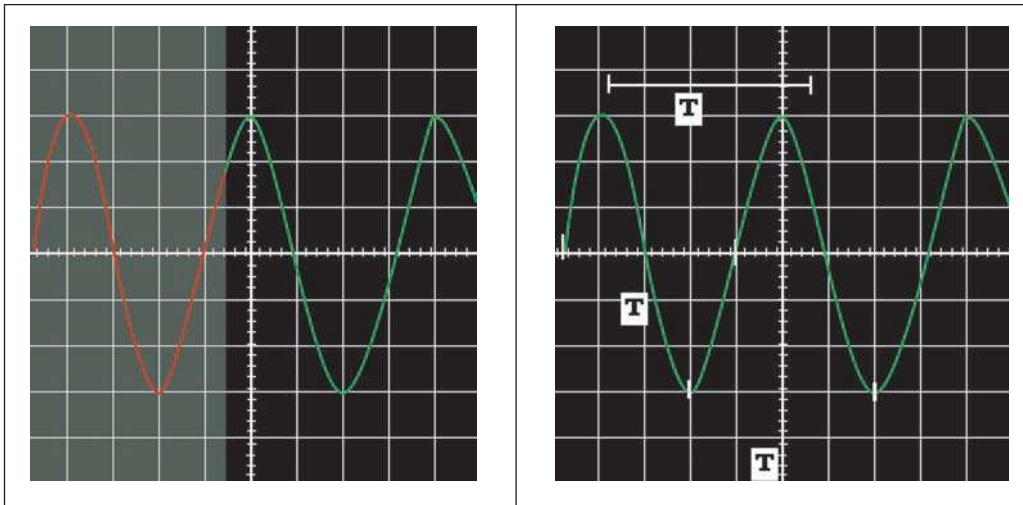
# Grandeurs caractéristiques d'une tension alternative sinusoïdale

## période et fréquence d'une tension alternative sinusoïdale



- Disposer d'un générateur de tension alternative 6 V et d'un oscilloscope.
- Régler le balayage de l'oscilloscope de manière à obtenir au moins deux périodes. Relever la valeur du calibre du balayage.
- Déterminer la période  $T$  de la tension ; en déduire la valeur de sa fréquence  $f$ .

On détermine la période en multipliant la longueur d'un motif sur l'écran (en division) par la valeur du balayage (en s/div ou en ms/div).



Sur l'oscillogramme ci-dessus, une période correspond à 4 divisions.

Si le temps de balayage est 5 ms/div, la période est  $T = 5 \text{ ms/div} \cdot 4 \text{ div} = 20 \text{ ms}$ .

### La fréquence d'une tension alternative

Si  $T = 20 \text{ ms} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ s}$ , la fréquence est  $f = \frac{1}{2 \cdot 10^{-2}} = 50 \text{ Hz}$ .

### Amplitude d'une tension alternative sinusoïdale

Une tension alternative sinusoïdale  $u$  varie entre les valeurs  $+U_m$  (valeur maximale) et  $-U_m$  (valeur minimale).

**L'amplitude  $U_m$  d'une tension alternative sinusoïdale est sa valeur maximale.**

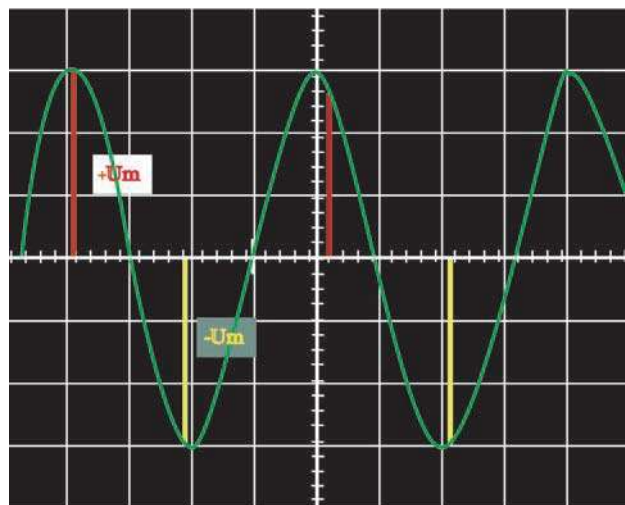
On la détermine en multipliant le déplacement vertical maximal du spot (en div) par le calibre (en V/div).

Sur la figure ci-contre, on observe une déviation maximale de 3 divisions.

Si la sensibilité verticale est 2 V/div,

la tension maximale est

$$U_m = 2 \text{ V/div} \cdot 3 \text{ div} = 6 \text{ V}.$$



## Que représente la valeur de la tension alternative figurant sur une alimentation ?



- Relier l'alimentation aux bornes de l'oscilloscope.
- Placer le multimètre en position « ~ » puis le relier aux bornes de l'alimentation.



Valeur maximale de la tension alternative ( $U_m$ )	9,6 V	17 V
Valeur lue sur le multimètre sélectionné sur la position « ~ » ( U )	6,8V	12 V
$\frac{U_m}{U}$	<b>1,41</b>	<b>1,41</b>

La tension mesurée à l'aide d'un multimètre sélectionné sur la position « ~ » est appelée valeur efficace de la tension .On la note U.

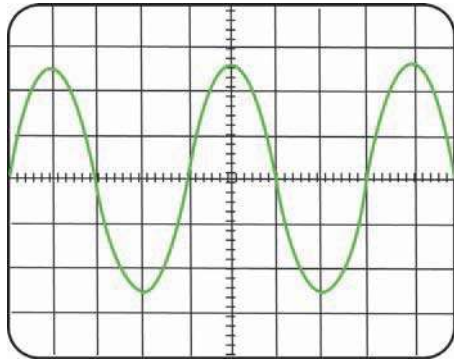
La relation qui lie la valeur efficace de la tension à la valeur maximale notée  $U_m$  d'une tension sinusoïdale est  $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$  .

**Remarque :** ce rapport n'est valable que pour une **tension sinusoïdale**.

Les voltmètres sélectionnés sur la position « ~ » sont en général adaptés aux tensions sinusoïdales et donnent la valeur efficace de la tension mesurée.

# EXERCICE RESOLU

**Enoncé :** Sur l'écran d'un oscilloscope, on visualise une tension aux bornes d'un générateur. On obtient l'oscillogramme ci-contre. La sensibilité verticale et la base de temps sont respectivement 5 V/div et 1 ms/div.



Sans tension, la ligne lumineuse horizontale est la médiane de l'écran.

1- Parmi les termes suivant, choisir ceux qui correspondent à la tension visualisée : continue ; variable ; alternative ; périodique ; alternative sinusoïdale.

2- Déterminer les valeurs maximale, minimale et celle de l'amplitude de cette tension.

3- Déterminer la période et en déduire la fréquence de cette tension.

## **Solution :**

1-La tension visualisée est variable, alternative, périodique et alternative sinusoïdale.

2-La valeur maximale correspond à 2,5 divisions, la sensibilité verticale étant 5 V/div, donc la valeur maximale de la tension est:

$$U_{\max} = 5 \times 2,5 = 12,5 \text{ V}$$

La valeur minimale de la tension est :

$$U_{\min} = -5 \times 2,5 = -12,5 \text{ V.}$$

L'amplitude est  $U_{\max} = 12,5 \text{ V}$ .

3-La période T correspond à 4 divisions sur l'axe des temps.

Chaque division correspond à 1 ms donc :

$$T = 4 \times 1 = 4\text{ms} = 4 \cdot 10^{-3}\text{s.}$$

La fréquence :

$$f = \frac{1}{T} = 250 \text{ Hz.}$$

## L' ESSENTIEL

Une tension alternative est une tension variable dont le signe s'inverse régulièrement au cours du temps, se reproduit régulièrement dans le temps (elle est périodique) et qui présente une succession d'alternances positives et négatives qui se compensent.

Une tension alternative est caractérisée par son amplitude ou tension maximale  $U_m$  et par sa période  $T$  exprimée en seconde (s).

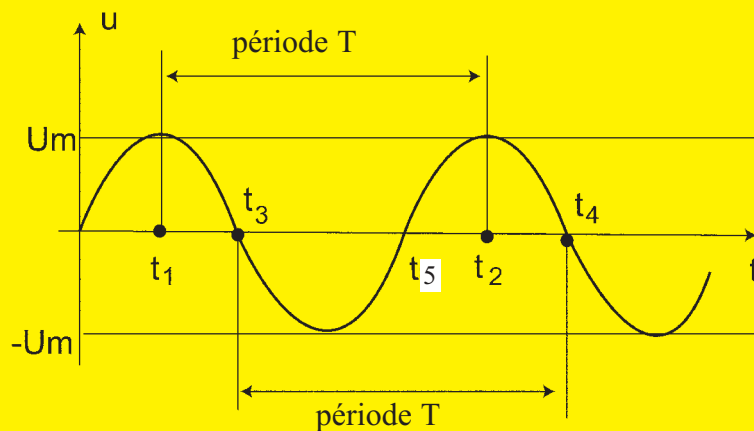
La fréquence, inverse de la période, s'exprime en **Hertz (Hz)**.

La valeur efficace  $U$  d'une tension alternative sinusoïdale est reliée à sa tension

maximale  $U_m$  par la relation  $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$

L'oscilloscope permet de visualiser les variations d'une tension au cours du temps.

Voltmètre et ampèremètre, en position « alternatif », permettent de mesurer des tensions et des intensités efficaces.



<http://f.anquez.free.fr/Pages/Elec6.htm#1> . Présentation de l'oscilloscope

<http://www.ac-bordeaux.fr/Pedagogie/Physique/Physico/Electro/e06secte.htm#tension>

<http://perso.wanadoo.fr/e-lektronik/LEKTRONIK/M3.htm#M31>

<http://www.inrp.fr/lamap/scientifique/electricite/essentiel/accueil.html>

# EXERCICES EXERCICES

## Est ce que je connais ?

**1** Je recopie les phrases suivantes en choisissant la bonne réponse.

a- La tension aux bornes d'une pile est *continue* / *alternative*. La tension du secteur est *continue* / *alternative*.

b- Une tension continue est *constante* / *variable* au cours du temps, alors que la tension alternative est *constante* / *variable* au cours du temps.

c- La fréquence de la tension du secteur en Tunisie est *60Hz/50 Hz*.

d- Un générateur fournit une tension alternative de 50 Hz qui débite dans un circuit un courant alternatif. Le courant change de *sens 50 fois par seconde* / *100 fois par seconde* / *200 fois par seconde*.

e- Les relations reliant la fréquence  $f$  d'une tension à sa période  $T$  sont :

$$f = \frac{1}{T} \quad / \quad f \cdot T = 1 \quad / \quad T = \frac{1}{f}$$

f- La période d'une tension alternative se mesure avec un *oscilloscope* / *chronomètre*.

g- La valeur efficace d'une tension alternative sinusoïdale se mesure avec un *oscilloscope* / *voltmètre*.

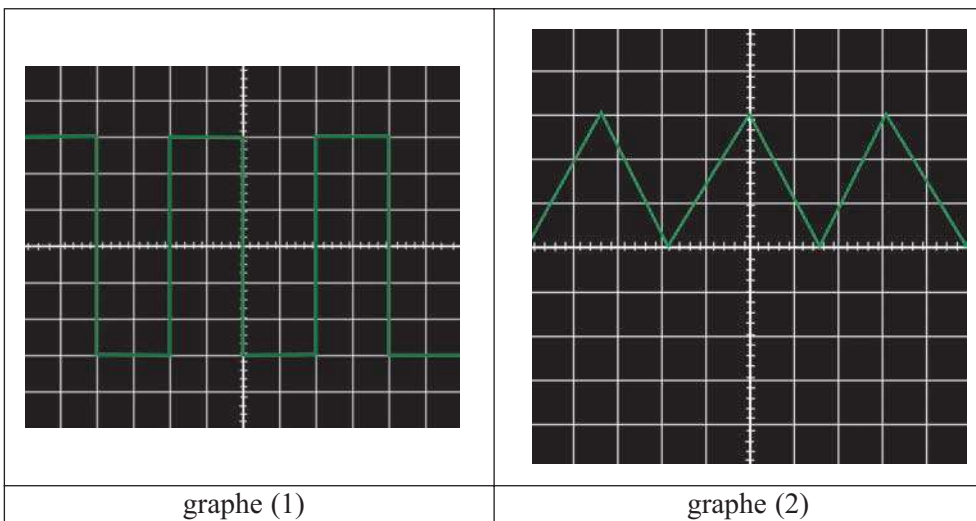
h- La relation entre les valeurs efficace  $U$  et maximale  $U_m$  d'une tension alternative

sinusoïdale est  $U_m = \frac{U}{\sqrt{2}}$  ou  $U_m = U \cdot \sqrt{2}$  .

**2** Observer les graphes 1 et 2 ci-dessous et indiquer dans chaque cas si :

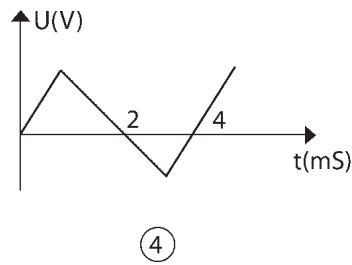
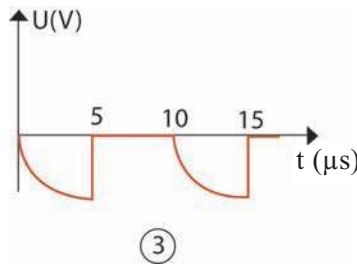
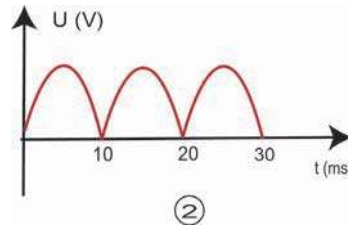
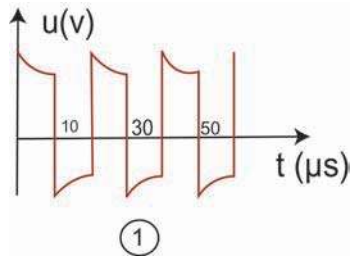
a- la tension appliquée est alternative ou continue .

b- le balayage de l'oscillographe fonctionne ou non .



## Est ce que je sais appliquer ?

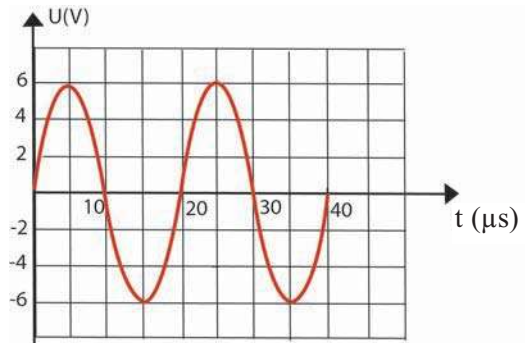
1 Déterminer la valeur de la période de la tension dans chaque cas.



2 Un générateur BF (basse fréquence) fournit une tension alternative sinusoïdale.

On donne la représentation graphique de son évolution au cours du temps.

- Déterminer la période de cette tension.
- Déterminer sa valeur maximale.
- Quelle est la valeur de la tension à  $t = 12 \mu\text{s}$  ?
- Pour quelles dates (temps) la valeur de la tension est-elle de 4 V ?



3 On visualise à l'aide d'un oscilloscope les variations d'une tension alternative sinusoïdale au cours du temps. On obtient l'oscillogramme ci-dessous.

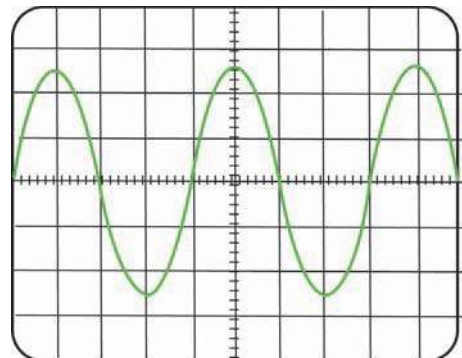
Réglages de l'oscilloscope :

Sensibilité horizontale (durée du balayage) :

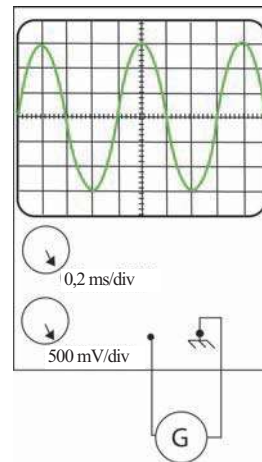
**5 ms/div**

Sensibilité verticale : **2 V/div**

- A l'aide de l'oscillogramme, déterminer la période du signal. Exprimer le résultat en millisecondes puis en secondes. En déduire la fréquence du signal.
- A l'aide de l'oscillogramme, déterminer la valeur maximale de la tension du signal et déduire sa valeur efficace.



- 4** On visualise à l'oscilloscope la tension délivrée par un générateur de tension sinusoïdale.
- 1- A combien de divisions correspond une période ?
  - 2- Calculer la période  $T$  et la fréquence  $f$  de cette tension.
  - 3- A combien de divisions correspond l'amplitude  $U_m$  de la tension ? En déduire la valeur de cette amplitude.
  - 4- Calculer la valeur efficace de la tension visualisée.

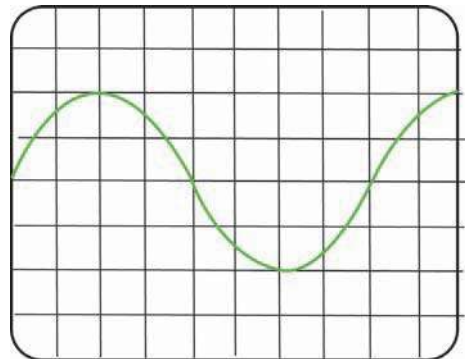


### Est ce que je sais raisonner ?

- 1** La figure représente l'oscillogramme de la tension aux bornes d'une portion de circuit électrique. L'appareil a été réglé sur une vitesse de balayage de  $2 \text{ ms/div}$  et sur une sensibilité verticale de  $2 \text{ V/div}$ .

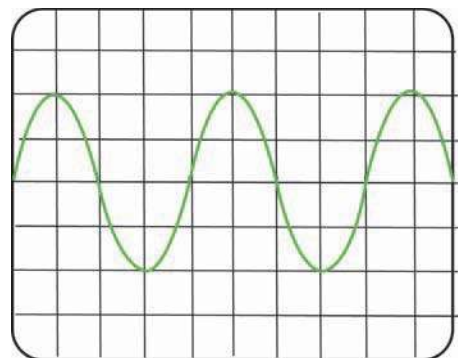
Le spot décrit la ligne horizontale médiane lorsqu' aucune tension n'est appliquée.

- a) Par quelle longueur sur l'écran une période est-elle représentée ? Quelle est la période en seconde ? En déduire la fréquence de la tension.
- b) Quelle est la longueur sur l'écran correspondant à l'amplitude ? Donner la valeur de l'amplitude en volt.
- c) On règle la sensibilité verticale sur  $1 \text{ V/div}$ . Représenter sur le schéma le nouvel oscillogramme obtenu sur l'écran.



- 2** Sur l'écran d'un oscillographe ,on observe la courbe représentant la tension entre les bornes d'une lampe alimentée par un générateur  $G$  ( voir courbe ).

- 1- Quelle est la nature de la tension délivrée par le générateur ? Donner son symbole.
- 2- Calculer la période et la fréquence de cette tension.
- 3- Combien de fois le courant change t-il de sens par seconde ?
- 4- Sur une période, après combien de temps le générateur change le signe de ses bornes.
- 5- Comment appelle t-on la tension mesurée par l'oscillographe. Déterminer sa valeur maximale.
- 6- Un voltmètre branché aux bornes de la lampe indique une valeur de  $2,85 \text{ V}$ . Comment appelle t-on cette tension mesurée par le voltmètre ?



Echelles :

1 division représente  $5 \text{ ms}$

1 division représente  $2 \text{ V}$

# Activité documentaire

## Le générateur de fonctions

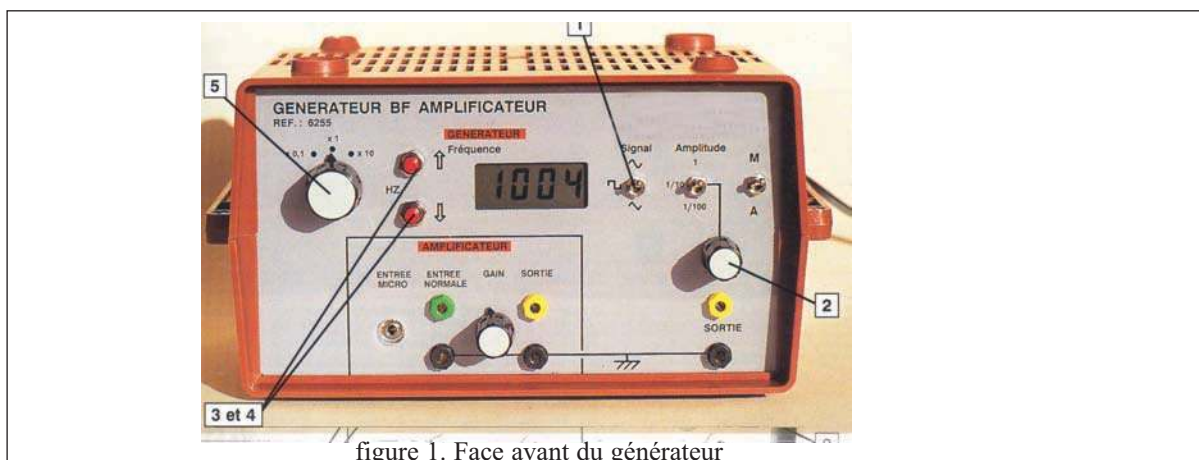


figure 1. Face avant du générateur

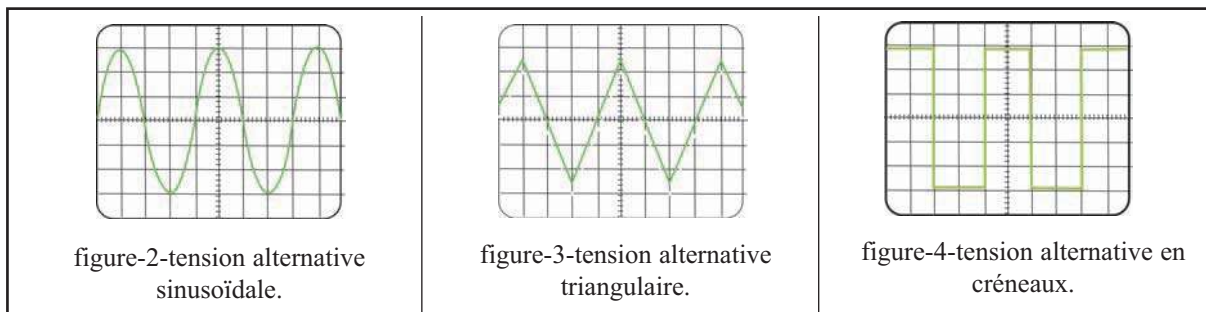
Le générateur de fonctions représenté sur la figure 1, encore appelé générateur basse fréquence ou GBF, est un appareil qui délivre à sa sortie différentes tensions alternatives. Ces tensions se distinguent par leurs allures, leurs fréquences et leurs valeurs maximales.

Sur la face avant du générateur, on distingue:

- le bouton 1 permet de sélectionner la tension alternative souhaitée :

pour une tension sinusoïdale  $\sin$ , pour une tension triangulaire  $\triangle$ , pour une tension en créneaux  $\square$ .

Ces différentes tensions sont représentées sur l'écran d'un oscilloscope (fig. 2, 3, et 4) connecté à la sortie du générateur.



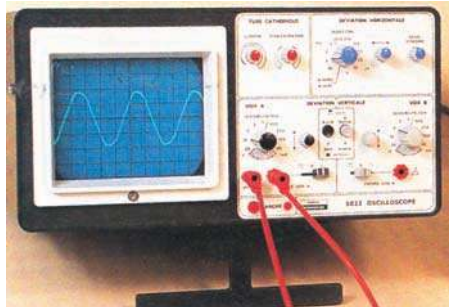
- le bouton 2 permet de régler l'amplitude ou valeur maximale de la tension ;
- les boutons 3 et 4 permettent le réglage de la fréquence de la tension;
- la valeur lue sur le cadran est à multiplier par un facteur choisi par l'utilisateur (bouton 5).

### Questions

1. Quel est le type de tension alternative sélectionnée sur le générateur de la figure 1 ?
2. Quelle est sa fréquence? Quelle est la période correspondante ?
3. La fréquence utilisée pour obtenir les figures 2, 3 et 4 est la même. Quelle est cette fréquence, sachant qu'une division sur l'écran correspond à 2 ms?
4. Quelles sont les valeurs maximales de chacune des tensions (figures 2, 3, 4) sachant que la sensibilité verticale de l'oscilloscope est dans chaque cas de 2 V/div ?

# Comment ça marche ?

## L'oscilloscope

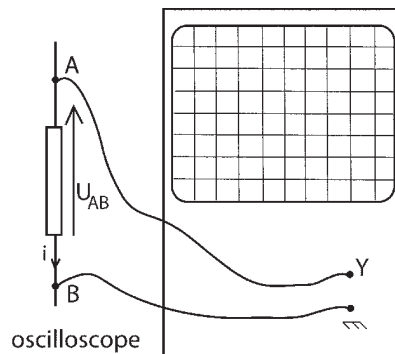


### ■ *L'oscilloscope visualise des tensions*

Lorsqu'on applique une tension entre l'une des entrées Y et la masse de l'appareil, le spot se déplace et prend une position qui dépend de la tension appliquée.

### ■ *Branchement de l'oscilloscope*

Pour visualiser la tension  $u_{AB}$ , on relie le **point A** à l'**entrée Y** et le **point B** à la **masse** et on actionne le balayage qui produit un déplacement horizontal du spot à vitesse constante.



### ■ *Réglages :*

**La sensibilité verticale  $s_v$**  fournit l'échelle sur l'axe vertical (axe de tension).

**Exemple** :  $s_v = 2V / \text{div}$  ou  $2V \cdot \text{div}^{-1}$  signifie que, sur l'axe vertical, 1 div équivaut à 2V.

si le spot se déplace d'une longueur  $y$  sous l'action d'une tension  $U$  :

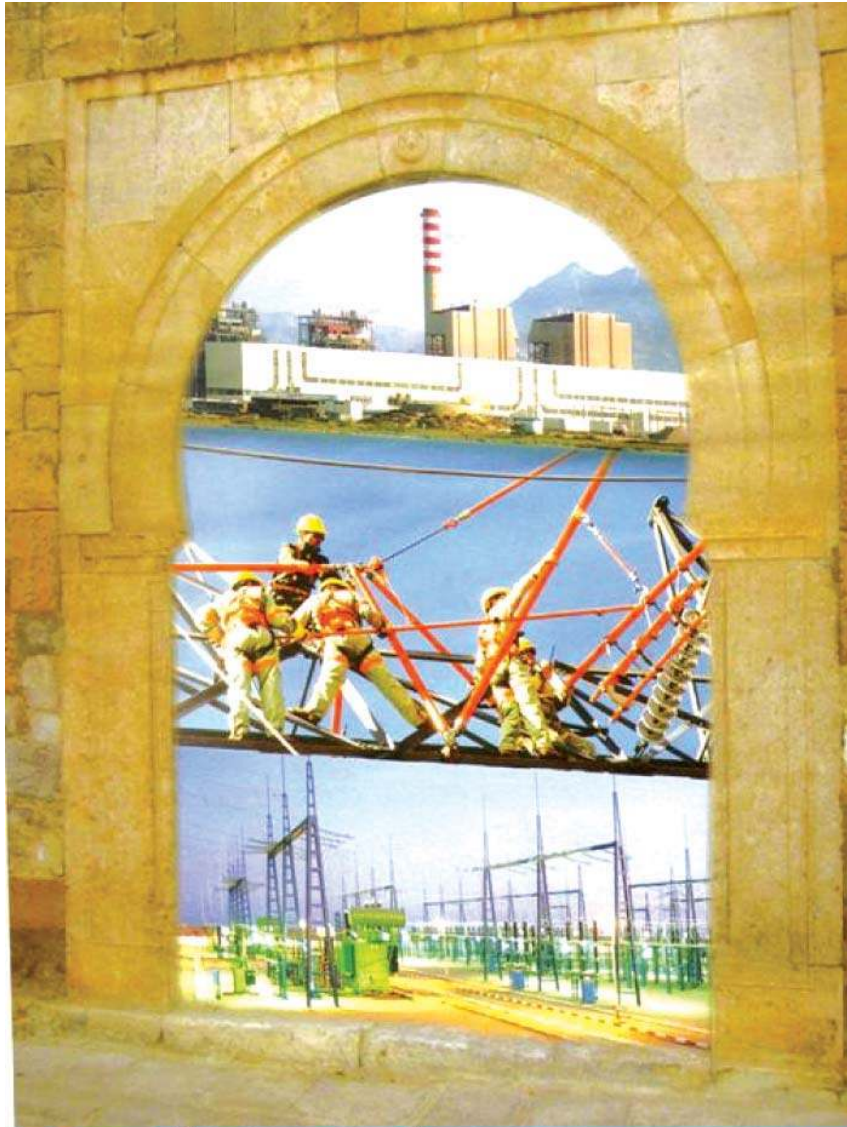
$$U = s_v \cdot y \quad s_v \text{ en } V/\text{div} \text{ ou } V \cdot \text{div}^{-1}, U \text{ en } V, y \text{ en } \text{div}$$

**La sensibilité horizontale  $s_h$**  donne l'échelle sur l'axe horizontal. On utilise aussi les expressions : sensibilité horizontale ou base de temps.

**Exemple** :  $s_h = 2\text{ms} / \text{div}$  ou  $2 \text{ms} \cdot \text{div}^{-1}$  signifie que, sur l'axe horizontal, 1 div correspond à 2 ms ou  $2 \cdot 10^{-3}\text{s}$ .

Une distance  $x$  sur l'axe horizontal (axe de temps) représente une durée  $t$  telle que :

## Le courant du secteur



Crée en 1962, la Société Tunisienne de l'Electricité et du Gaz (STEG) est une entreprise publique à caractère non administratif responsable de la production de l'électricité, du transport et de la distribution de l'électricité et du gaz naturel dans tout le pays. Depuis sa création, la STEG a pour mission essentielle l'électrification du pays, le développement du réseau de gaz et la réalisation d'une infrastructure électrique et gazière permettant un développement équilibré sur tout le territoire national.

# Le courant du secteur

## Je dois être capable :

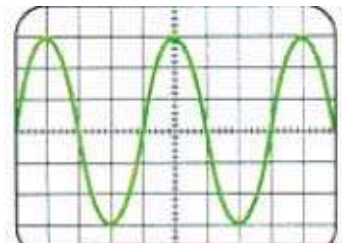
- ❖ de donner les grandeurs caractéristiques de la tension du secteur.
- ❖ de reconnaître les dangers du courant du secteur et appliquer les règles de sécurité.

## Je dois d'abord tester mes acquis :

- 1- Que veut dire tension alternative ?
- 2- Chercher dans le dictionnaire la signification du mot "électrocution".
- 3- Pour connaître la valeur d'une tension à chaque instant, doit-on utiliser un voltmètre ou un oscilloscope ?
- 4- Je recopie le tableau et je le complète.

Période T	Fréquence f
200 ms	
	50 Hz
2 s	
	220 Hz

- 5- Par quoi est caractérisée une tension alternative sinusoïdale ?
- 6- Sur l'écran d'un oscilloscope, on observe l'oscillogramme suivant :  
Réglages de l'oscilloscope : 5V/div et 2 ms/div.



- a- Donner la période de cette tension et déterminer sa fréquence.
- b- Déterminer les valeurs maximale et efficace de cette tension.

## Je construis mes savoirs

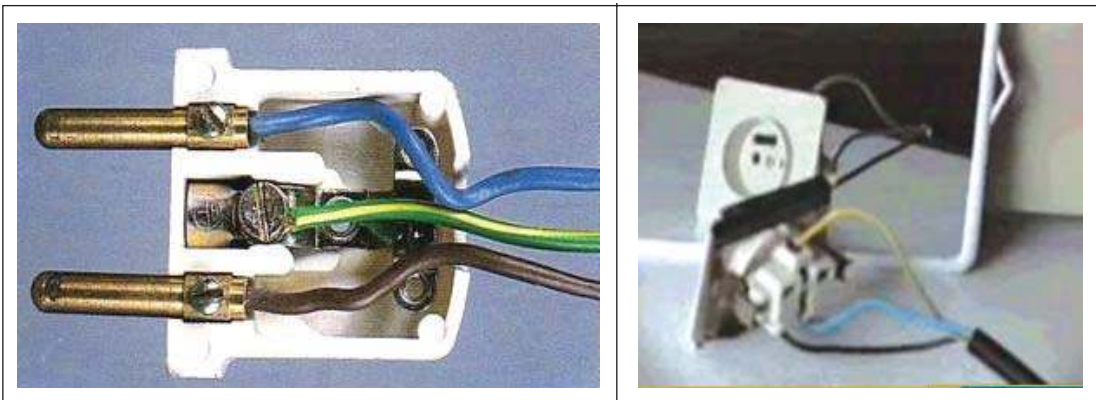
### 1 Quelles sont les grandeurs qui caractérisent la tension du secteur ?

La tension du secteur fournie par la S.T.E.G est une tension alternative sinusoïdale de valeur efficace 220 V et de fréquence 50Hz.

#### Remarque :

Cette tension est trop élevée pour être observée directement avec un oscilloscope.

### 2 Pourquoi utilise-t-on dans les installations électriques domestiques des fils avec des gaines isolantes de couleurs différentes ?



Les bornes d'une prise sont reliées généralement à 3 fils conducteurs entourés de gaines isolantes colorées différemment.

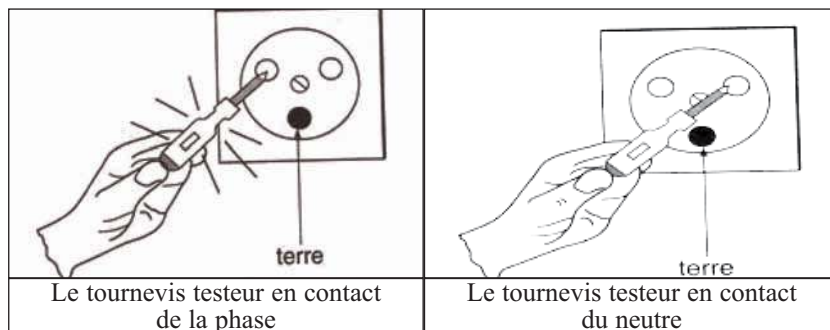
La couleur marron ou rouge est réservée à la gaine du fil relié à **la phase**.

La couleur bleue est réservée à la gaine du fil relié au **neutre**.

La couleur verte et jaune est réservée à la gaine du fil relié à **la terre**.

#### Quelle différence y a-t-il entre le fil de phase et le fil neutre ?

- Introduire, en touchant avec un doigt la partie métallique de son manche, la lame d'un tournevis testeur (comportant dans le manche une lampe) dans chacune des bornes femelles d'une prise de courant.





La lampe du tournevis s'allume en contact d'une seule borne ; c'est la borne **phase**.

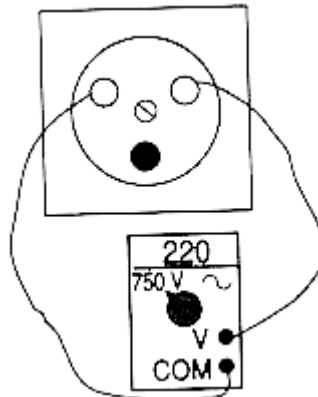
La lampe du tournevis reste éteinte en contact de la deuxième borne : c'est la borne **neutre** de l'installation .



Les bornes femelles d'une prise ne sont pas identiques du point de vu électrique.



Brancher un voltmètre entre les bornes phase et neutre.



Le voltmètre indique une valeur de la tension proche de 220 V, il s'agit de la valeur efficace de la tension du secteur.

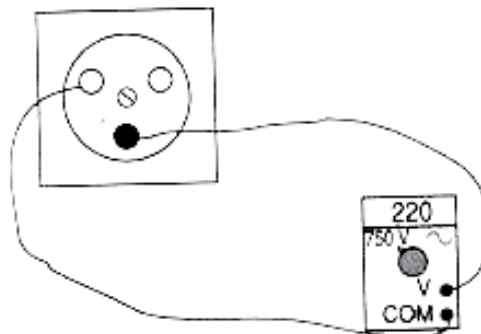
Les bornes phase et neutre maintiennent entre-elles une tension alternative sinusoïdale de valeur efficace 220V et permettent le fonctionnement des appareils électriques.

**Quel est le rôle de la fiche mâle ou « prise de terre » ?**



La prise de terre est reliée par un conducteur métallique enfoui dans le sol. Elle est appelée « terre » et est symbolisée par le symbole  $\perp$

- Brancher un voltmètre entre la « phase » et la « terre ».





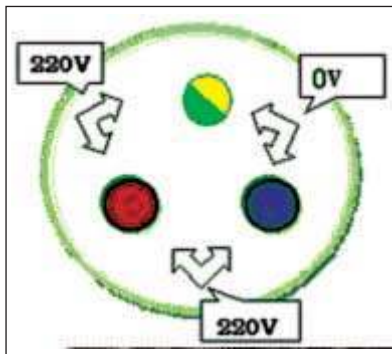
Un voltmètre branché entre la phase et la terre indique également une valeur efficace égale à 220 V.



Brancher un voltmètre entre le neutre et la terre.



Un voltmètre branché entre le neutre et la terre indique une valeur efficace nulle.



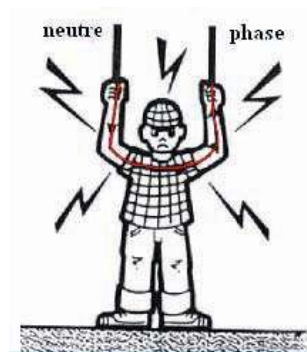
la tension efficace entre **la phase et le neutre** ou **la phase et la terre** est de 220V. On peut repérer la phase d'une prise avec un tournevis-testeur.

Il n'existe pas de tension entre la terre et le neutre.  
**Tout contact avec le fil de phase est très dangereux**

### 3 Quels sont les dangers du courant du secteur ?

Quels risques pour les personnes ?

#### L'électrocution



Le corps humain est conducteur et peut être parcouru par un courant électrique. Si une personne touche accidentellement la phase et le neutre, elle peut être électrocutée et risque de mourir si elle n'est pas secourue d'urgence.

Si un individu touche la phase en étant au contact d'un sol conducteur (ciment, terre, carrelage...) il s'électrocuté également.

L'électrocution est un choc électrique entraînant un effet physique ressenti lors du passage du courant électrique dans le corps.

*On ressent le courant à partir de 5 mA appelée seuil de sensibilité.*

*A 10 mA : limite du non lâcher : tétanisation des mains ( crispations )*

*A 15 mA : brûlures de la peau , brûlures internes ( douleurs )*

*A 20 mA : contraction des muscles respiratoires ( risque d'asphyxie )*

*A 30 mA : risque important de fibrillation cardiaque ( le coeur bat anormalement )*

*Sous une tension de 220 V ,au-dessus de 30 mA : fibrillation du coeur et arrêt des battements cardiaques. Si un courant d'intensité supérieure à 30 mA passe à travers le corps humain pendant quelques secondes, il entraîne la mort.*

### Quels dangers pour l'installation ?

- Si le nombre d'appareils fonctionnant est important, l'intensité du courant électrique augmente dans une ligne et les fils s'échauffent, pouvant provoquer un incendie.
- S'il y a contact direct entre :
  - le fil de phase et le neutre,
  - le fil de phase et la terre,un court-circuit se produit. L'intensité du courant augmente considérablement. Il en résulte un échauffement des conducteurs pouvant entraîner un incendie.

### Comment se protéger et protéger une installation ou un appareil électrique des dangers du courant du secteur?

#### Pour se protéger, on utilise :

- des gaines isolantes en matière plastique entourant les fils ;
- des fusibles (10 A pour les lignes d'éclairage) coupant le courant en cas de surintensité;
- des disjoncteurs qui servent d'interrupteurs et qui coupent le courant en cas de surintensité ; ils peuvent être réarmés ensuite (le courant est alors rétabli) ;
- des prises de terre et un disjoncteur différentiel : lorsque la carcasse métallique d'un appareil entre en contact avec le fil de phase, un courant rejoint le sol par la prise de terre (courant de fuite). Si l'intensité de ce courant de fuite atteint 30 mA, le disjoncteur différentiel coupe le circuit et protège ainsi toute personne qui toucherait la carcasse métallique de l'appareil. Pour éviter l'électrocution par contact indirect avec le fil de phase, on relie à la terre les parties métalliques des appareils électriques et on installe après le compteur un disjoncteur différentiel dont la fonction est de couper le circuit dès que du courant passe dans le sol.

## ***L' ESSENTIEL***

La tension du secteur fournie par la S.T.E.G est une tension alternative sinusoïdale de valeur efficace 220 V et de fréquence 50Hz.

La plupart des prises de courant comportent une borne phase, une borne neutre et une fiche terre.

La tension du secteur est dangereuse et elle peut être mortelle.

L'électrocution et l'incendie sont les deux dangers du courant du secteur.

Le disjoncteur différentiel détecte une différence d'intensité entre la phase et le neutre.



[www.steg.com.tn](http://www.steg.com.tn)

[http://www.cchst.ca/reponsesst/safety\\_haz/electrical.html#\\_1\\_2](http://www.cchst.ca/reponsesst/safety_haz/electrical.html#_1_2)

<http://www.inrp.fr/lamap/scientifique/electricite/savoir/accueil.html>

<http://www.ac->

[bordeaux.fr/Pedagogie/Physique/Physico/Electro/e06secte.htm#tension](http://www.ac-bordeaux.fr/Pedagogie/Physique/Physico/Electro/e06secte.htm#tension)

# EXERCICES EXERCICES

## Est-ce que je connais ?

- 1** Je recopie les phrases suivantes en les complétant :
- a- La tension du secteur est une tension ..... de valeur efficace ..... V.
  - b- Les deux bornes femelles des prises sont appelées la ..... et le .....
  - c- La broche mâle est appelée .....
  - d- La tension du secteur est dangereuse et elle peut être .....
  - e- L'.....et l'..... sont les deux dangers de la tension du secteur.
- 2** Je recopie les phrases suivantes en choisissant la bonne réponse :
- a- La broche mâle d'une prise est *la terre / le neutre*.
  - b- La borne phase *est / n'est pas* dangereuse.
  - c- Entre la phase et le neutre la tension efficace est de  $0\text{ V} / 220\text{V}$ .
  - d- Entre le neutre et la terre , la tension efficace est  $0\text{ V} / 220\text{ V}$ .
- 3** Reproduire le tableau suivant et relier les bonnes réponses entre elles :

* Elle est reliée à la terre	le disjoncteur
* Il coupe le circuit général	la phase
* Il y a 220 V entre le neutre et .....	l'incendie
* C'est un des dangers du courant électrique	la prise de terre

- 4** Indiquer deux cas possibles d'électrocution.
- 5** Décrire la fonction d'un disjoncteur différentiel et celle d'un disjoncteur ordinaire.

## Est-ce que je sais appliquer ?

- 1** Expliquer
- a- Dans quelles circonstances on peut s'électrocuter en ne touchant qu'un seul des deux fils du secteur ? Expliquer pourquoi.
  - b- Pourquoi il peut être dangereux de manipuler un appareil électrique lorsqu'on se trouve dans un local humide ou, pire, dans son bain?

- a- Un disjoncteur différentiel porte l'inscription 500 mA et l'installation ne comporte aucune mise à la terre. La sécurité des personnes est-elle assurée?
- b- En l'absence de disjoncteur différentiel, la seule mise à la terre des appareils électriques assure-t-elle la sécurité des usagers?

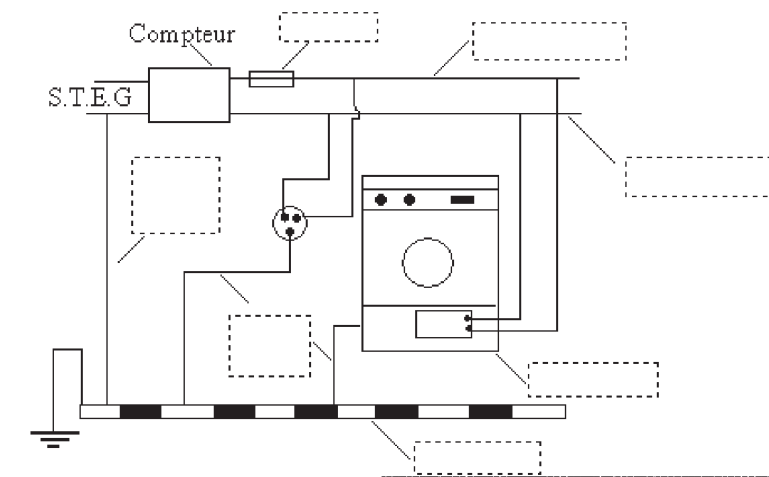
- 3**
- a- A partir de quelle valeur l'intensité d'un courant alternatif qui traverse le corps présente-t-elle un danger mortel ?
  - b- A partir de quelle valeur une tension alternative est-elle dangereuse?

- 4** Sur lequel des deux fils d'une installation doit être placé le coupe-circuit à fusible? Pourquoi?

- 5** Dire ce qui, dans leur montage, distingue le fil de phase du fil neutre ?

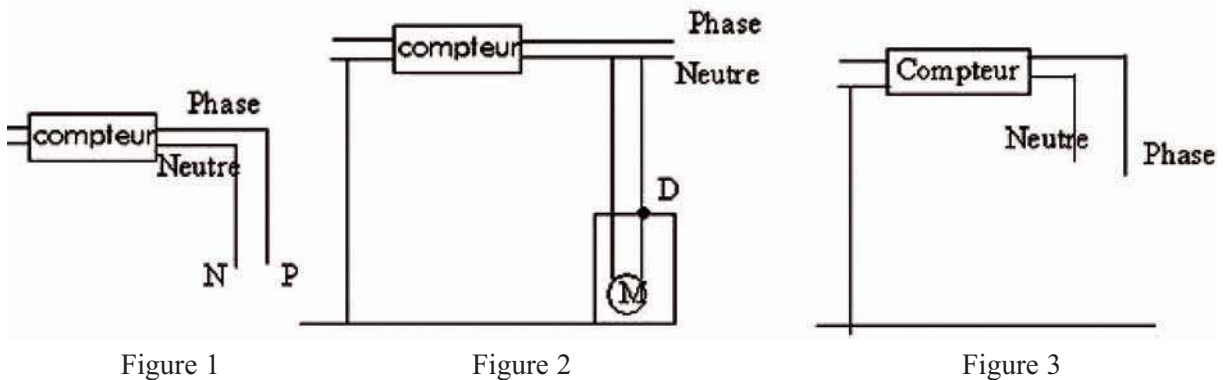
- 6** Le courant dans votre maison est brusquement coupé. Comment pouvez-vous savoir si ce fait est dû à une panne dans votre installation ou à une coupure du courant effectuée par la STEG ?

- 7** Copier le schéma puis replacer les légendes suivantes dans les encadrés du schéma ci-dessous: *fil de phase, fil de neutre, fusible, neutre mis à la terre, châssis, terre, prise de terre.*



- 8**
- a- Décrire les trois cas d'électrocution possibles d'un utilisateur. Associer chacun de ces cas à l'un des schémas ci-dessous.
  - b- Calculer l'intensité  $I$  du courant qui traverse le corps humain quand l'utilisateur est soumis à la tension du secteur. Conclure.
- On admet que la résistance du corps humain est de l'ordre de  $2500 \Omega$ . Or, en courant électrique alternatif, l'intensité maximale supportable sans danger pour le corps

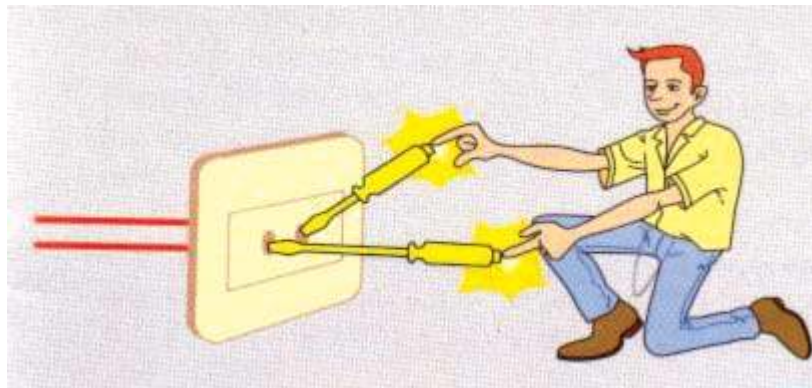
humain est de 10 mA, pendant 30 s au plus. On peut d'ailleurs noter qu'avec cette norme (10 mA), la tension maximale supportable par l'être humain n'est que de 25 V.



### Est-ce que je sais raisonner ?

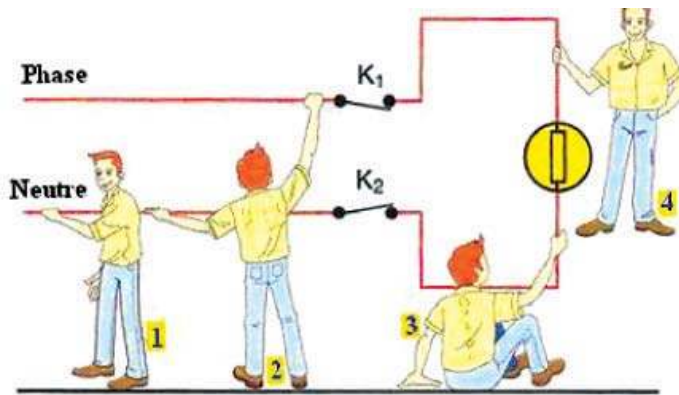
**1** La fiche du cordon d'alimentation de votre réfrigérateur est cassée, vous devez la changer. Comment reconnaissez-vous le fil de terre avant d'effectuer la réparation ? Si les trois fils étaient identiques, comment ferait un électricien pour reconnaître le fil de terre ? Il dispose pour cela d'une pile, d'une lampe et de deux fils.

**2** Une personne réalise l'expérience relatée par la figure ci-dessous. Elle voit les deux lampes témoins des testeurs s'allumer. Elle affirme qu'il y a deux phases à la prise. Qu'en pensez vous? Quel est le trajet du courant?



**3** Des personnes imprudentes travaillent sur l'installation électrique de la maison.

- Quelles sont les personnes en danger d'électrocution ?
- Si l'interrupteur  $K_1$  était seul ouvert, les mêmes personnes seraient-elles en danger ?
- Même question si l'interrupteur  $K_2$  était seul ouvert.
- Sur quel fil doit-on monter l'interrupteur ?



### Suis je capable :

#### ❖ d'observer à la maison ?

Toutes les prises de courant de votre maison ne sont pas identiques : certaines possèdent une prise de terre , d'autres pas .

Quels sont les appareils alimentés par ces différentes prises ?

Dans quelles pièces de la maison se trouvent-elles ? Pourquoi ?

#### ❖ de secourir ?



Sur les poteaux supportant les lignes électriques, des panneaux rappellent le danger encouru en cas d'accident .Quelles précautions faut-il prendre si l'accidenté est encore en contact avec les fils électriques? Pourquoi pratique-t-on la respiration artificielle?

#### ❖ d' être responsable ?

Au cours d'un orage, un poteau électrique a été cassé. Les fils électriques traînent par terre. Sarra ,Faten et Zied se promènent. Sarra met le pied sur l'un des fils ; il ne se passe rien. Zied dit : « Je vais marcher sur l'autre fil pour voir ». Faten intervient :

**Ne fais surtout pas ça !**

Faten a-t-elle raison ?

**ATTENTION**

**Surtout , si tu trouves un fil électrique à terre , ne cherche pas à le toucher.**

## SÉCURITÉ ET PROTECTION

### I. Règles de sécurité :

- Il ne faut jamais débrancher un appareil électrique en tirant sur le cordon d'alimentation. Il faut saisir la fiche mâle pour la retirer de la prise murale femelle (socle de prise). Il faut débrancher les appareils avant de les nettoyer.
- Il ne faut jamais toucher un appareil électrique, un interrupteur, une prise de courant avec des mains mouillées et, a fortiori, en prenant un bain ou une douche.
- Il faut éviter d'utiliser un téléphone (48 V continu) ou un sèche-cheveux avec des mains mouillées ou en prenant un bain.
- Il vaut mieux éviter d'employer des rallonges (de trop faible section pour l'appareil à alimenter ou sans prise de terre) et de surcharger des fiches multiples.
- Il faut remplacer un fusible fondu par un fusible de même type.
- Il faut remplacer les douilles métalliques dans les locaux humides (salle de bain, cuisine) par des douilles en plastique.
- Il est nécessaire de repérer les canalisations électriques encastrées avant de percer un mur ou un plafond.

### 2. Protection de l'installation :

Le disjoncteur coupe le courant de l'ensemble de l'installation quand l'intensité atteint une limite dépendant du contrat de l'abonné (par exemple, 10 A ou 30 A).

La prise de terre est un conducteur de protection qui permet d'écouler le courant de fuite vers la terre. Ce courant est détecté par un disjoncteur différentiel.

Lorsqu'il est placé en tête de l'installation, un disjoncteur différentiel assure donc plusieurs fonctions :

- détecter les courts-circuits ;
- détecter la présence de courant de fuite vers la terre ;
- veiller à ce que la puissance utilisée ne dépasse pas celle de l'abonnement souscrit. Grâce à la prise de terre, la carcasse métallique d'un appareil électrique est reliée à la terre. Si un contact accidentel apparaît entre un fil de phase dénudé et le métal de l'appareil, le courant se partage entre le neutre et le fil de terre (courant de fuite).

### A EVITER



# Activité documentaire

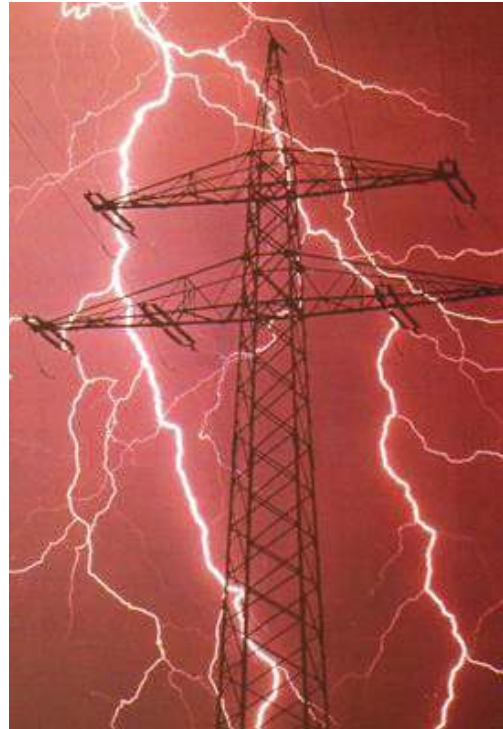
## Pourquoi le neutre est-il à la terre?

Les transformateurs STEG qui alimentent votre quartier ont le fil de neutre relié à la terre. Si tel n'était pas le cas, les risques d'électrocution entre la phase et la terre seraient inexistantes et la mise à la terre de votre installation domestique ne serait plus nécessaire. Pourquoi donc a-t-on décidé de mettre le neutre à la terre?

La protection des lignes électriques est l'une des raisons de ce choix: si la foudre s'abat sur les fils électriques, il faut permettre aux charges électriques de s'écouler dans le sol.

### Réaliser une bonne prise de terre

Il ne suffit pas d'enfoncer un piquet métallique à une profondeur de deux mètres pour avoir une bonne prise de terre. La qualité d'une prise de terre dépend en effet de ses dimensions, de sa forme et du terrain dans lequel elle est implantée. Certains terrains comme les calcaires sont plus résistants et diffusent moins bien les courants reçus que d'autres (argiles, tourbes, marne). Il est donc important de mesurer la résistance de la prise de terre, dont la valeur maximale permise dépend de la sensibilité du disjoncteur différentiel.



La foudre un danger pour les lignes électriques

Avec un dispositif différentiel de :	Valeur maximale de la résistance de la prise de terre
650 mA	38 $\Omega$
500 mA	50 $\Omega$
300 mA	83 $\Omega$
30 mA	830 $\Omega$

### Questions

1. Citer la raison pour laquelle le neutre est mis à la terre.
2. A partir des indications du texte, comment réaliser pratiquement une bonne prise de terre?
3. Utiliser le tableau pour calculer dans chaque cas la tension maximale aux bornes de la prise de terre. Comparer-la à la valeur de la tension considérée comme dangereuse pour le corps humain. Expliquer le choix de ces valeurs maximales.

## LECTURE

### Traitement d'urgence d'un accidenté électrique

La forme la plus grave du choc électrique est la perte de connaissance et l'état de mort apparente. L'état de mort apparente peut être dû à l'arrêt de fonctionnement des muscles respiratoires (tétanisation) avec ou sans arrêt du cœur (fibrillation). Si l'arrêt du cœur excède quatre minutes, c'est la mort cérébrale, irréversible.

Le témoin d'un accident électrique doit donc agir très vite et sans affolement.

- Soustraire d'abord la victime à l'effet du courant, sans la toucher, car le sauveteur pourrait être aussi électrocuté : couper le courant au disjoncteur ou arracher le cordon d'alimentation de l'appareil.

- Faire prévenir aussitôt les secours (pompiers, police secours, médecin...).

- Procéder immédiatement à une réanimation respiratoire d'urgence en attendant les secours. La méthode du « bouche-à-bouche » est préconisée.

Un médecin ou un secouriste diplômé peuvent procéder à un massage cardiaque externe si le cœur de la victime est arrêté.

Un deuxième temps, il faut prévenir les secours, puis revenir auprès de la victime.

#### **Réanimation respiratoire**

*Préparation : dégager les voies respiratoires, soulever la nuque, basculer la tête en arrière et amener le menton en avant.*



**1. Inspiration forcée du sauveteur et expiration de la victime.**



**2. Insufflation de l'air du sauveteur dans les poumons de la victime. Le sauveteur bouche le nez de la victime. Insuffler de 12 à 15 fois par minute.**



# DOCUMENTATION

## Le monde change , la STEG évolue.

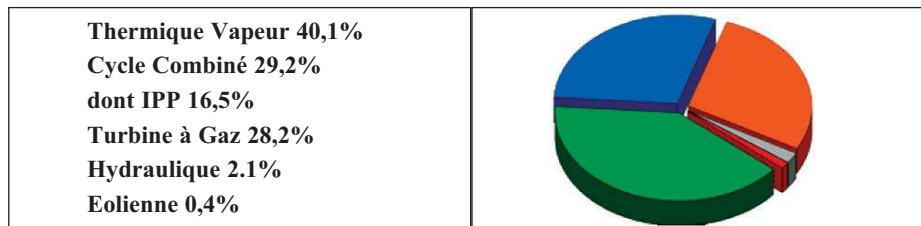
L'objectif principal de la STEG est de pourvoir le marché national en énergies électrique et gazière et de répondre aux besoins de développement du pays.

### **Produire Transporter Distribuer**

#### **Produire**

La STEG dispose d'un parc de production diversifié réparti en une vingtaine de centrales et composé de turbines à gaz, turbines à vapeur, cycles combinés, turbines hydrauliques et éoliennes. Les choix technologiques sont basés sur la recherche du meilleur compromis entre les exigences de fiabilité, de disponibilité, de moindre coût et de respect de l'environnement.

Energie propre, permettant l'adoption des technologies les plus performantes telles que le cycle combiné, le gaz naturel occupe une place prépondérante dans la production d'énergie électrique.



Toujours dans l'objectif de contribuer à préserver l'environnement, la STEG a intégré l'éolien parmi ses choix. Ainsi, une première centrale de 20 MW a été mise en service à partir de 2000 à Sidi Daoud au Nord-Est du pays. En outre, une deuxième centrale est prévue au cours du dixième plan national.

#### **Transporter**

Le réseau national de transport est exploité par la STEG. Il comporte une cinquantaine de postes HT et près de 4500 km de lignes HT.

Afin de réduire l'indisponibilité des ouvrages, la STEG a introduit les travaux sous tension sur le réseau HT et les techniques numériques dans le système de protection des lignes HT.

#### **Interconnexion**

Le réseau de transport de la STEG est interconnecté avec celui de l'Europe, via les réseaux algérien et marocain. L'interconnexion avec la Libye, déjà achevée, permettra d'étendre la zone de synchronisme aux pays du Machrek jusqu'à la Syrie, via la Libye, l'Egypte et la Jordanie.

#### **Perspectives de développement**

L'ampleur attendue de l'ouverture du marché de l'électricité au cours de la présente décennie justifiera la construction de couloirs de transport de grande capacité entre les réseaux des pays voisins de la Tunisie.

Une étude de faisabilité d'un axe de transport, depuis l'Egypte jusqu'au Maroc, a été déjà lancée dans le but de déterminer les renforcements nécessaires pour assurer un transit maximal.

La liaison entre la Tunisie et l'Italie est à l'étude. Elle viendrait renforcer la boucle méditerranéenne et permettrait la constitution d'un marché régional d'électricité.

#### **Distribuer**

La STEG exploite actuellement un réseau de près de 120.000 km de lignes moyenne et basse tensions.

#### **La STEG présente partout en Tunisie**

La STEG alimente près de **2,5** millions de clients : domestiques, professionnels, industriels, agricoles, administratifs. Elle entretient les relations avec ses clients à travers **34** districts et **79** agences. Le taux d'électrification global (urbain et rural) du pays est de **96%**. Les ventes

# Adaptation : le transformateur



Les lignes électriques transportent l'énergie électrique sous des tensions comprises entre plusieurs dizaines et plusieurs centaines de kilovolts. Pourquoi cette tension est elle élevée ? Quels appareils faut-il utiliser pour que la tension prenne une valeur convenable à l'usage domestique ?

# Adaptation : le transformateur

## Je dois être capable :

- ❖ d'utiliser à bon escient un transformateur .
- ❖ de calculer le rapport en tension et celui en intensité d'un transformateur.

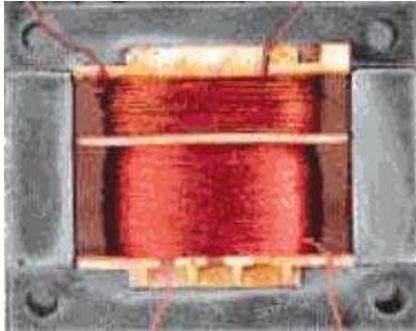
## Je dois d'abord tester mes acquis :

Je choisis et je recopie la ou (les) bonne(s) réponse(s) :

- 1- En courant alternatif, un voltmètre mesure :
  - la tension maximale.
  - la tension efficace.
  - la tension moyenne.
- 2- En courant alternatif, un ampèremètre mesure :
  - l'intensité maximale.
  - l'intensité efficace.
  - l'intensité moyenne.
- 3- la fréquence  $f$  du courant électrique distribué par la STEG est égale à :
  - 100Hz.
  - 50Hz.
  - 60Hz.
  - 220Hz.
- 4- La tension du secteur est de valeur efficace :
  - 311V.
  - 50V.
  - 155V.
  - 220V.

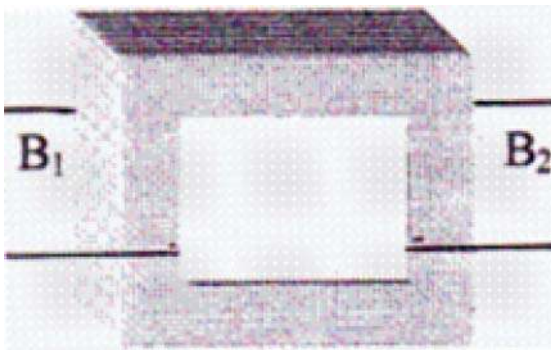
## Je construis mes savoirs

### 1 Observons le transformateur :



Le transformateur est constitué de **deux enroulements** indépendants de fil de cuivre autour d'une carcasse métallique feuilletée :

- un enroulement dit **primaire** comportant  $N_1$  spires constituant un premier dipôle ;
- un enroulement dit **secondaire** comportant  $N_2$  spires constituant un deuxième dipôle.



$B_1$  enroulement primaire (formé de  $N_1$  spires)

$B_2$  enroulement secondaire (formé de  $N_2$  spires)

Un transformateur comporte quatre bornes ; deux bornes d'entrée et deux bornes de sortie. Un tel composant électrique est appelé **quadripôle**.

### Symbole d'un transformateur

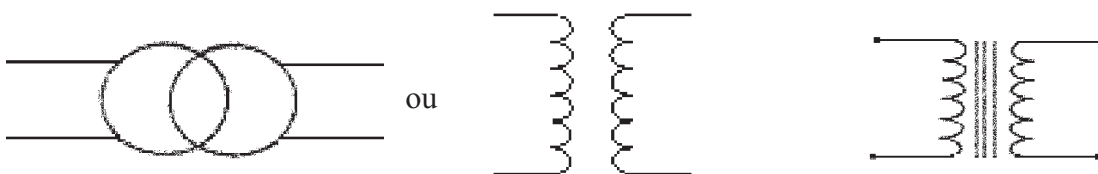


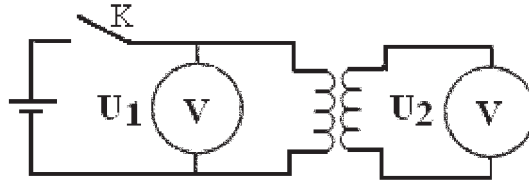
Schéma normalisée

Schéma non normalisée

## 2 Rôle du transformateur



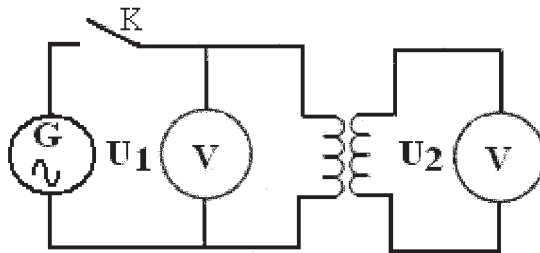
- Réaliser le montage de la figure ci dessous avec une pile 4,5V .
- Mesurer les tensions  $U_1$  et  $U_2$  aux bornes des enroulements primaire et secondaire.



Un transformateur ne délivre pas une tension aux bornes du secondaire si la tension aux bornes du primaire est continue.



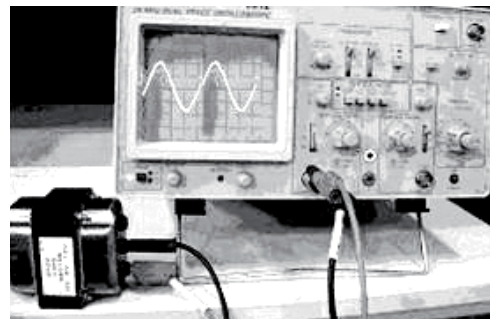
- Utiliser maintenant un générateur délivrant une tension alternative.
- Mesurer les valeurs des tensions  $U_1$  et  $U_2$  aux bornes des enroulements primaire et secondaire.



Un transformateur délivre une tension aux bornes du secondaire si la tension aux bornes du primaire est alternative.



- Alimenter le primaire d'un transformateur par une tension alternative de fréquence donnée.
- Brancher l'oscilloscope successivement aux bornes du primaire puis aux bornes du secondaire.
- Comparer la forme et la fréquence de la tension appliquée aux bornes du primaire à celles du secondaire.





- La tension aux bornes de l'enroulement secondaire garde la même forme que celle du primaire.
- La période de la tension observée sur l'oscillogramme du secondaire est la même que celle de la tension observée sur l'oscillogramme du primaire.

La tension appliquée aux bornes du primaire d'un transformateur doit être alternative. Un transformateur ne modifie ni la forme ni la fréquence d'une tension.



- Appliquer une tension alternative de 12V aux bornes du primaire et mesurer la tension aux bornes du secondaire.
- Permuter le primaire et le secondaire, si cette opération est permise, et mesurer de nouveau la tension aux bornes du secondaire.

**Attention :** Prendre les précautions nécessaires avant de permuter le primaire et le secondaire lors de l'utilisation du transformateur pour ne pas le détériorer ou risquer un danger.

- Compléter le tableau suivant :

Enroulement primaire	Enroulement Secondaire	Enroulement primaire	Enroulement Secondaire
12 V	6 V	110 V	220 V
6 V	...V	6 V	...V
: .....		X .....	
Le transformateur fonctionne comme .....de tension		Le transformateur fonctionne comme .....de tension	

Un transformateur permet soit d'abaisser une tension alternative soit de l'élever.

3

**Existe-t-il une relation entre les tensions aux bornes des deux enroulements ?**



En s'inspirant de l'activité précédente, remplir le tableau suivant et tirer la ou (les) relation(s) possible(s) entre  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $N_1$  et  $N_2$ .

Enroulement primaire		Enroulement Secondaire	
$N_1$	$U_1$	$N_2$	$U_2$
1000 spires	12 V	500 spires	
500 spires	12 V	250 spires	
250 spires	6 V	125 spires	

Le transformateur est abaisseur de tension si  $N_2 < N_1$  soit  $U_2 < U_1$ .

Le transformateur est élévateur de tension si  $N_2 > N_1$  soit  $U_2 > U_1$ .

#### 4 Fonctionnement en charge d'un transformateur

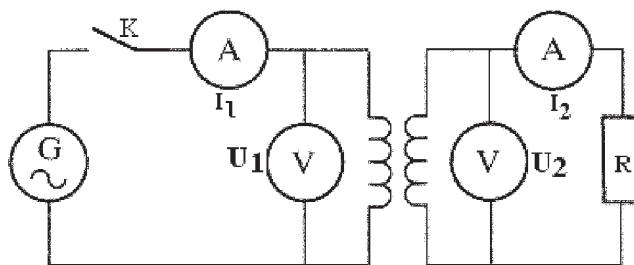


■ Réaliser le montage ci dessous avec le matériel suivant :

- transformateur 220V/24V
- générateur 6-12V
- ampèremètre
- voltmètre
- conducteur ohmique de résistance réglable R
- interrupteur , fils de connexion

#### Conseils :

- Réaliser d'abord le circuit du primaire puis celui du secondaire.
- Placer les appareils de mesure sur leur plus grand calibre.
- Régler la tension primaire à 12 V .Fermer l'interrupteur .
- Pour chaque valeurs de R, mesurer les intensités efficaces  $I_1$  et  $I_2$  traversant le primaire et le secondaire. Mesurer les tensions efficaces  $U_1$  et  $U_2$ .
- Déterminer pour chaque mesure les rapports  $U_2 / U_1$  et  $I_1 / I_2$ .



■ Remplir le tableau de mesures suivant :

Primaire		Secondaire		$\frac{U_2}{U_1}$	$\frac{I_1}{I_2}$
$I_1$ (A)	$U_1$ (V)	$I_2$ (A)	$U_2$ (V)		

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2} = n$$

$n$  étant le rapport de transformation du transformateur

$n > 1$  si le transformateur est élévateur de tension.

$n < 1$  si le transformateur est abaisseur de tension.



**Le transformateur parfait :** c'est un transformateur dans lequel les pertes par effet Joule sont nulles. Il n'est le siège d'aucune perte de puissance. La puissance  $U_1 I_1$  consommée dans le primaire est égale à la puissance fournie par le secondaire soit  $U_1 I_1 = U_2 I_2$ .

## 5 Pourquoi élever ou abaisser la tension ?

- Dans certains cas, pour des raisons de sécurité, le « 220 V » du secteur doit être transformé en une tension inférieure à 25 V. Cela concerne l'alimentation des sonnettes de maison, des jouets, des rasoirs utilisés dans les salles d'eau...
- Dans les lycées, les générateurs alternatifs contiennent des transformateurs 220 V/12 V et 220 V/6 V....
- Le transformateur de votre quartier abaisse à 220 V la tension reçue par une ligne moyenne tension fournie par la STEG.

### Ces transformateurs sont des abaisseurs de tension.

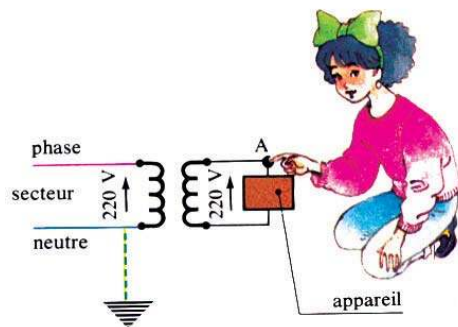
- Un poste de télévision nécessite une haute tension que l'on obtient grâce à un transformateur incorporé (T.H.T) dont la tension de sortie est environ 15 000 V.
- À la sortie des centrales STEG, la tension est élevée jusqu'à 150 000 V.

### Ces transformateurs sont des éleveurs de tension.

Selon leurs emplois, les transformateurs sont de tailles et d'aspects très différents. Ils pèsent quelques dizaines de grammes quand ils sont utilisés en électronique, plusieurs tonnes quand ils servent à la STEG.

- Sur certains appareils on utilise un transformateur 220V-220V qui ne produit ni élévation ni abaissement de tension : **c'est un transformateur d'isolement.**

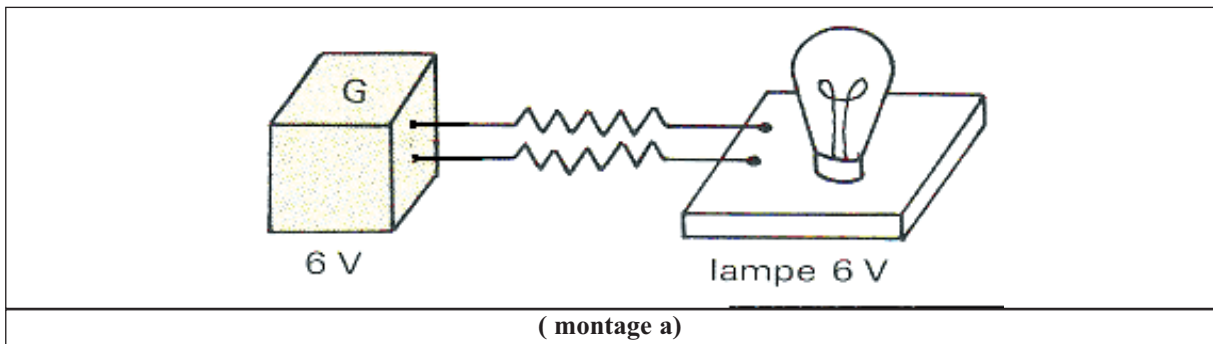
Si l'utilisateur entre en contact accidentel avec le point A, y a-t-il un danger ?  
Quel est alors l'intérêt d'un tel transformateur ?



### Pourquoi transporte-t-on l'électricité sous une tension relativement élevée (150kV à 400kV)?



- Relier une lampe (6V ; 0,1A) à un générateur adapté (6V~) en utilisant des fils conducteurs très longs (montage a).



La lampe ne brille pas.

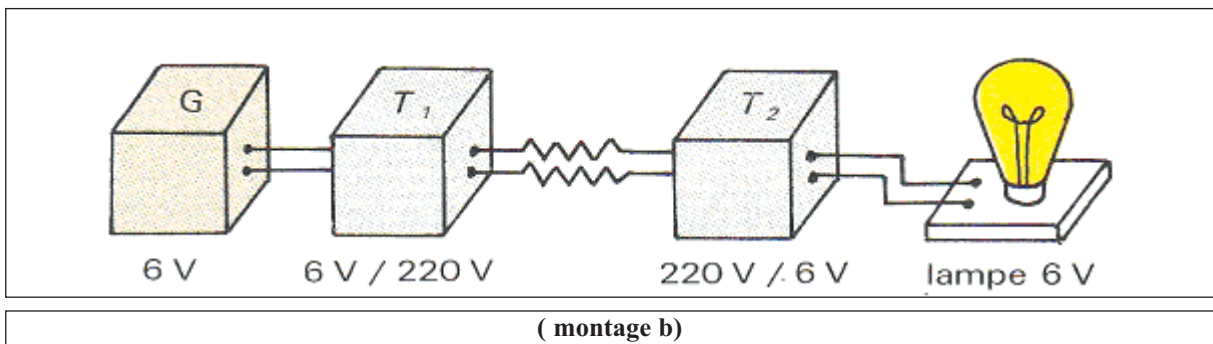


Une grande partie de «l'énergie électrique » est perdue dans les fils électriques par effet joule.



Utiliser dans le montage ( b ) deux transformateurs identiques  $T_1$  et  $T_2$  .

- Le transformateur  $T_1$  est monté en élévateur de tension.
- Le transformateur  $T_2$  est monté en abaisseur de tension.



La lampe brille normalement.



Les deux transformateurs ont permis de transporter l'énergie électrique du générateur vers la lampe en diminuant les pertes d'énergie.

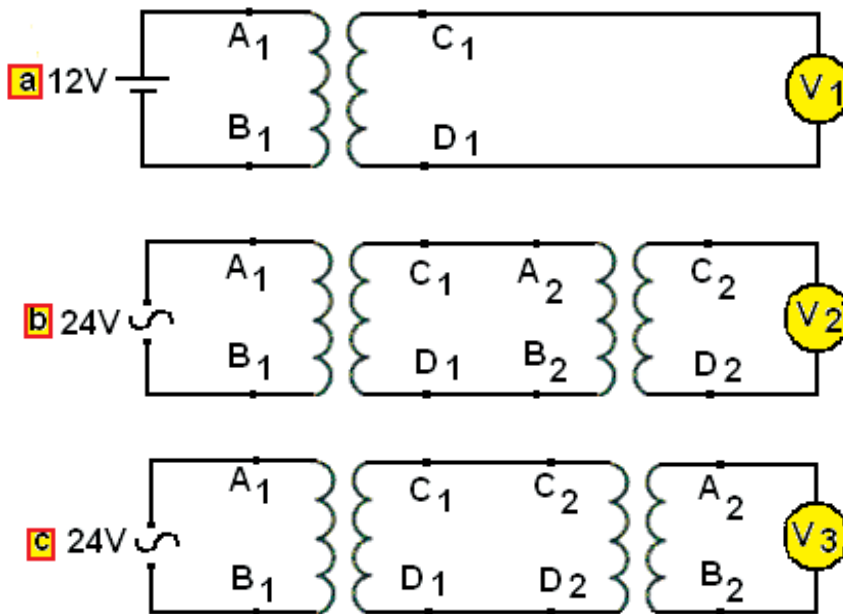
# EXERCICE RESOLU

## Enoncé :

Deux transformateurs identiques divisent chacun la tension par deux.

Quand on alimente leur enroulement primaire  $A_1 B_1$ , ou  $A_2 B_2$  en 12 V alternatif, on recueille sur leur enroulement secondaire  $C_1 D_1$  ou  $C_2 D_2$  une tension de 6 V alternatif.

Donner les lectures  $U_1$ ,  $U_2$  et  $U_3$  relevées sur les voltmètres  $V_1$ ,  $V_2$  et  $V_3$ .



## Solution :

- a)  $U_1 = 0$  V car le transformateur ne fonctionne qu'en courant alternatif.
- b)  $U_2 = 6$  V : la tension d'entrée est divisée par deux, puis encore par deux.
- c)  $U_3 = 24$  V : la tension d'entrée est divisée par deux puis multipliée par deux.

## *L' ESSENTIEL*

Le transformateur est un quadripôle constitué de deux enroulements indépendants en fil de cuivre autour d'une carcasse métallique feuilletée :

- un enroulement primaire comportant  $N_1$  spires ;
- un enroulement secondaire comportant  $N_2$  spires.

Un transformateur comporte quatre bornes ; deux bornes d'entrée et deux bornes de sortie : il est appelé quadripôle.

Un transformateur peut être utilisé pour élever ou abaisser une tension alternative sans changer sa fréquence.

Un transformateur est abaisseur de tension si  $U_2 < U_1$  soit  $N_2 < N_1$ .

Un transformateur est éleveur de tension si  $U_2 > U_1$  soit  $N_2 > N_1$ .

Pour un transformateur à vide : 
$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

Dans un transformateur en fonctionnement, les enroulements primaire et secondaire sont parcourus par des courants de même fréquence.

Le rapport en tension et celui en intensité d'un transformateur vérifient la relation :

$$n = \frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

$n$  étant le rapport de transformation du transformateur.

Pour transporter l'énergie électrique des centrales, avec un minimum de pertes, la STEG utilise des transformateurs éleveurs de tension et des transformateurs abaisseurs de tension.



<http://www.ttransfo.com/index.htm>

<http://bricoland.free.fr/home.html>

[www.steg.com.tn](http://www.steg.com.tn)

<http://www.3e/pagpac/maquet.htm>

<http://sallec4.free.fr/troisime.htm>

[www.hydro.qc.ca/jeux/index.html](http://www.hydro.qc.ca/jeux/index.html)

# EXERCICES EXERCICES

## Est-ce que je connais ?

1 Je réponds par vrai ou faux.

Un transformateur permet

- d'abaisser ou d'élever la valeur d'une tension continue.
- d'abaisser ou d'élever la valeur efficace d'une tension alternative.
- de transformer la valeur maximale d'une tension alternative en sa valeur efficace.

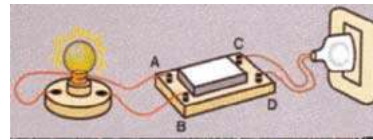
2 Je copie les phrases en choisissant le mot qui convient.

- Alimenté par une tension *continue* / *alternative*, le transformateur produit une tension *continue* / *alternative*. La fréquence du courant est *modifiée* / *inchangée*.
- Un transformateur *abaisseur* / *élévateur* de tension produit une tension de sortie plus *élevée* / *basse* que la tension d'entrée.

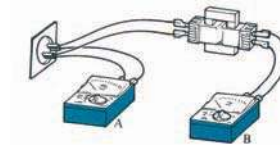
## Est-ce que je sais appliquer ?

1 a- En utilisant les symboles des appareils des circuits ci-contre, dessiner le schéma du montage correspondant.

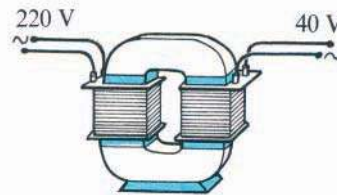
b- Indiquer quelles sont, sur le schéma, les bornes de l'enroulement primaire et de l'enroulement secondaire.



2 Les voltmètres A et B indiquent respectivement 220 V et 12 V.  
Chercher le rapport de transformation.  
Le secondaire comporte 200 spires, déterminer le nombre de spires du primaire.



3 On dispose de six enroulements comportant respectivement 1100, 1000, 550, 250, 200 et 100 spires.  
Quels enroulements faut-il choisir pour constituer le transformateur représenté ci-contre ?



4 Un transformateur comporte 1 500 spires au primaire et 300 spires au secondaire.  
Sa tension d'alimentation est 220 V.

a- Calculer la tension disponible au secondaire.

b- On branche le secondaire aux bornes d'une résistance de 8,8  $\Omega$ .

Calculer l'intensité du courant dans le secondaire, puis dans le primaire

5 Un transformateur comporte au primaire un enroulement de  $N_1 = 400$  spires.  
On applique une tension  $U_1 = 12$  V au primaire.

a- Quel doit être le nombre de spires  $N_2$  du secondaire si l'on désire obtenir une tension  $U_2 = 1\,000$  V ?

b- L'intensité efficace du courant électrique dans le circuit du secondaire est  $I_2 = 0,2$  A.  
Déterminer l'intensité efficace  $I_1$  du courant dans le primaire.

**6** Pour fabriquer un transformateur démontable, on dispose de 3 bobines ayant les nombres de spires suivants : 125 spires, 250 spires, 500 spires.

**a-** Indiquer tous les transformateurs que l'on peut fabriquer. Pour chacun d'eux, calculer le rapport de transformation en considérant le transformateur comme parfait.

Les regrouper en abaisseur ou élévateur de tension.

**b-** On dispose d'une tension au primaire de 220 V.

Pour chacun des transformateurs abaisseurs de tension précédents, déterminer la tension aux bornes du secondaire.

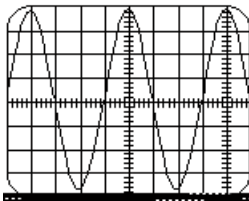
### Est-ce que je sais raisonner ?

**1** On branche un transformateur aux bornes d'un générateur.

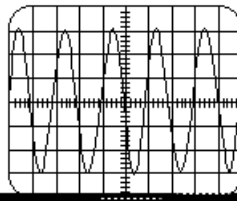
On visualise à l'aide d'un oscilloscope, dont on fixe les sensibilités horizontales et verticale, la tension aux bornes du primaire du transformateur. On obtient l'oscillogramme 1.

On visualise la tension aux bornes du secondaire du transformateur.

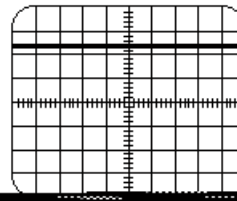
Parmi les oscillogrammes 2 et 3 ci-dessous, lequel (lesquels) peut (peuvent) correspondre à la tension aux bornes du secondaire du transformateur ?



Oscillogramme 1



Oscillogramme 2



Oscillogramme 3

**2** Un transformateur ne comporte qu'une indication de tension électrique  $U = 220 \text{ V}$ .

**a-** Proposer un montage électrique permettant, sans risque, de retrouver la deuxième tension.

**b-** En supposant que l'indication disparue soit 110 V, quel est le rapport de transformation?

**3** On désire utiliser un appareil électrique (conducteur ohmique) à son régime nominal 24V-25W. On ne dispose que d'une tension de 220 V.

**a-** Quel transformateur faut-il utiliser?

Quel sera son rapport de transformation si on considère le transformateur comme parfait?

**b-** Faire le schéma du montage.

**c-** En supposant qu'en fonctionnement nominal, l'appareil électrique se comporte comme un conducteur ohmique. Déterminer les intensités des courants secondaire et primaire?

**4** Pour un transformateur donné, le rapport des nombres de spires est  $\frac{N_2}{N_1} = 0,6$

En fonctionnement nominal, sous une tension au primaire de 380 V, la mesure de la tension aux bornes du secondaire donne  $U_2 = 220 \text{ V}$ .

**a-** Est-ce la valeur théorique attendue ?

**b-** Quelle est la chute de tension observée?

**c-** Proposer une explication à cette chute de tension.

### Suis je capable de ?

Connaître le rôle d'un adaptateur de tension, préciser ses différents composants et le rôle de chacun deux



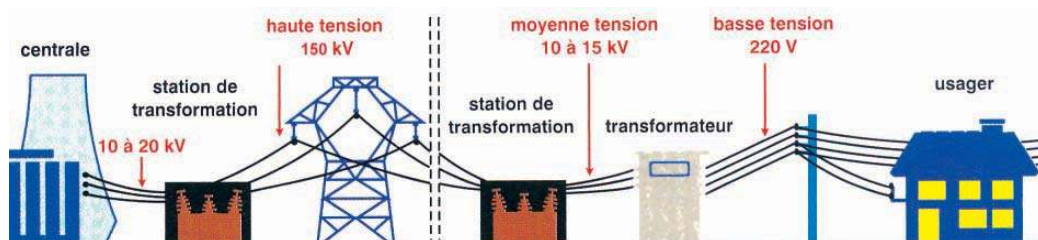
# Activités documentaires

## Utilisation des transformateurs par la STEG

L'énergie électrique produite par les centrales est transportée à de grandes distances, vers les lieux d'utilisation. Le réseau de lignes à très haute tension, long de plus de 4500 km sur notre territoire, est aussi raccordé aux réseaux étrangers.

Pour limiter les pertes par échauffement, la STEG procède à une très forte élévation de tension. Le but recherché étant de faire passer la plus faible intensité possible dans les conducteurs.

Dans une centrale électrique, à la sortie de l'alternateur, la tension est de 10kV à 20kV. Des transformateurs aux dimensions importantes élèvent la tension jusqu'à 150 kV et parfois jusqu'à 225 kV. Plus près de nous, d'autres postes de transformation abaissent par paliers la tension du courant jusqu'à la valeur familière de 220 V. Généralement, ces transformateurs sont situés à proximité des habitations.

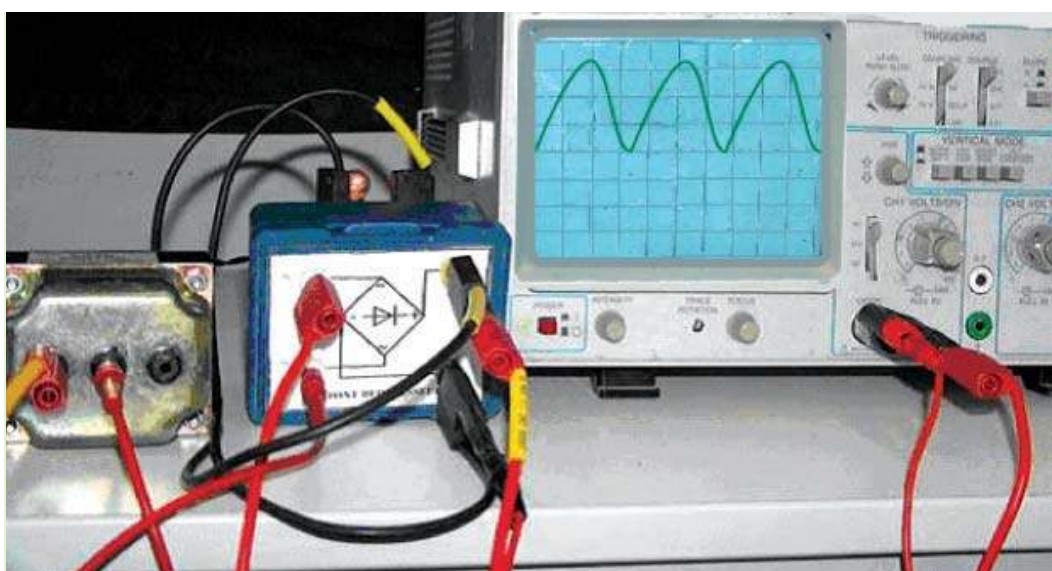


### Questions

- 1- Pourquoi est-il nécessaire d'élever la tension à la sortie des centrales électriques (150kV) alors que nous utilisons le courant du secteur en 220 V?
- 2- Comment peut-on modifier le schéma ci-dessus pour raccorder le métro au réseau?
- 3- Établir une liste d'appareils électriques comportant ou utilisant des transformateurs élévateurs ou abaisseurs de tension.
- 4- A ton avis, pourquoi le réseau électrique tunisien est-il raccordé aux réseaux étrangers?
- 5- Certains transformateurs appelés transformateurs d'isolement délivrent une tension de sortie égale à la tension d'entrée. Expliquer leur rôle.



# Redressement du courant alternatif



La tension du secteur modifiée peut-elle être continue ?  
Peut elle être ni alternative ni continue ?

# Redressement du courant alternatif

## Je dois être capable :

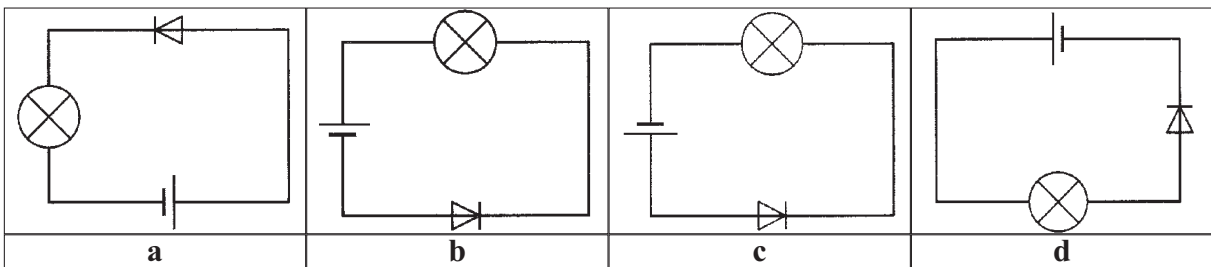
- ❖ de schématiser et réaliser un montage permettant de redresser un courant alternatif.

## Je dois d'abord tester mes acquis :

1- Je recopie et je complète les phrases suivantes :

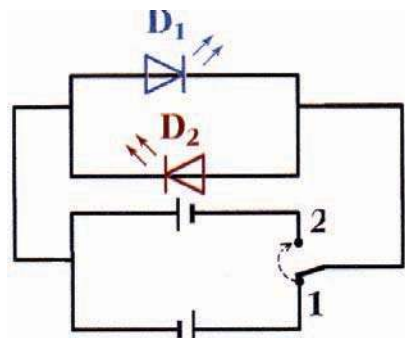
- La tension appliquée en entrée du transformateur est celle du secteur. Ses caractéristiques sont:  $U_e = \dots\dots\dots V$  et  $f = \dots\dots Hz$ . En sortie, on recueille une tension qui est encore  $\dots\dots\dots$  et  $\dots\dots\dots$ , dont la fréquence  $\dots\dots$  est toujours  $\dots\dots Hz$  et dont la valeur  $U_s$  est soit  $\dots\dots\dots$  ou  $\dots\dots\dots$  à  $U_e$ .
- Une diode est un composant électronique qui ne laisse passer le courant que dans un seul  $\dots\dots\dots$
- Dans le sens direct, une diode idéale est équivalente à un interrupteur  $\dots\dots\dots$
- Dans le sens bloquant, une diode idéale est équivalente à un interrupteur  $\dots\dots\dots$

2- Dans quels montages, schématisés ci-dessous la lampe éclaire-t-elle? Pourquoi?



3- Observer le montage ci-dessous.

- L'interrupteur est dans la position 1. Quelle est la D.E.L. qui éclaire? Pourquoi?
- On bascule l'interrupteur en position 2. Que se passe-t-il? Pourquoi?

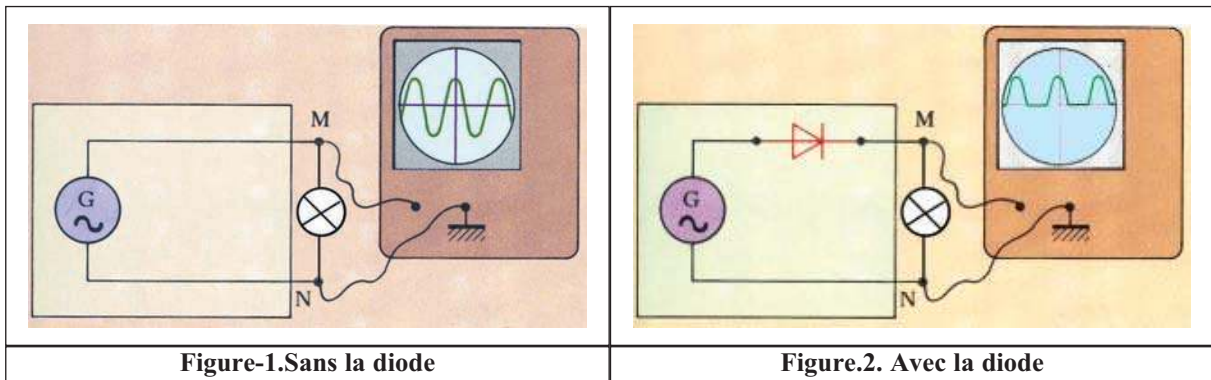


## Je construis mes savoirs :

### 1 A partir d'un courant alternatif peut-on obtenir un courant qui circule dans un seul sens ?



- Réaliser un circuit comportant une lampe et une alimentation fournissant une tension alternative sinusoïdale.
- Placer un oscilloscope aux bornes de la lampe ( figure 1 ).
- Ajouter une diode ( figure 2 ).
- Observer l'oscillogramme.



- Sans diode, la tension est alternative sinusoïdale. On observe une succession ininterrompue d'alternances positives d'alternances négatives.
- Lorsque la diode est branchée, une alternance sur deux est supprimée. Les alternances négatives sont supprimées.



- La diode ne laisse passer le courant que dans un seul sens.
- La tension s'annule lorsque la diode est bloquée.
- La tension n'est plus alternative, elle est redressée.
- Le courant ne peut passer que dans un seul sens.

**La tension obtenue est dite redressée simple alternance**

### 2 Redressement double alternance

**Situation1 :** On désire récupérer du dihydrogène et du dioxygène séparément par électrolyse de l'eau .On ne dispose que d'une source de tension alternative .Ceci est-il réalisable ?

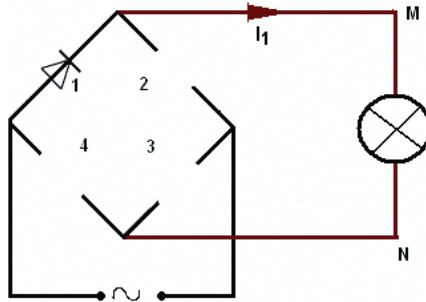
**Situation2 :** On désire charger une batterie . On ne dispose que d'une source de tension alternative .Ceci est-il réalisable ?

Pour que la tension redressée ne s'annule pas une alternance sur deux, il faut redresser les deux alternances. On utilise pour cela un montage dit pont de diodes



Le pont de diodes est constitué de quatre diodes convenablement disposées.

- Disposer Les quatre diodes de sorte que le courant circule toujours dans le même sens dans la lampe.



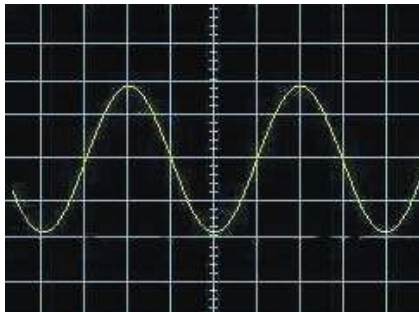
- Réaliser le montage.(veiller à utiliser un transformateur d'isolation)
- Placer un oscilloscope aux bornes de la lampe.
- Observer sur l'écran de l'oscilloscope la courbe obtenue et la comparer à celle obtenue aux bornes du générateur.



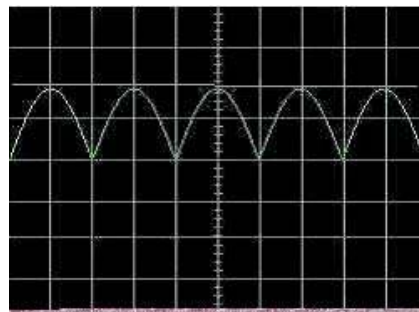
- L'oscillogramme 1 correspond à la tension  $u$  aux bornes du générateur.

- L'oscillogramme 2 correspond à la tension  $u_{MN}$  aux bornes de la lampe.

Il informe sur le fait que le courant circule sans interruption dans le même sens.



Oscillogramme 1



Oscillogramme 2

- Les deux alternances ont maintenant le même sens



- La lampe est parcourue par un courant périodique qui conserve toujours le même sens.

- Pendant l'alternance positive de la tension aux bornes du générateur, les diodes 1 et 3 laissent passer le courant  $I_1$  qui traverse également la lampe. Les diodes 2 et 4 sont bloquantes.

Les diodes 2 et 4 sont bloquantes.

- Durant l'alternance négative suivante, les diodes 2 et 4 laissent passer le courant. Ce courant traverse la lampe dans le même sens que  $I_1$ .

**Le pont de diodes permet la circulation du courant sans interruption et dans le même sens.**

Un pont à quatre diodes, ou redresseur, permet d'obtenir à partir d'une tension alternative sinusoïdale une tension redressée double alternance.

Le courant "redressé" n'est pas un courant continu, il circule dans un seul sens mais il change encore de valeur.

# EXERCICE RESOLU

**Enoncé :**

On désire obtenir un courant qui circule dans un seul sens à partir de la tension du secteur .  
 La tension  $u_1$  du secteur est alternative, sinusoïdale de fréquence  $N = 50 \text{ Hz}$  et dont la valeur maximale  $U_{1m}$  est voisine de  $310 \text{ V}$ .

1- On dispose d'un transformateur dont le rapport de transformation est  $\frac{1}{17}$

a- Quelle est la valeur maximale  $U_{2m}$  de la tension de sortie  $u_2$  du transformateur ?

b- On branche un oscilloscope aux bornes du secondaire.

Dessiner en vraie grandeur l'oscillogramme obtenu.

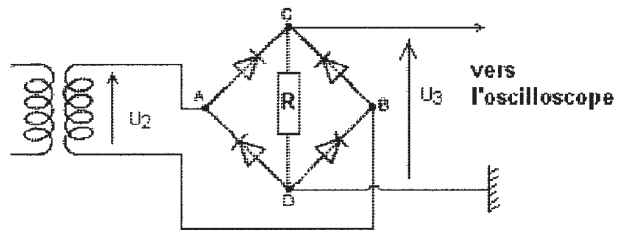
Données numériques : calibre tension  $5 \text{ V/div}$  balayage :  $2 \text{ ms. div}^{-1}$ .

Les dimensions de l'écran de l'oscillographe sont 10 divisions en largeur et 8 divisions en hauteur.

Les réglages de l'oscillographe resteront les mêmes tout au long du montage.

2- A la sortie du transformateur, on place un pont de diodes comportant 4 diodes identiques.

On observe cette fois à l'aide de l'oscilloscope, la tension de sortie  $u_{CD}$  du pont de diodes.



$U_{CDm}$  étant égale à  $U_{ABm}$ , Dessiner en vraie grandeur l'oscillogramme obtenu.

Que peut-on dire de la tension obtenue?

**Solution :**

a-  $\frac{U_{2m}}{U_{1m}} = \frac{N_2}{N_1}$

$$U_{2m} = \frac{N_2}{N_1} \cdot U_{1m}$$

$U_{2m} = 18,2 \text{ V}$

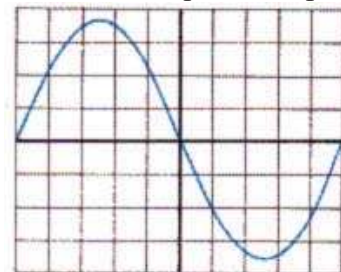
b-  $u_1$  est sinusoïdale de fréquence  $N = 50 \text{ Hz}$ .  $u_2$  est donc sinusoïdale de même fréquence.

Sa valeur maximale est  $+18,2 \text{ V}$  et sa valeur minimale est  $-18,2 \text{ V}$  ce qui correspond aux déviations du spot :

$d_{\max} = \frac{U_{2m}}{\text{calibre}} \quad d_{\max} = 3,64 \text{ div}$

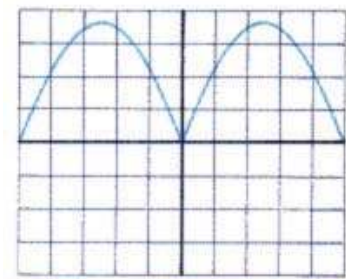
$d_{\min} = \frac{U_{2m}}{\text{calibre}} \quad d_{\min} = 3,64 \text{ div}$

La période est  $T = \frac{1}{f} \quad T = 20 \text{ ms}$



Sur l'oscillogramme une période correspond à n divisions :

$n = 20 : 2 = 10$  divisions. On observera une seule période.



2- La tension  $u_{CD}$  de sortie du pont de diodes est une tension redressée double alternance de valeur maximale  $18,2 \text{ V}$  et de période  $10 \text{ ms}$ .

## *L' ESSENTIEL*

Une diode ne laisse passer le courant que dans un sens.

Si une diode est placée en série dans un circuit soumis à une tension alternative sinusoïdale, le courant ne passera que pendant l'une des deux alternances: il sera redressé.

En utilisant 4 diodes convenablement connectées, on peut redresser les 2 alternances.

Un pont de quatre diodes transforme une tension alternative sinusoïdale en une tension redressée double alternance permettant d'alimenter certains appareils nécessitant un courant qui circule toujours dans le même sens.



<http://www.ptitrain.com/index.htm>

<http://www.ptitrain.com/electronique/index.htm>

# EXERCICES EXERCICES

## Est-ce que je connais ?

**1** Je choisis la bonne réponse:

- 1-1-** Lorsqu'une tension redressée simple alternance est appliquée aux bornes d'une lampe:
- le courant dans la lampe change de sens à chaque alternance.
  - le courant dans la lampe conserve toujours le même sens.
- 1-2-** Lorsqu'une tension redressée double alternance est appliquée aux bornes d'une lampe:
- le courant dans la lampe change de sens à chaque alternance.
  - le courant dans la lampe conserve toujours le même sens.

**2** Je recopie et je complète les phrases suivantes :

**a-** Une diode transforme une tension alternative en une tension.....

Le courant qui circule est un courant redressé .....alternance .

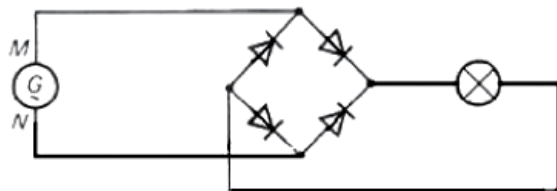
**b-** Un pont de quatre diodes transforme une tension alternative en une tension redressée ..... alternance permettant d'alimenter certains appareils nécessitant un courant ayant toujours un même.....

## Est-ce que je sais appliquer ?

**1** Le schéma ci-contre représente l'alimentation d'une lampe à partir d'un générateur de courant alternatif, à travers un pont de diodes.

Indiquer par des flèches bleues le trajet du courant lorsque M est la borne positive du générateur et par des flèches rouges le trajet lorsque N est la borne positive.

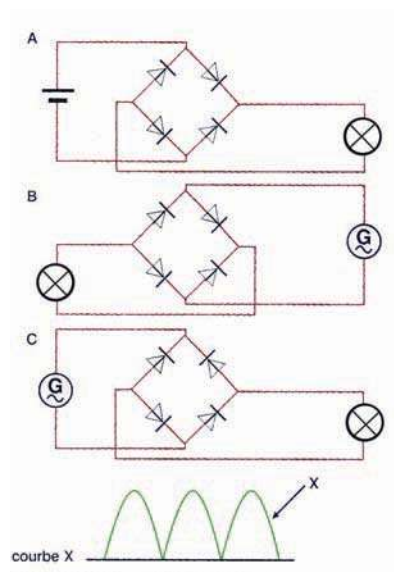
Que peut-on dire du sens du courant dans la lampe ?



**2** Dans les trois montages du schéma ci-contre, les bornes de la lampe sont connectées à un oscilloscope.

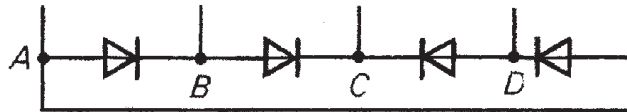
**a-** Identifier parmi ces trois montages A, B et C, celui qui permet d'obtenir la courbe X sur l'écran de l'oscilloscope.

**b-** Pourquoi les deux autres montages ne permettent-ils pas d'obtenir la courbe X ?



## Est-ce que je sais raisonner ?

**1** Houda a réalisée une association de diodes selon le schéma ci après et confirme qu'elle a réalisée un pont de diodes en vu de s'en servir pour effectuer un redressement double alternance d'une tension alternative sinusoïdale.

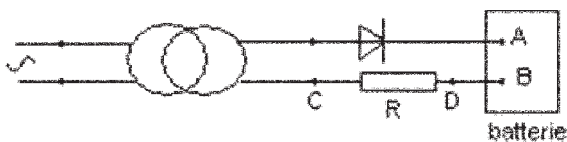


a- Houda a-t-elle raison ?

b- A quelles bornes (A, B, C ou D) doit être relié un générateur « alternatif » ?

c- Entre quelles bornes obtient-on du courant redressé?

**2** Le circuit de la figure ci dessous représente un dispositif qui permet de recharger une batterie à partir du secteur. R est une résistance de protection.



a- Le courant qui circule dans la batterie est -il alternatif ?

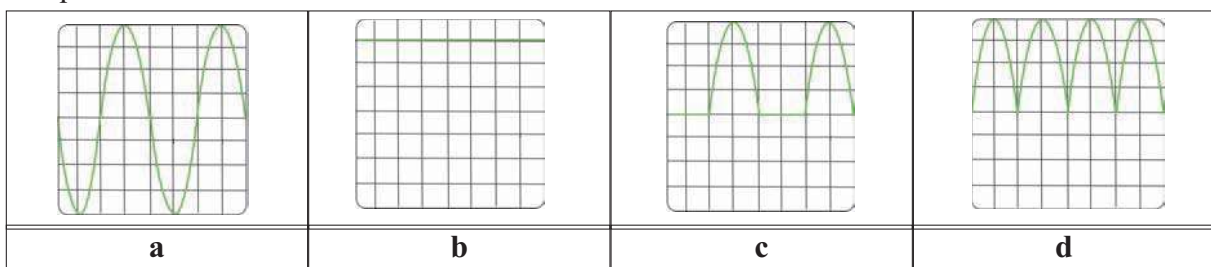
b- Indiquer en justifiant si A est la borne positive ou négative de la batterie.

c- On branche un oscilloscope entre C et D. Représenter l'oscillogramme obtenu.

**3** A - Un générateur alternatif G, une lampe L et une diode D sont montés en série. On branche successivement un oscilloscope aux bornes du générateur puis aux bornes de la lampe.

1- Faire un schéma du montage.

2- Parmi les quatre traces sur l'écran de l'oscilloscope, choisir et justifier celle qui sera dans chaque cas observée.



B- On considère la trace (c) .

a- Cette tension est-elle continue ou variable ?

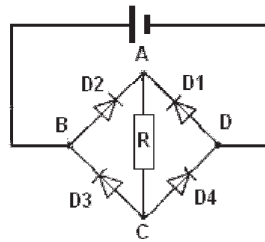
b- Justifier le nom de la tension redressée qui lui est donné.

c- Cette tension est-elle périodique ?si oui déterminer les valeurs de sa période T et de sa fréquence f.

On donne : les réglages de l'oscilloscope : (échelle des temps 2ms/division), échelle des tensions (2,5 V/ division).

C- Avec quatre diodes idéales, on construit le pont de diodes de la figure ci-dessous.

1- La tension aux bornes de la pile vaut  $U_{BD} = 9V$ .



Indiquer le sens du courant dans chaque branche du circuit.

Calculer la valeur de R pour que l'intensité du courant débité par la pile soit  $I = 100mA$ .

2- La pile est remplacée par un générateur de tension sinusoïdale :  $u_{BD}$  varie entre  $-9V$  et  $+9V$  avec une période de  $0,02s$ . Représenter l'allure des variations de la tension  $u_{AC}$  en fonction du temps.

Echelle :  $1\text{ cm}$  pour  $0,002s$  en abscisses ;  $1\text{ cm}$  pour  $2V$  en ordonnées.

**4** On utilise le montage schématisé sur la figure (a). Toutes les diodes sont identiques.

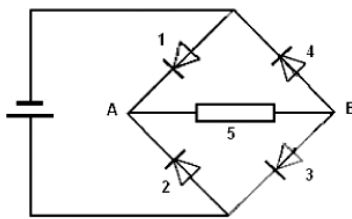


Figure (a)

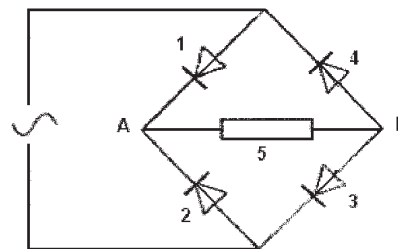


Figure (b)

a- Préciser s'il y a un courant et quel est son sens dans chacune des branches 1, 2, 3, 4 et 5 du circuit ?

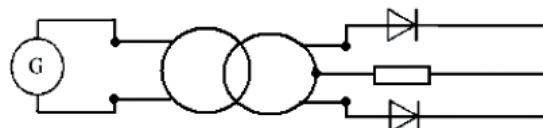
b- Répondre aux mêmes questions si on intervertit les connexions aux bornes du générateur .

c- On remplace le générateur de courant continu par un générateur de courant alternatif (figure b).

- Quand la tension  $u_{AB}$  est positive, quel est le sens du courant dans la branche 5 ?
- Même question quand  $u_{AB}$  est négative.
- Justifier le nom de redresseur double alternance donné à ce montage.
- Quel est son intérêt par rapport à l'utilisation d'une seule diode ?

### Suis je capable :

d'expliquer le redressement double alternance avec uniquement 2 diodes en utilisant un transformateur possédant une sortie médiane au secondaire ?


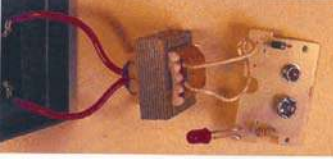
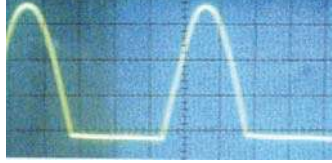


# Activité documentaire

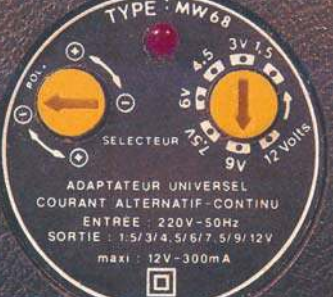

## Chargeurs de batteries et alimentations auxiliaires

### Le chargeur de batterie

Certains appareils électriques portables, comme le téléphone portable, le multimètre électronique, le baladeur ou la perceuse sans fil, peuvent être alimentés par des « piles rechargeables » qui sont en fait des accumulateurs. L'autonomie de ces accumulateurs étant limitée, il est nécessaire de les recharger régulièrement: c'est le rôle du chargeur de batterie.. Le modèle de chargeur présenté ici est d'une grande simplicité dans sa conception : à la sortie du transformateur, il ne comporte qu'une diode de redressement. On constate cependant la présence d'un voyant de charge (une DEL : diode électroluminescente) munie de sa résistance de protection: ces deux éléments sont montés en série avec l'accumulateur à recharger; le voyant ne s'allume que lorsqu'il est traversé par un courant, donc seulement pendant la charge.

		
figure-1- Caractéristiques d'un chargeur de batterie	figure-2-Le circuit électrique du chargeur	figure-3-Oscillogramme de la tension obtenue

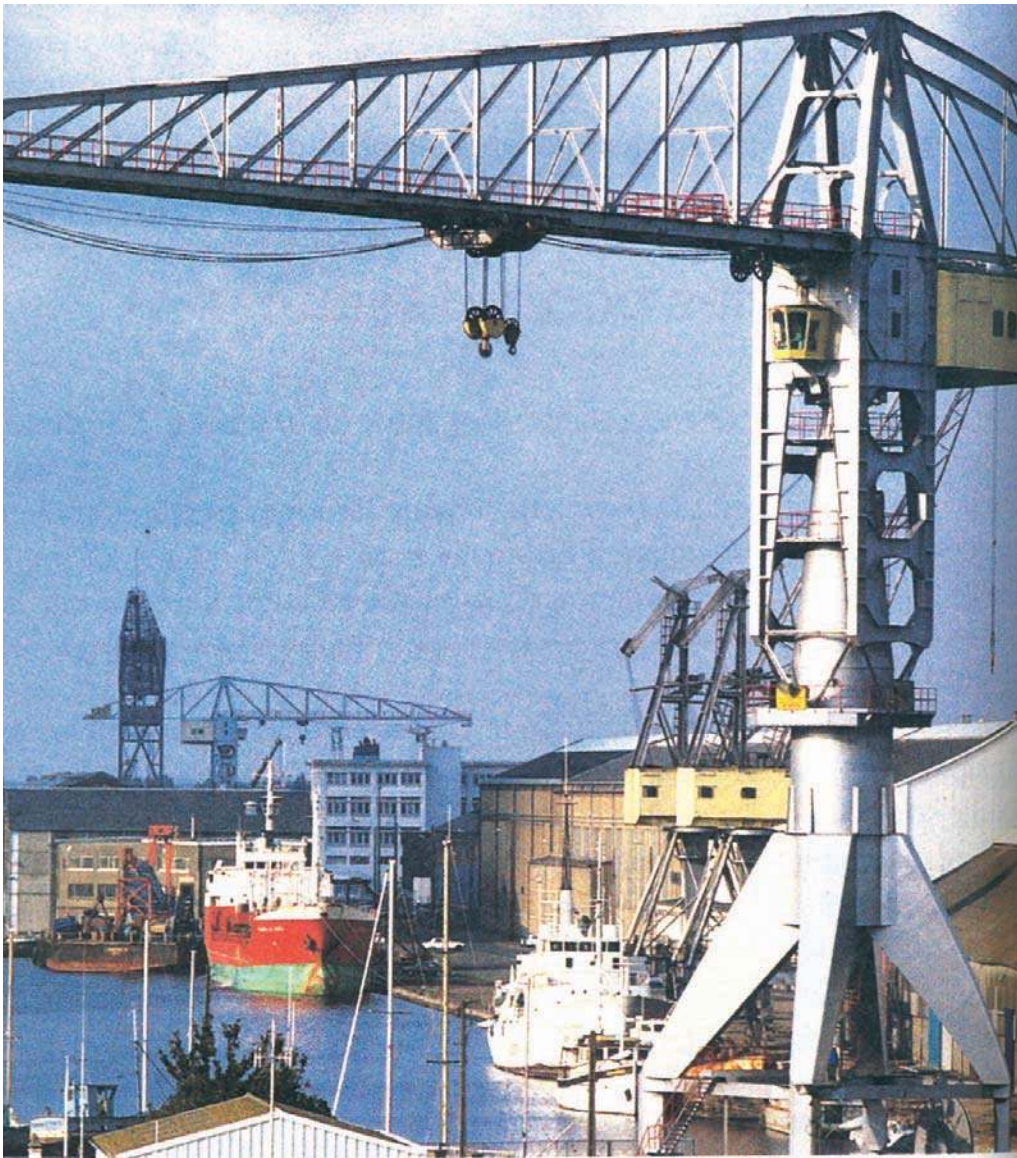
### L'adaptateur de tension

Des appareils comme l'orgue électronique, la console de jeux, les téléphones portables, les ordinateurs portables utilisent comme source de courant des alimentations auxiliaires (ou adaptateurs) qui délivrent une tension continue à partir du secteur.		
	figure-4- Caractéristiques d'une alimentation auxiliaire	figure-5-Le circuit électrique de l'alimentation auxiliaire

### Questions :

- 1- Schématiser le circuit électrique du chargeur de la figure 2.
- 2- L'oscillogramme de la figure 3 représente un redressement simple alternance. Justifier l'allure de la tension obtenue. S'agit-il d'une tension continue?
- 3- Identifier sur la figure 5, les éléments du circuit de l'alimentation auxiliaire. Comparer au chargeur de batterie.

# FORCES, MOUVEMENTS ET PRESSION



*D  
e  
u  
x  
i  
è  
m  
e  
  
t  
h  
è  
m  
e*

# Contenu du thème



2

Chapitre 1 : **Forces et équilibre.**

Chapitre 2 : **Mouvements d'un point matériel :**  
**Etude cinématique.**

Chapitre 3 : **Pression.**

# Chapitre 1

## Forces et équilibre



# Contenu du chapitre 1

- ◆ Système mécanique : définition du point matériel, du système matériel, du système déformable et du système indéformable.
- ◆ Equilibre d'un solide soumis à trois forces coplanaires et non parallèles.  
Application à la détermination des forces de frottements.
- ◆ Equilibre d'un solide assujetti à tourner autour d'un axe fixe :
  - Moment d'une force par rapport à un axe fixe.
  - Moment d'un couple de forces.
  - Théorème des moments.

Applications :

- Machines simples (leviers, poulie à axe fixe, treuil).
- Balance Roberval.

# Equilibre d'un solide soumis à trois forces coplanaires et non parallèles

## Je dois être capable :

- ❖ de distinguer un système indéformable d'un système déformable.
- ❖ d'identifier les forces intérieures et les forces extérieures appliquées à un système.
- ❖ d'établir expérimentalement la relation entre trois forces coplanaires et non parallèles auxquelles est soumis un solide en équilibre.
- ❖ d'appliquer la condition d'équilibre d'un solide soumis à trois forces coplanaires et non parallèles.

## Je dois d'abord tester mes acquis :

- 1- Consulter le dictionnaire pour définir le mot « statique ».
- 2- Quelle est dans le système international l'unité de la valeur d'une force ?
- 3- Citer des exemples de force de contact, de force à distance et de force de liaison.
- 4- Recopier et compléter les phrases suivantes.  
Lorsque deux corps (A) et (B) interagissent, (A) exerce sur (B) une force notée  $\vec{F}_{A/B}$ , et.....exerce sur..... une force notée  $\vec{F}_{B/A}$ .  
Les forces  $\vec{F}_{A/B}$  et  $\vec{F}_{B/A}$  constituent ..... de l'interaction.
- 5- Répondre par vrai ou faux en justifiant la réponse.
  - Un solide soumis à deux forces directement opposées est obligatoirement immobile.
  - Le poids d'un corps est l'un des éléments d'une interaction.
  - Un fil permet de transmettre à une de ses extrémités, la force subie par l'autre extrémité.
- 6- Un solide repose sur un plan horizontal. La réaction du plan est :
  - verticale, dirigée vers le bas.
  - verticale, dirigée vers le haut.

## Je construis mes savoirs :

### Situations :

- Pourquoi serre-t-on le frein à main d'une voiture lors du démarrage en côte?
- Les câbles électriques de la STEG ne sont jamais tendus. Pourquoi ?

### 1 Qu'est ce un système matériel ?

Un avion à réaction en vol dans le ciel paraît très petit par rapport à un observateur à partir de la Terre, de sorte qu'il devient permis de considérer que la matière qui le constitue se trouve centrée en un point. L'avion semble comme **un point matériel**. Il ne peut l'être lorsqu'il se déplace dans un hangar car ses dimensions ne peuvent pas être négligées devant celles du hangar, dans ce cas, il est considéré comme **un système matériel**.

De même :

- Un oiseau évoluant dans le ciel peut être assimilé à un point matériel par rapport à un observateur sur Terre et comme un système matériel lorsqu'il évolue dans sa cage.
- Une étoile vue de la Terre peut être aussi assimilée à un point matériel.
- Un éléphant évoluant dans un cirque est considéré comme un système matériel.

**Un point matériel** est défini comme étant un corps dont les dimensions sont négligeables devant celles de l'espace où il évolue durant son observation.

Un ensemble de points matériels forment **un système matériel**.

**Un système matériel ou système de points matériels** est tout corps dont les dimensions ne peuvent pas être négligées devant celles de l'espace où il évolue.

### Remarques :

- La notion de point matériel est relative. Un corps donné ne peut pas en effet être considéré comme ponctuel dans toutes les conditions.
- Un point matériel possède une masse.
- La masse d'un système matériel est égale à la somme des masses des points matériels qui le constituent.

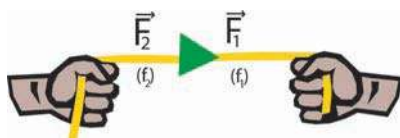
Un système matériel peut être choisi arbitrairement. Il peut être composé d'un ou plusieurs corps, liés ou non entre eux.

### Choisir un système matériel consiste à diviser l'Univers en deux :

- le système, une partie de l'Univers renfermant de la matière ;
- l'extérieur, c'est-à-dire tout le reste de l'Univers.

Toute partie de l'extérieur qui interagit avec le système, exerce sur lui une **force extérieure**. Lorsque deux parties d'un même système interagissent, les forces sont dites **intérieures**.

Dans l'exemple ci-dessous, selon le système choisi, les forces  $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$  peuvent être :



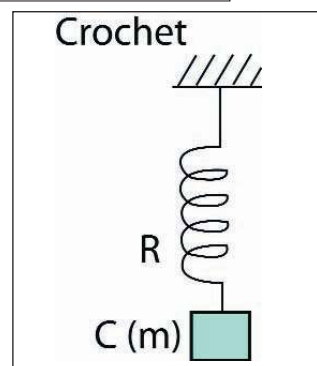
Système	Force (s) intérieurs (s)	Force (s) extérieurs (s)
Les mains, la plaque et les ficelles ( $f_1, f_2$ )	$\vec{F}_1, \vec{F}_2$	
La plaque		$\vec{F}_1, \vec{F}_2$
la plaque, la ficelle ( $f_1$ ) et la main droite.	$\vec{F}_1$	$\vec{F}_2$
.....		

**Application :**

Un pendule élastique est disposé comme l'indique le schéma suivant :

**C** : Un solide de masse  $m$

**R** : Un ressort à spires non jointives de masse négligeable devant  $m$  et de raideur  $k$ .



1- Faire le bilan des forces qui s'exercent sur les différentes parties du système matériel  $\{S\}$  formé par le corps **C** et le ressort **R**.

2- Classifier ces forces en forces intérieures et forces extérieures.

3- a- Le corps **C** est dit **indéformable** car les distances entre les points matériels qui le constituent sont invariables même sous l'effet de forces extérieures tant qu'elles restent habituelles.

b- Le système  $\{S\}$  est dit **déformable**. Compléter la phrase suivante :

Un système matériel est **déformable**, lorsque les.....entre les points matériels qui le constituent .....changer sous l'effet de forces extérieures entre autre.

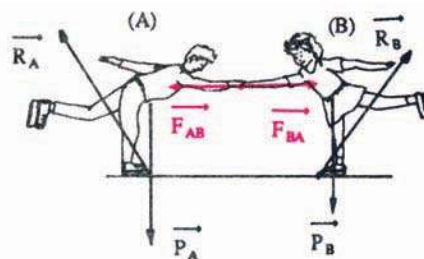
c- Donner des exemples de systèmes déformables et indéformables.

**Remarque :**

- Un solide est un objet rigoureusement indéformable. La distance entre deux quelconques de ses points est invariable au cours du temps.

**Application :**

(S) est un système formé de deux patineurs (A) et (B) qui font du patinage artistique.



	Forces exercées sur (A)	Forces exercées sur (B)
Forces extérieures au système (S)	$\rightarrow$ $P$ : poids de (A) $\rightarrow$ $R_A$ : exercée par le sol	$\rightarrow$ $P$ : poids de (B) $\rightarrow$ $R_B$ : exercée par le sol
Forces intérieures au système (S)	$\rightarrow$ $F_{B/A}$ : exercée par (B)	$\rightarrow$ $F_{A/B}$ : exercée par (A)

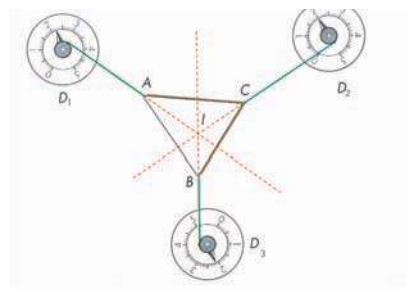
- D'après le principe d'interaction, la somme vectorielle des forces intérieures au système (S) est nulle,  $\vec{F}_{B/A} + \vec{F}_{A/B} = \vec{0}$
- Le résultat précédent est général : La somme vectorielle des forces intérieures à un système matériel quelconque est égale au vecteur nul :  $\sum \vec{F}_{int} = \vec{0}$
- La somme vectorielle des forces appliquées à un système matériel se ramène à celle des forces extérieures s'exerçant sur le système :  $\sum \vec{F}_{app} = \sum \vec{F}_{ext}$

## 2/ Quelles conditions satisfont trois forces s'exerçant sur un solide en équilibre ?



Sur un tableau magnétique :

- Fixer une feuille de papier millimétré,
- Réaliser l'équilibre d'une plaque selon le montage ci-contre :  
La plaque choisie est supposée de poids négligeable devant les forces envisagées.



$D_1$ ,  $D_2$  et  $D_3$  sont des dynamomètres à support magnétique.



- La plaque est soumise à l'action de trois forces  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  et  $\vec{F}_3$ , par l'intermédiaire de fils ( f ) tendus.
- Les trois fils se trouvent dans un même plan parallèle au plan du tableau magnétique.



Lorsqu'un corps soumis à trois forces est en équilibre, les droites d'action de ces forces sont dans un même plan : ces forces sont coplanaires.



- Sur la feuille posée sur le tableau magnétique, tracer les droites d'action des forces  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  et  $\vec{F}_3$ .
- Prolonger les droites d'actions des trois forces.

Ces droites d'action passent par un même point.

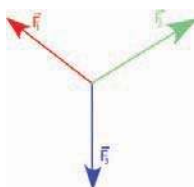
Lorsqu'un corps soumis à trois forces est en équilibre, les droites d'action de ces forces passent par un même point : ces droites d'action sont concourantes.

■ Compléter le tableau suivant :

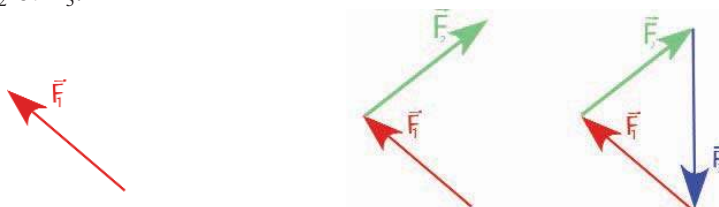
Force	Valeur (N)
$\vec{F}_1$	
$\vec{F}_2$	
$\vec{F}_3$	

La somme des valeurs de deux forces d'entre elles n'est pas égale à la valeur de la troisième force.

■ Choisir une échelle et représenter sur la feuille les forces  $F_1$ ,  $F_2$  et  $F_3$ .



■ Faire une construction géométrique en mettant bout à bout les vecteurs forces,  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  et  $\vec{F}_3$ .



commencer par une force	puis, au bout de celle-ci, lui adjoindre une deuxième	reste à placer la troisième (le tout en respectant les sens, les directions et les valeurs)
-------------------------	---	---

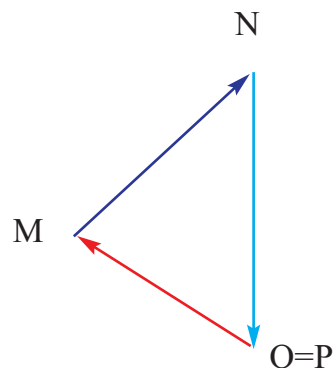
Lorsque le solide est en équilibre, les vecteurs forces forment un triangle appelé « **triangle des forces** ».

Soient  $OM = \vec{F}_1$ ,  $MN = \vec{F}_2$  et  $NP = \vec{F}_3$   
On obtient la construction géométrique suivante :

$\vec{OM} + \vec{MN} + \vec{NP} = \vec{0}$ , O est confondu avec P



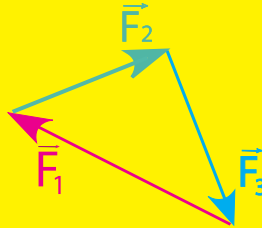
$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{0}$$



### Loi d'équilibre de 3 forces :

Dans un repère terrestre, si un solide est en équilibre sous l'action de trois forces non parallèles  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  et  $\vec{F}_3$  alors, trois conditions sont remplies :

- Les trois forces sont coplanaires
- Les trois droites d'actions sont concourantes
- La somme vectorielle des trois forces est nulle :  $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{0}$



### Les conditions précédentes sont-elles suffisantes ?

Si le solide précédent est en mouvement, tout en étant soumis aux trois forces coplanaires et de somme vectorielle nulle, d'après le principe d'inertie, il reste animé d'un mouvement rectiligne uniforme.

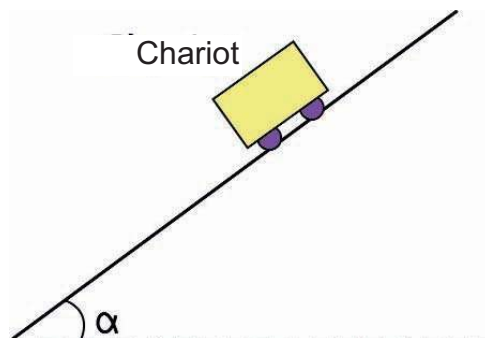
Les conditions énoncées précédemment sont donc **nécessaires** mais **non suffisantes** pour l'équilibre.

**Remarque :** On peut utiliser ces conditions d'équilibre pour déterminer les caractéristiques d'une force inconnue. Pour cela, il faut choisir le système de telle sorte que la force inconnue lui soit extérieure.

- 3** Quelle relation relie la valeur de la force qu'il faut exercer sur un solide pour maintenir son équilibre sur un plan incliné lisse et d'inclinaison  $\alpha$  ?



Abandonner un chariot sur un plan incliné ne présentant pas de frottement.





Le chariot prend immédiatement un mouvement de glissement suivant une direction dite direction de plus grande pente du plan incliné.

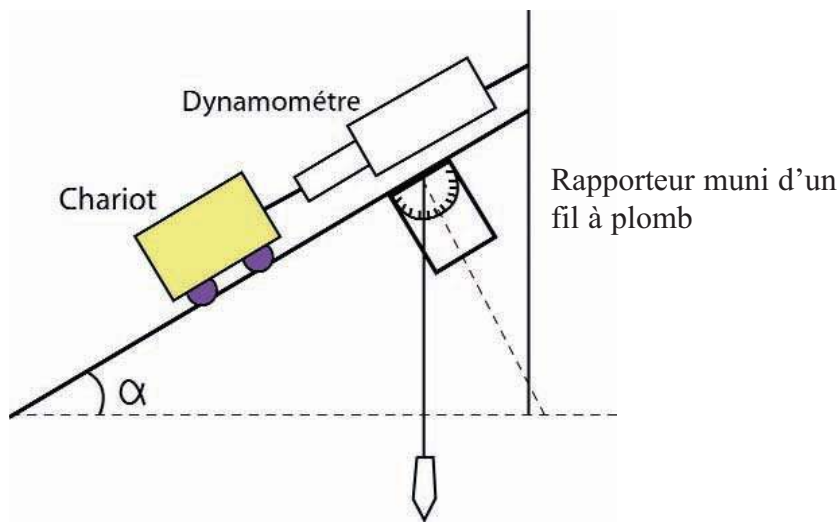


Pour maintenir l'équilibre du chariot, en plus de son poids  $\vec{P}$  et de la réaction  $\vec{R}$  du plan, une force supplémentaire  $\vec{F}$  doit lui être appliquée.

**Peut-on déterminer la valeur de la force  $\vec{F}$  dans le cas particulier où sa direction est parallèle à celle de plus grande pente du plan incliné ?**



Réaliser le montage suivant :



- La masse du chariot étant constante, faire varier l'inclinaison  $\alpha$  et noter la valeur de la force  $\vec{F}$  qui, avec l'action de la Terre (poids du chariot) et l'action du plan (réaction), maintient l'équilibre du chariot.
- Dresser et compléter le tableau suivant :

$\alpha$ (°)	5	10	15	20	30	90
$\ \vec{F}\ $ (N)						

- Tracer la courbe représentant les variations de  $\|\vec{F}\|$  en fonction de  $\alpha$ .

**La courbe obtenue permet-elle de déduire la relation entre  $\|\vec{F}\|$  et  $\alpha$  ?**



La courbe est curviligne et montre que  $\|\vec{F}\|$  croît dans le même sens que  $\alpha$ .



Cette courbe ne permet pas d'exprimer  $\|\vec{F}\|$  en fonction de  $\alpha$

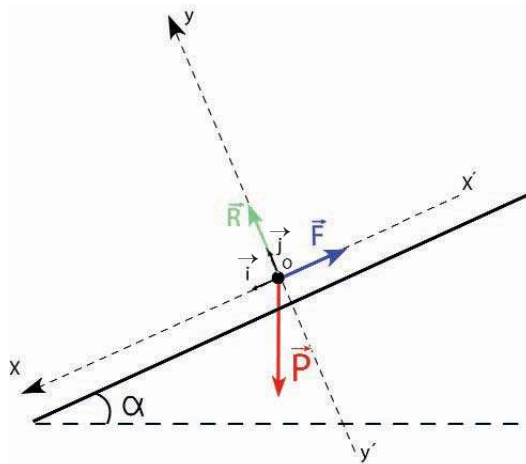
### Peut - on relier théoriquement $\|\vec{F}\|$ et $\alpha$ ?

Considérons le système indéformable formé par le chariot.  
A l'équilibre les forces extérieures agissant sur ce système sont :

- $\vec{P}$ : poids du chariot,
- $\vec{F}$ : force exercée par le dynamomètre sur le chariot,
- $\vec{R}$ : réaction du plan normale à celui-ci car le contact est sans frottement.

Ces forces sont donc coplanaires, concourantes et vérifient :  $\vec{P} + \vec{F} + \vec{R} = \vec{0}$

Représenter dans le repère  $(O, \vec{i}, \vec{j})$  les vecteurs forces.



Projeter l'équation vectorielle sur les axes  $xx'$  et  $yy'$ .



$$\|\vec{P}\| \cdot \sin \alpha - \|\vec{F}\| = 0 \quad \|\vec{F}\| = \|\vec{P}\| \cdot \sin \alpha$$

$$-\|\vec{P}\| \cdot \cos \alpha + \|\vec{R}\| = 0$$

La méthode de projection utilisée est dite méthode **analytique**.



Reprendre l'étude expérimentale, compléter le tableau en calculant  $\sin \alpha$  et tracer

$$\|\vec{F}\| = f(\sin \alpha).$$



Cette courbe est un segment de droite qui passe par l'origine O du repère considéré.



La valeur de  $\vec{F}$  peut s'écrire :  $\|\vec{F}\| = a \cdot \sin \alpha$

Le calcul montre que la valeur du coefficient de proportionnalité  $a = \frac{\Delta \|\vec{F}\|}{\Delta \sin \alpha}$

(pente du segment de droite tracé) et la valeur du poids du chariot  $\|\vec{P}\| = m \cdot \|\vec{g}\|$  sont égales. Donc, l'étude théorique et l'étude expérimentale sont en accord.

#### 4 Pourquoi un solide abandonné sur un plan légèrement incliné peut-il rester au repos ?

Une gomme placée sur un plan incliné, pour un ensemble de valeurs de l'inclinaison  $\alpha$ , inférieures à une valeur limite  $\alpha_0$ , elle conserve son équilibre sur le plan incliné. Expliquer ?



Placer la gomme sur un plan légèrement incliné.

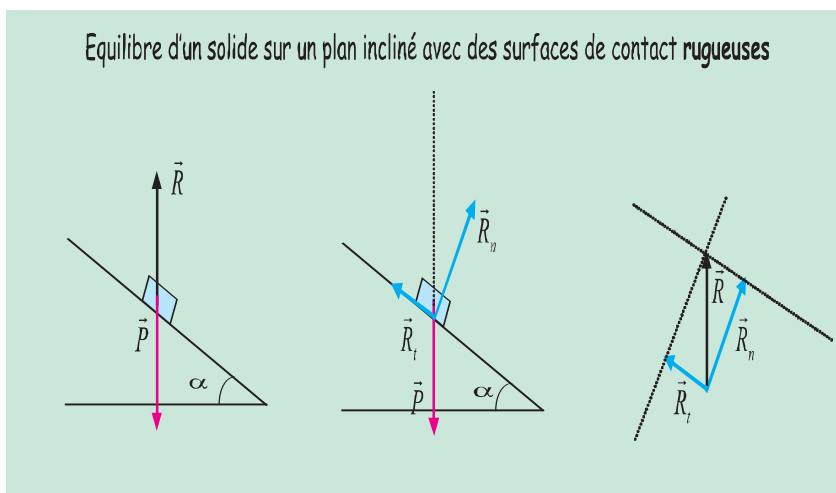


Si le contact est suffisamment **rugueux**, la gomme reste au repos par rapport au référentiel terrestre. Elle ne glisse pas sur le plan incliné.



■ Le solide « gomme » est soumis à deux actions : action de la Terre (action à distance) et action du support (action de contact).

■ Le poids  $\vec{P}$  vertical, dirigé vers le bas, est équilibré par la force  $\vec{R}$ , force verticale, dirigée vers le haut et telle que :  $\vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$  (1)



Cette force de contact  $\vec{R}$  exercée par le plan incliné sur la gomme peut être décomposée suivant deux composantes :

- $\vec{R}_n$  action normale du plan incliné sur la gomme, perpendiculaire à ce plan incliné, empêche la gomme de pénétrer dans le support.
- $\vec{R}_t$  action tangentielle du plan inclinée sur la gomme, parallèle à la ligne de plus grande pente du plan incliné, s'oppose au glissement de la gomme. Cette force **modélise les forces de frottement**.

**Remarque :** On note  $\vec{R}_t$  ou  $\vec{f}$  la force qui modélise les frottements

On peut écrire  $\vec{R} = \vec{R}_n + \vec{R}_t$  (2)

Portons la relation (2) dans la relation  $\vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$  (1) qui traduit, ici, l'équilibre de la gomme par rapport au référentiel terrestre. On obtient :

$$\vec{P} + \vec{R}_n + \vec{f} = \vec{0} \quad (3)$$

On appelle frottement ou adhérence, la résistance mécanique au glissement relatif entre deux solides en contact.

### Remarques :

- On dit que le contact entre deux solides est :

**Parfait :** c'est-à-dire il n'y a pas de frottement, la réaction  $\vec{R}$  du support est perpendiculaire au plan tangent commun,

**Réel :** la réaction  $\vec{R}$  du support n'est plus perpendiculaire au plan tangent commun, mais s'incline par rapport à la normale au plan d'appui d'un angle du côté opposé à la tendance du mouvement.

- On distingue deux types de frottement :

#### a) Frottement solide - solide

- Frottement statique** (la vitesse du solide qui repose sur le plan d'appui est nulle) : **force de frottement d'adhérence**.
- Frottement cinétique** (le solide se déplace sur le plan d'appui) : **force de frottement de glissement**

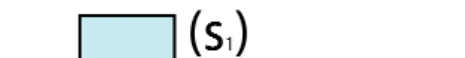
b) Frottement entre un solide et un liquide ou un gaz appelé encore résistance au cheminement.

### Quels sont les facteurs qui influent sur la valeur de la force de frottement (solide – solide) ?

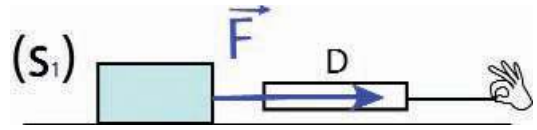
#### > Influence de la masse m du solide sur la valeur de la force de frottement d'adhérence



- Placer un solide ( $S_1$ ) en acier de masse  $m_1$  et de surface  $S$  sur un plan parfaitement horizontal (verre) .



- A l'aide d'un dynamomètre (D), exercer sur le solide ( $S_1$ ) une force motrice  $\vec{F}$  dont la droite d'action est horizontale.

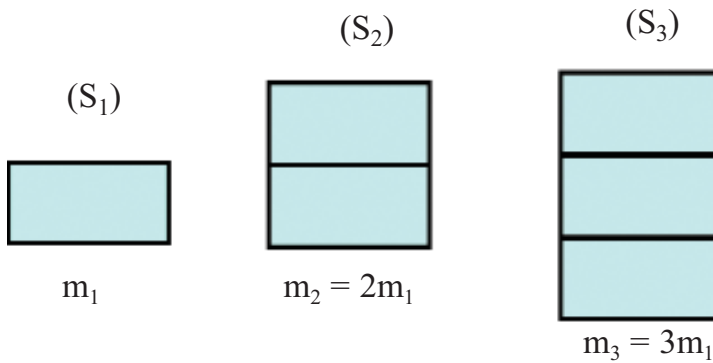


Dans un premier temps, le solide ne se déplace pas. A partir d'une certaine valeur de la force  $\vec{F}$ , le solide entre en mouvement. On dit que l'on se situe alors « à la limite d'équilibre ».

Noter cette valeur.



Répéter la même expérience sur le même support ( plan) en remplaçant ( $S_1$ ) par d'autres solides ( $S_2$ ), ( $S_3$ )..., de même nature, mais de masses  $m_2$ ,  $m_3$ , en veillant à conserver constante la surface de contact ( $S_i$ ) - support.

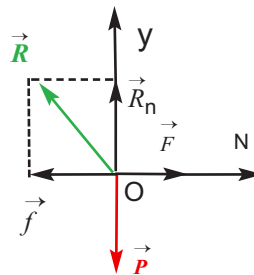
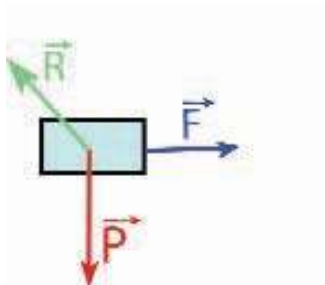


Compléter le tableau :

Solide	( $S_1$ )	( $S_2$ )	( $S_3$ )
Masse (kg)	$m_1$	$2m_1$	$3m_1$
$\ \vec{F}\ $ (N)			



- $\|\vec{F}\|$  croît avec la masse, donc elle croît avec la valeur du poids du solide reposant sur le plan d'appui.
- A la limite de l'équilibre, chacun des solides est soumis à :  
Son poids  $\vec{P}$ , la force motrice  $\vec{F}$  et la réaction  $\vec{R}$  du plan d'appui.



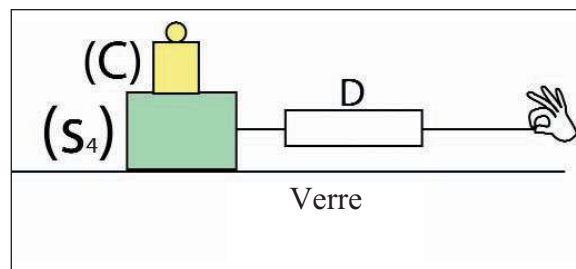
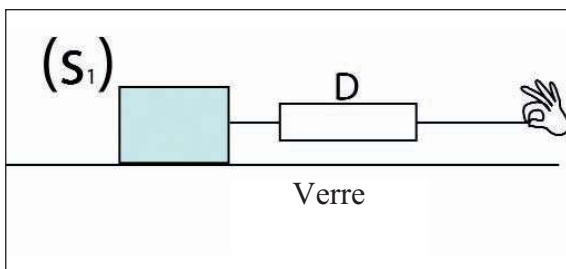
A la limite de l'équilibre, on a  $\|\vec{F}\| = \|\vec{f}\|$ ,  $\|\vec{f}\|$  : Valeur de la force de frottement

La valeur de la force de frottement d'adhérence croît avec la valeur du poids du solide.

➤ **Influence de la nature de la surface de contact solide-solide sur la valeur de la force de frottement d'adhérence**



Réaliser les deux expériences suivantes :



(S<sub>1</sub>) en fer et (S<sub>4</sub>) en bois supportant une charge (C) telle que  $m(S_1) = m(S_4) + m(C)$  et que (S<sub>1</sub>) et (S<sub>4</sub>) présentent des surfaces de contact avec le support d'aires égales.



Pour chacune des deux expériences, déterminer la valeur de la force motrice à la limite de l'équilibre :

Conatct	$\ \vec{F}\ $ (N)
(S <sub>1</sub> ) avec le verre	
(S <sub>4</sub> ) avec le verre	

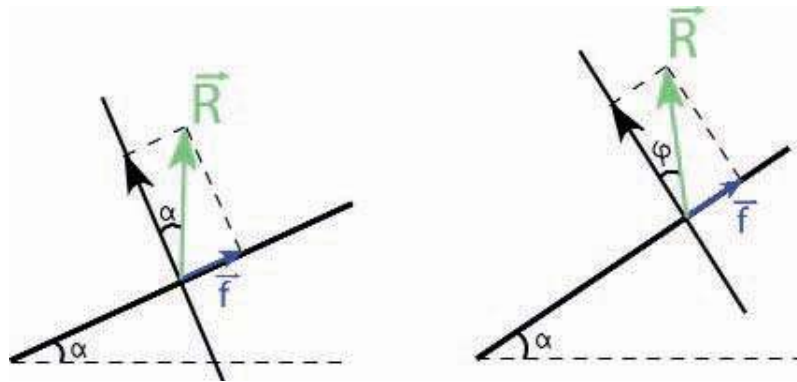


Les valeurs des forces motrices à la limite de l'équilibre sont différentes, donc les valeurs des forces de frottements sont aussi différentes.

La valeur de la force de frottement d'adhérence dépend de la nature des surfaces en contact.

Revenons à la situation : solide « gomme » libéré sur un plan incliné :

Si on continue à augmenter l'angle d'inclinaison du plan incliné, la réaction  $\vec{R}$  s'incline par rapport à la normale au plan d'appui pour résister au mouvement jusqu'à un angle limite  $\varphi$ , au déla duquel, il ne pourra y avoir équilibre.



Cet angle **limite** est appelé **angle de frottement** ou **d'adhérence**.

On appelle angle de frottement ou d'adhérence ( $\varphi$ ), la valeur limite de l'angle d'inclinaison de la réaction par rapport à la normale au plan tangent commun entre solide - support, au delà duquel l'équilibre est rompu.

- Pour  $\alpha = \varphi$  : on est dans le cas de « l'équilibre limite » ou « strict », on parle de **contact avec adhérence** .
- Pour  $\alpha < \varphi$  : il y a équilibre. On dit, il y a **équilibre avec adhérence**.
- 
- Si la limite d'équilibre est dépassée, la réaction  $\vec{R}$  reste inclinée de  $\varphi$  par rapport à la normale au plan tangent commun. L'équilibre est rompu; il y a glissement du solide sur le plan d'appui. On dit il y a **contact avec glissement**.

## 5 Comment aborder un exercice faisant appel à l'utilisation des conditions d'équilibre?

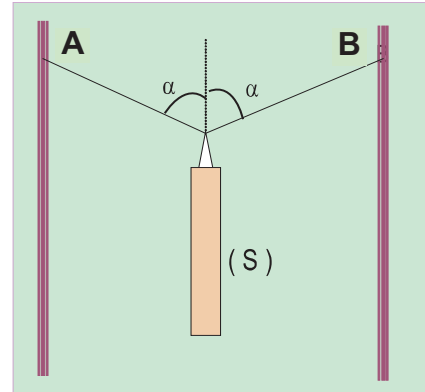
Pour résoudre un exercice faisant appel à un état d'équilibre, il est nécessaire de :

- ✓ choisir le système ;
- ✓ recenser les forces extérieures qui s'exercent sur lui en précisant tous les renseignements que l'énoncé et le cours donnent sur elles ;
- ✓ faire un schéma très clair en respectant les directions et les sens des forces ;
- ✓ énoncer la condition d'équilibre ;
- ✓ choisir un repère et projeter les forces mises en jeu ;
- ✓ écrire les relations à l'équilibre ;
- ✓ dégager la grandeur ou les informations demandées.

# EXERCICE RESOLU

On prendra  $\|\vec{g}\| = 9,81 \text{ N.kg}^{-1}$ .

Un objet (S) de masse  $m=55\text{kg}$  muni d'un anneau est suspendu par deux câbles. Les câbles sont fixés en deux points A et B situés sur la même horizontale. A l'équilibre de (S), les angles que fait la verticale de l'anneau avec chacun des deux câbles ont pour mesure  $\alpha = 70^\circ$ .



1. Faire le bilan des forces exercées sur le système {objet S + anneau}.
2. Ecrire la relation que vérifient ces vecteurs forces à l'équilibre de (S).
3. Déterminer les valeurs  $\|\vec{T}_1\|$  et  $\|\vec{T}_2\|$  des tensions des câbles.

## Réponse :

1- Le système {objet S + anneau} est soumis à 3 forces extérieures :

- **Son poids  $\vec{P}$**

Force à distance.

Direction: verticale.

Sens: vers le bas.

Point d'application: centre d'inertie du système.

- **La tension du câble de gauche  $\vec{T}_1$**

Force de contact.

Direction: oblique.

Sens: vers le haut à gauche.

Point d'application : l'anneau.

- **La tension du câble de droite  $\vec{T}_2$**

Force de contact.

Direction : oblique.

Sens: vers le haut à droite.

Point d'application : l'anneau.

2- Le système est en équilibre, donc  $\vec{P} + \vec{T}_1 + \vec{T}_2 = \vec{0}$

3-

### Projection sur ox :

$$-\|\vec{T}_1\| \sin(\alpha) + \|\vec{T}_2\| \sin(\alpha) = 0$$

$$\|\vec{T}_1\| \sin(\alpha) = \|\vec{T}_2\| \sin(\alpha)$$

$$\|\vec{T}_1\| = \|\vec{T}_2\|$$

$$\text{Posons } \|\vec{T}_1\| = \|\vec{T}_2\| = \|\vec{T}\|$$

### Projection sur oy :

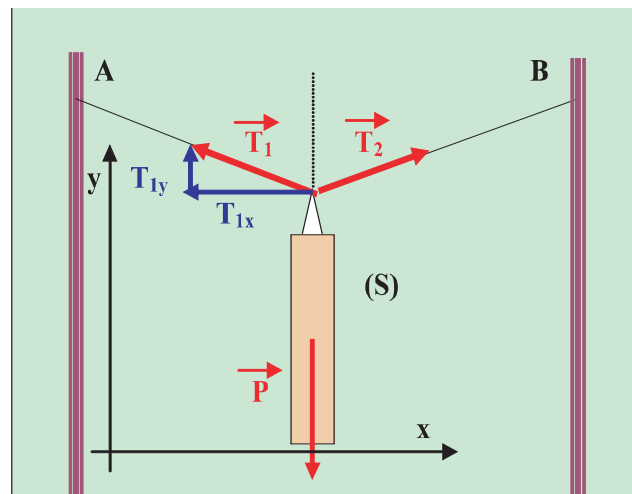
$$\|\vec{T}_1\| \cos(\alpha) + \|\vec{T}_2\| \cos(\alpha) - \|\vec{P}\| = 0$$

$$\text{Or } \|\vec{T}_1\| = \|\vec{T}_2\| = \|\vec{T}\| \text{ d'où}$$

$$2\|\vec{T}\| \cos(\alpha) = m \cdot \|\vec{g}\| \Leftrightarrow \|\vec{T}\| = \frac{m \|\vec{g}\|}{2 \cos \alpha} \Leftrightarrow$$

$$\|\vec{T}\| = \frac{559,81}{2 \cos(70^\circ)} = 788,8 \text{ N}$$

$$\text{On en déduit } \|\vec{T}_1\| = \|\vec{T}_2\| = 788,8 \text{ N}$$



## L' ESSENTIEL

Un point matériel est défini comme étant un corps dont les dimensions sont négligeables devant celles de l'espace où il évolue durant son observation.

On appelle système matériel un ensemble de points matériels.

Un système matériel est déformable, lorsque les distances entre les points matériels qui le constituent peuvent changer.

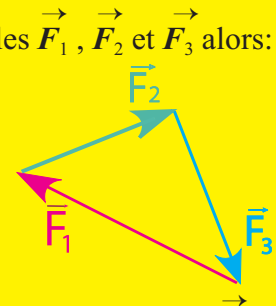
Un système matériel est indéformable, lorsque les distances entre les points matériels qui le constituent sont invariables.

Les forces intérieures à un système matériel sont celles qu'exercent ses divers points les uns sur les autres ; leur somme vectorielle est nulle.

Les forces extérieures à un système matériel sont celles exercées par des corps qui ne lui appartiennent pas.

Si un solide est en équilibre sous l'action de trois forces non parallèles  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  et  $\vec{F}_3$  alors:

- les trois forces sont coplanaires;
- les droites d'actions des trois forces sont concourantes;
- la somme vectorielle des vecteurs forces est nulle.



Si le contact d'un solide avec un plan d'appui est suffisamment rugueux, la réaction  $\vec{R}$  exercée par le plan sur le solide n'est pas normale au support.

$\vec{R} = \vec{R}_n + \vec{R}_t$ , la composante  $\vec{R}_t$  modélise les forces de frottement.

La valeur de la force de frottement solide - solide :

- croît avec la valeur du poids du solide ;
- dépend de la nature des surfaces en contact.



<http://www.xena.ad/lcf/option1/meca/frottem/frottem.htm>

<http://www.md.ucl.ac.be/didac/physique/didacphys/lexique/definitionsF.html>

[http://www.univ-pau.fr/~Nancy/frottem/frottem.htm# principal](http://www.univ-pau.fr/~Nancy/frottem/frottem.htm#principal)

<http://www.web-sciences.com/devoir1b/ex5/ex5.php>

<http://www.web-sciences.com/devoir1b/ex5/co5/co51.php>

# EXERCICES EXERCICES

## Est-ce que je connais ?

**1** Recopier en mettant une croix dans la case correspondante à la réponse correcte.

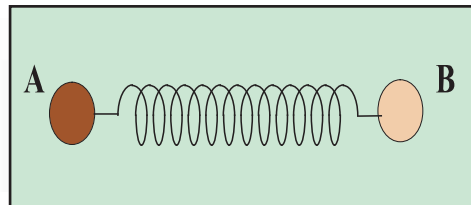
1-1- Un avion évoluant à une très grande altitude dans le ciel, vu de la Terre, il peut être considéré comme :

- un système matériel.
- un point matériel.

1-2- On considère deux billes en acier A et B reliées par un ressort comme l'indique le schéma suivant :

■ Le système déformable est :

- le système formé par la bille **A**.
- le système formé par la bille **B**.
- le système (**A** et le ressort).
- le système (**A, B** et le ressort).



■ Le poids de B est :

- une force intérieure au système (**B**).
- une force intérieure au système(**A, B**).
- une force intérieure au système(**A, B, Terre**) .

1-3- Un solide soumis à trois forces coplanaires et concourantes est en équilibre, on a alors :

- la somme des intensités de ces trois forces est nulle.
- l'une des trois forces est directement opposée à la somme vectorielle des deux autres.
- la somme des trois forces est égale au vecteur nul.

**2** On considère les astres suivants : Terre, Soleil.

a- Définir les systèmes possibles qu'on peut former avec ces deux astres.

b- Classifier les forces d'interaction entre ces deux astres en forces intérieures et forces extérieures aux systèmes définis précédemment.

## Est-ce que je sais appliquer ?

**1** Un corps (C) dont la valeur du poids est égale à 10 N, est soumis à trois actions représentées par les vecteurs force

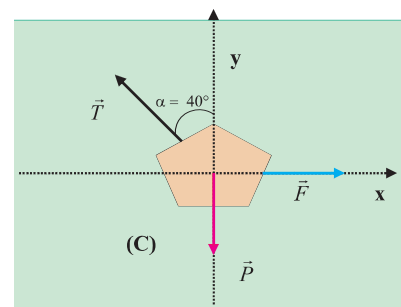
$\vec{F}$ ,  $\vec{P}$  et  $\vec{T}$

comme l'indique le schéma ci-contre.

Sachant que le solide (C) est en équilibre, déterminer

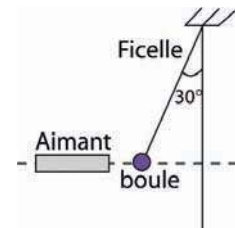
$\vec{F}$  et  $\vec{T}$ .

les valeurs des forces  $F$  et  $T$ .



**2** Une boule de fer a 2N comme valeur de poids, est soumise à l'action d'un aimant comme l'indique la figure ci contre.

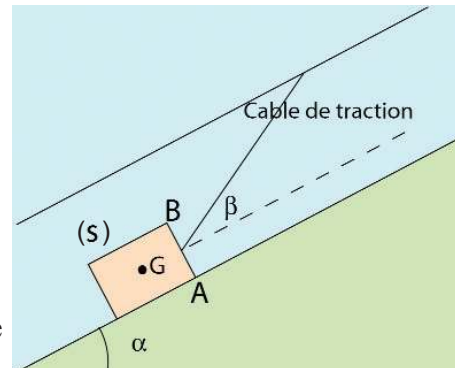
- Faire le bilan des forces s'exerçant sur la boule en équilibre.
- Déterminer graphiquement les valeurs des forces autres que le poids de la boule.
- Retrouver le résultat par calcul.



**3** Un solide (S) de masse  $m = 5 \text{ kg}$  glisse sans frottement sur un plan incliné d'un angle  $\alpha = 15^\circ$  par rapport à l'horizontale. Il est entraîné à vitesse constante par un câble faisant un angle constant  $\beta = 20^\circ$  avec la ligne de plus grande pente du plan incliné.

On donne  $\|g\| = 10 \text{ N.kg}^{-1}$

- Déterminer la valeur de la tension  $\vec{T}$  du fil de traction.
- Déterminer la valeur de la réaction  $\vec{R}$  du plan incliné.
- Représenter,  $\vec{R}$  lorsque le câble est attaché à l'extrémité inférieure A du solide(S) puis lorsque le câble est attaché à l'extrémité supérieure B.



### Est-ce que je sais raisonner ?

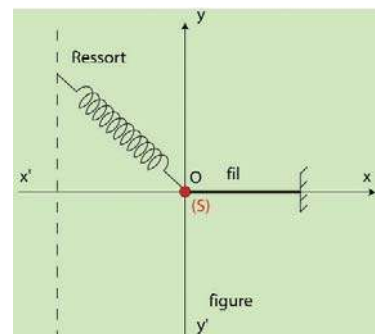
**1** Un solide (S) dont le poids a pour valeur 20N, est placé sur un plan horizontal. On applique une force horizontale  $\vec{F}$  de valeur 5N dirigée de gauche à droite (voir figure). Le solide reste en équilibre.



- 1-1- Citer les forces extérieures agissant sur le solide (S).
- 1-2- Représenter ces forces.
- 1-3- En étudiant l'équilibre de (S) et en utilisant la méthode de projection :
  - Trouver la valeur de l'angle que fait la réaction  $\vec{R}$  avec la verticale.
  - Trouver la valeur de la réaction du plan
- 1-4- a- Représenter la force de frottement  $\vec{f}$  sur un autre schéma.  
b- Trouver la valeur de la force de frottement.

**2** Un solide (S) de masse  $m = 200 \text{ g}$  est accroché à un ressort de raideur  $k$  et à un fil inextensible et de masse négligeable devant  $m$ . A l'équilibre l'allongement du ressort est  $\Delta l = 5 \text{ cm}$  et son axe fait un angle  $\beta = 60^\circ$  avec la verticale ( voir figure).

- Définir une force extérieure et une force intérieure.
- Représenter les forces extérieures qui s'exercent sur(S).
- Ecrire la condition d'équilibre du solide (S).
- Donner les caractéristiques des composantes de chaque force dans le repère  $(xx', yy')$ .



- Déterminer la valeur de la tension  $\vec{T}$  du ressort.
- En déduire la constante de raideur  $k$  du ressort.
- Calculer la longueur  $l$  du ressort à l'équilibre, sachant que sa longueur à vide est  $l_0=20\text{cm}$ .

e- Déterminer la valeur de la tension du fil  $\vec{T}'$ .

f- Quelle est la nouvelle position d'équilibre du solide après la rupture du fil ? Expliquer.

**3** Un abri de préau, dont la valeur de son poids vaut  $3 \cdot 10^3 \text{ N}$  est fixé au mur en A et maintenu par un tirant (BC) (voir figure).

- a- Faire le bilan des forces qui s'exercent sur l'abri de préau lorsqu'il est à l'équilibre.
- b- Ecrire la relation qui relie les vecteurs forces à l'équilibre de l'abri du préau.
- c- Représenter les droites d'action de ces forces.
- d- Choisir une échelle et représenter le triangle de forces. Déduire alors les valeurs des forces inconnues.

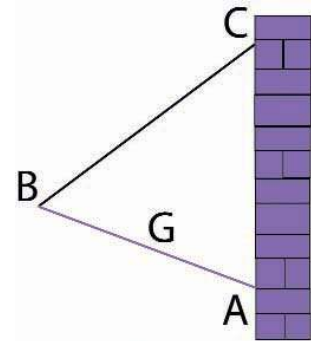
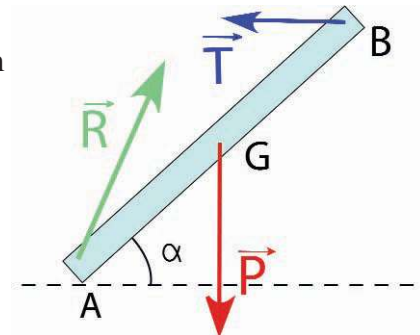


Schéma de l'abri de préau

**4** Une barre homogène (AB), de centre de gravité G, a un poids de valeur 20N. Cette barre est en équilibre sous l'action de trois forces dont les vecteurs représentatifs sont  $\vec{T}$ ,  $\vec{R}$  et  $\vec{P}$

( $\vec{T}$  est portée par l'horizontale). On donne  $\alpha = 50^\circ$ .

- a- Ecrire la relation entre les vecteurs forces lorsque la barre est en équilibre.
- b- Déterminer les valeurs des forces  $\vec{T}$  et  $\vec{R}$ .



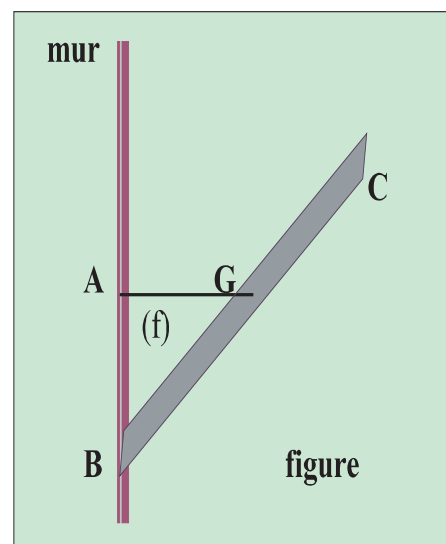
**5** Un tableau est maintenu en équilibre contre le mur de la façon représentée par la figure ci-contre. Le poids du tableau est 40 N. La tension du fil est 22,8N. (f) un fil tendu horizontalement et fixé au point A dans le mur maintient le tableau en son centre de gravité G.

1- Représenter les forces extérieures agissant sur le tableau (BC).

2- a- Trouver la valeur de l'angle que fait la réaction du mur avec la verticale.

b- Trouver la valeur de la réaction du mur.

c- Préciser la nature du contact entre le mur et le tableau (avec ou sans frottement) Justifier.



# Equilibre d'un solide assujetti à tourner autour d'un axe fixe



Comment réussir à dévisser aisément les boulons serrés ?

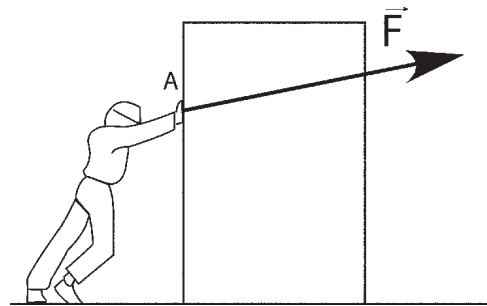
# Equilibre d'un solide assujetti à tourner autour d'un axe fixe

## Je dois être capable :

- ❖ de calculer le moment d'une force par rapport à un axe qui lui est orthogonal;
- ❖ d'appliquer le théorème des moments ;
- ❖ d'expliquer le principe de fonctionnement d'une machine simple.

## Je dois tester mes acquis :

1- Préciser les quatre caractéristiques de la force musculaire  $\vec{F}$  exercée par ce déménageur poussant une armoire au point A.



2- Un tableau, de centre de gravité G, repose en A contre un mur vertical; sa masse est  $m = 4 \text{ kg}$ .

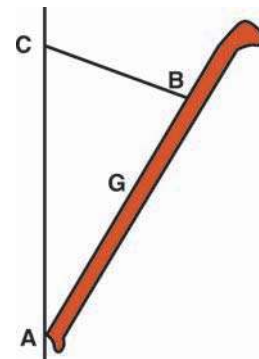
a- Faire le bilan des forces (sans les représenter) qui s'exercent sur le tableau.

b- Copier le schéma puis tracer, les droites d'action de ces forces. Justifier.

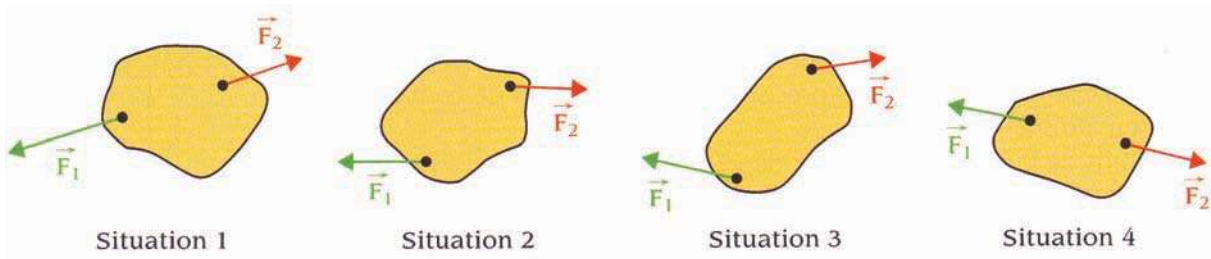
c- Dessiner sur le schéma, à l'échelle

$1\text{cm} \rightarrow 10 \text{ N}$ , le vecteur représentant le poids  $\vec{P}$  du tableau. (on prendra  $\|g\|=10 \text{ N.kg}^{-1}$ ).

d- Déterminer graphiquement toutes ces forces. En déduire l'intensité de chacune d'elles.

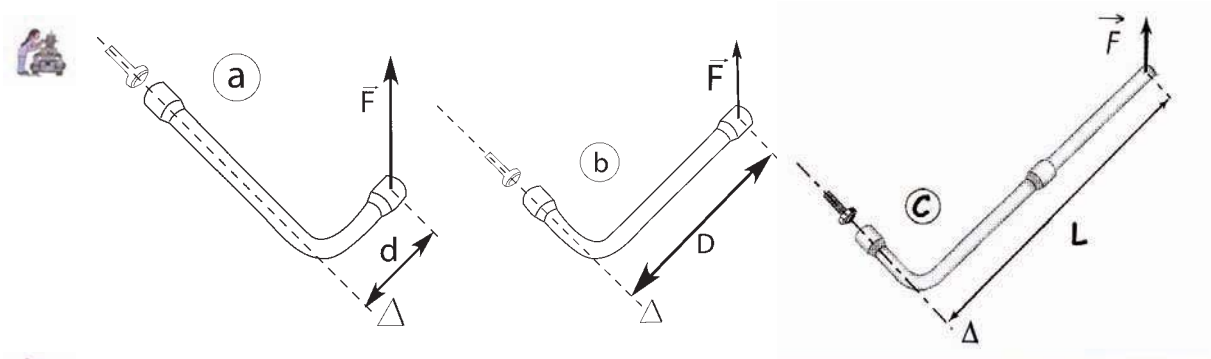


3- Indiquer dans chaque cas si le solide est en équilibre. Justifier la réponse.



## Je construis mes savoirs :

**1** Est-il plus facile de dévisser un écrou avec une clé à pipe, lorsqu'on exerce une force sur le petit bras ou plutôt sur le grand bras ?



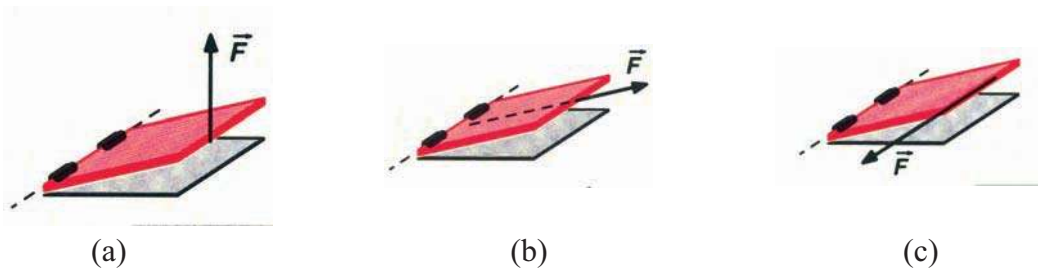
Il est plus difficile de dévisser un écrou avec une clé à pipe, lorsqu'on exerce une force sur le petit bras (figure a) plutôt que sur le grand (figure b).  
Il est encore plus facile de dévisser l'écrou en rallongeant le bras de la clé par une barre (figure c).

**2** Une force a-t-elle un effet de rotation ?

On dispose d'une trappe pouvant tourner autour d'un axe matérialisé par ses gonds.



A l'aide d'une ficelle, exercer une force (la ficelle prend la direction de la force) afin d'ouvrir la trappe.



- La force  $\vec{F}$  permet d'ouvrir la trappe dans le cas (a).
- La force  $\vec{F}$  ne permet pas d'ouvrir la trappe dans les cas (b) et (c).

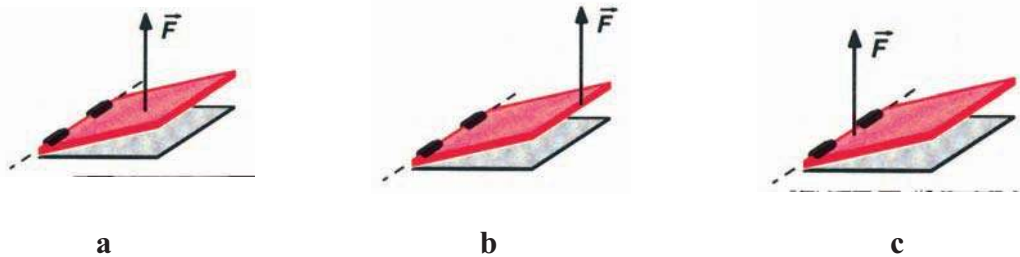


- Une force dont la droite d'action rencontre l'axe de rotation n'a pas d'effet de rotation.
- Une force dont la droite d'action est parallèle à l'axe de rotation n'a pas d'effet de rotation.
- Pour provoquer une rotation, il faut que la droite d'action de la force ne coupe pas l'axe de rotation et ne lui soit pas parallèle.

## Pourquoi il est préférable que la poignée d'une porte soit placée près de l'axe de rotation formé par ses gonds ?



Essayer d'ouvrir la trappe en exerçant une force comme l'indique les schémas a, b et c.



Il est plus facile d'ouvrir la trappe en exerçant une force perpendiculaire loin de l'axe de rotation.



L'effet de rotation d'une force dépend de la distance entre la droite d'action de la force et l'axe de rotation.

Les forces appliquées à la trappe n'ont pas toutes la même efficacité à produire un effet de rotation autour de son axe  $\Delta$ .



Soit une barre à trous, mobile autour d'un axe horizontal ( $\Delta$ ). Une masse marquée (C) est accrochée au centre de la barre. (figure1)

- Maintenir la barre horizontale en exerçant par l'intermédiaire d'un dynamomètre et en différents points de la barre des forces orthogonales à ( $\Delta$ ).
- Mesurer la distance  $d$  entre la force  $\vec{F}$  et l'axe de rotation à l'aide d'une équerre graduée.
- Rassembler les résultats dans un tableau:

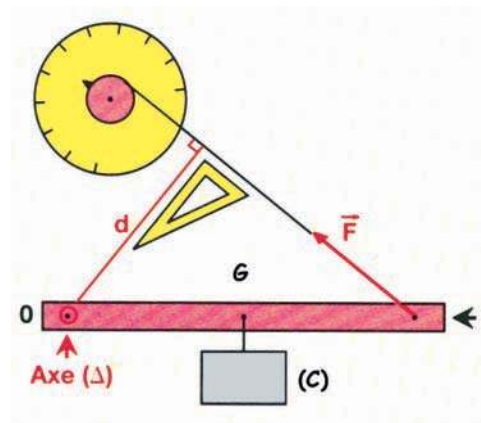


Figure 1

$\ \vec{F}\ $ en N				
d en m				



- Toutes les forces  $\vec{F}$  exercées sur la barre ont même effet de rotation sur le système {barre, (C)} bien qu'elles n'aient pas les mêmes caractéristiques.
- L'efficacité d'une force à provoquer une rotation autour d'un axe dépend :
  - de son intensité ;
  - de la position de sa droite d'action, par rapport à l'axe de rotation.

### Activité :

Quelle relation vérifient  $\|\vec{F}\|$  et  $d$  ?

### 3 Moment d'une force par rapport à un axe fixe.

Le moment d'une force par rapport à un axe ( $\Delta$ ) est une grandeur qui traduit son efficacité à produire un effet de rotation autour de cet axe ( $\Delta$ ).

Le moment, par rapport à un axe ( $\Delta$ ), d'une force  $\vec{F}$  orthogonale à cet axe, est la grandeur obtenue en multipliant la valeur de la force  $\|\vec{F}\|$  par la distance  $d$  séparant sa droite d'action de l'axe.

Le produit  $\|\vec{F}\| \cdot d$  modélise le moment, par rapport à un axe ( $\Delta$ ), de la force  $\vec{F}$ .

On le note  $\mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta}$ .

$$\mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta} = \|\vec{F}\| \cdot d$$

$\|\vec{F}\|$  en newton (N)

$d$  en mètre (m)

$\mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta}$  en newton mètre (N.m)

### Qu'appelle-t-on force orthogonale à un axe ?

Une force est orthogonale à un axe si sa droite d'action est contenue dans un plan perpendiculaire à cet axe (figure2).

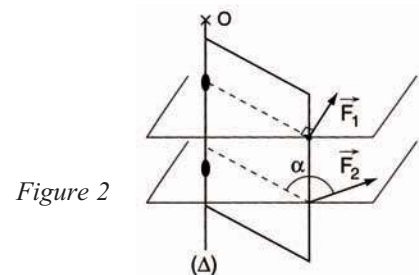


Figure 2

### Que représente la distance $d$ (appelée bras de levier) ?

- La distance  $d$  (ou bras de levier) n'est pas toujours la longueur séparant le point d'application A de la force et l'axe.
- $d$  est la longueur du segment perpendiculaire à la fois à l'axe de rotation ( $\Delta$ ) et à la droite d'action de la force (figure3).

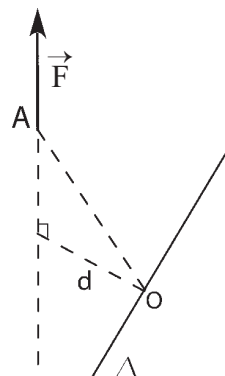
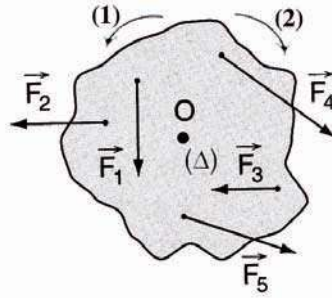


Figure 3

Dans quel sens, les diverses forces ont-elles tendance à faire tourner le corps autour de l'axe passant par (Δ)?



Recopier le tableau et mettre une croix dans la case correspondante.



	①	②
$\vec{F}_1$		
$\vec{F}_2$		
$\vec{F}_3$		
$\vec{F}_4$		
$\vec{F}_5$		



- Une force peut faire tourner un solide dans un sens ou dans l'autre.
- Pour décrire l'effet de rotation d'une force  $\vec{F}$ , il faut préciser deux informations :

- le produit  $\|\vec{F}\| \cdot d$  ;
- le sens dans lequel elle fait tourner le solide.

- Le moment d'une force sera considéré donc comme étant une grandeur algébrique :
  - il est positif s'il tend à faire tourner le solide dans un **sens positif arbitrairement choisi** ;
  - il est négatif dans le cas contraire.

On évalue algébriquement le moment d'une force  $\vec{F}$  par rapport à un axe de rotation (Δ) par l'une des expressions suivantes :

$\mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta} = + \|\vec{F}\| \cdot d$  lorsque  $\vec{F}$  tend à faire tourner le solide dans le sens positif choisi.

$\mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta} = - \|\vec{F}\| \cdot d$  lorsque  $\vec{F}$  tend à faire tourner le solide dans le sens négatif.

### Étudier l'exemple suivant :

Une barrière mobile autour d'un axe (Δ) horizontal est constituée par une tige homogène de masse  $M_1 = 40$  kg et d'un contrepoids de masse  $M_2 = 80$  kg.

Soient  $G_1$  et  $G_2$  leurs centres d'inertie respectifs qui sont alignés avec le point O de l'axe (Δ) (figure 4).

Évaluer les moments des forces  $P_1$  et  $P_2$  par rapport à l'axe (Δ) lorsque la barrière est horizontale.

On donne :  $\|\vec{g}\| = 10 \text{ N.kg}^{-1}$  ;  $OG_1 = 2 \text{ m}$ ,  $OG_2 = 1 \text{ m}$

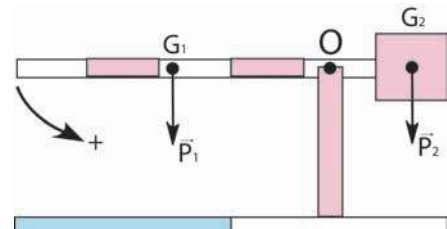


Figure 4

## Réponse :

On évalue le produit  $\|\vec{P}_1\| \cdot d_1$  avec  $d_1 = OG_1$ . On obtient:  $\|\vec{P}_1\| \cdot d_1 = 800 \text{ N.m}$ .

On évalue le produit  $\|\vec{P}_2\| \cdot d_2$  avec  $d_2 = OG_2$ . On obtient:  $\|\vec{P}_2\| \cdot d_2 = 800 \text{ N.m}$ .

$\vec{P}_1$  et  $\vec{P}_2$  ont tendance à faire tourner la barrière dans des sens opposés.

On choisit un sens positif pour les rotations autour de l'axe ( $\Delta$ ).

• La force  $\vec{P}_1$ , a tendance à faire tourner la barrière dans le sens (+): son moment sera compté positivement soit,  $\mathcal{M}_{\vec{P}_1/\Delta} = + \|\vec{P}_1\| \cdot d_1 = + 800 \text{ N.m}$ .

• Par contre, la force  $\vec{P}_2$  a tendance à faire tourner la barrière dans le sens négatif : son moment sera compté négativement soit,  $\mathcal{M}_{\vec{P}_2/\Delta} = - \|\vec{P}_2\| \cdot d_2 = - 800 \text{ N.m}$ .

Le signe du moment dépend du sens positif choisi arbitrairement.

## 4 Notion de couple de forces

Pourquoi un garagiste utilise une clé cruciforme pour visser les boulons d'une roue ?



figure5

Pour visser les boulons, le garagiste exerce sur la clé, généralement avec les deux mains, deux forces opposées  $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$  de droites d'action différentes.

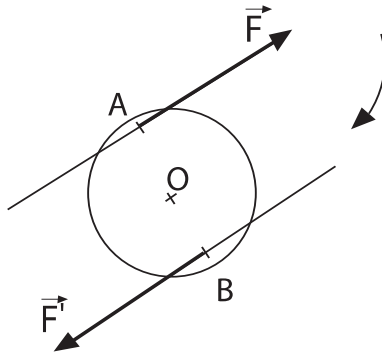
$\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$  constituent un couple noté  $(\vec{F}_1, \vec{F}_2)$  ou tout simplement  $\mathcal{C}$

Un couple de forces  $\mathcal{C}$  est constitué de deux forces  $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$  :

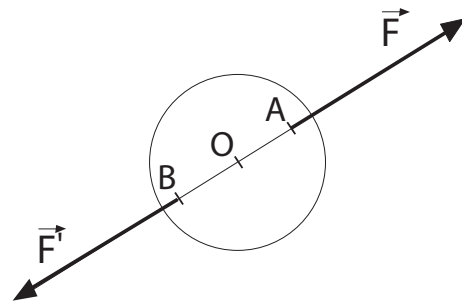
- de droites d'action parallèles distinctes;
- de sens contraire;
- de même valeur.

Les droites d'action définissent un plan appelé **plan du couple**.

L'action provoquée par le couple est une rotation autour d'un axe perpendiculaire à ce plan.



Le solide subit une rotation.  
 $\vec{F}$  et  $\vec{F}'$  forment un couple de forces.



Le solide est en équilibre.  $\vec{F}$  et  $\vec{F}'$  ne forment plus un couple de forces ayant un effet de rotation.

### Moment d'un couple de forces

Un couple de forces orthogonales à l'axe de rotation ( $\Delta$ ) passant par O est caractérisé par son moment  $\mathcal{M}_e$ .

Pour le couple  $\mathcal{C}_1$  ou  $(\vec{F}_1, \vec{F}_2)$

$$\mathcal{M}_{e_1} = \mathcal{M}_{\vec{F}_1/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{F}_2/\Delta} = \|\vec{F}_1\| \cdot d_1 + \|\vec{F}_2\| \cdot d_2$$

$$\text{donc } \mathcal{M}_{\vec{F}_1/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{F}_2/\Delta} = \|\vec{F}\| \cdot (d_1 + d_2)$$

$\|\vec{F}\| = \|\vec{F}_1\| = \|\vec{F}_2\|$  est la valeur commune (exprimée en N) des forces du couple  $\mathcal{C}_1$ .

$d = d_1 + d_2$  est la distance (exprimée en m) séparant les droites d'action de celles-ci.

$$\text{D'où } \mathcal{M}_{e_1} = \|\vec{F}\| \cdot d.$$

Le couple  $\mathcal{C}_1$  tend à faire tourner le solide dans le sens positif choisi.

Pour le couple  $\mathcal{C}_2$  ou  $(\vec{F}'_1, \vec{F}'_2)$

$$\mathcal{M}_{e_2} = \mathcal{M}_{\vec{F}'_1/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{F}'_2/\Delta} = -\|\vec{F}'_1\| \cdot d'_1 - \|\vec{F}'_2\| \cdot d'_2$$

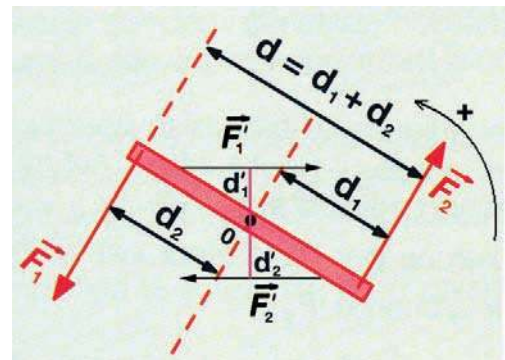
$$\text{donc } \mathcal{M}_{\vec{F}'_1/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{F}'_2/\Delta} = -\|\vec{F}'\| \cdot (d'_1 + d'_2)$$

$\|\vec{F}'\| = \|\vec{F}'_1\| = \|\vec{F}'_2\|$  est la valeur commune (exprimée en N) des forces du couple  $\mathcal{C}_2$ .

$d' = d'_1 + d'_2$  est la distance (exprimée en m) séparant les droites d'action de celles-ci.

$$\text{D'où } \mathcal{M}_{e_2} = -\|\vec{F}'\| \cdot d'.$$

Le couple  $\mathcal{C}_2$  tend à faire tourner le solide dans le sens négatif.



On choisit par convention un signe pour le sens de la rotation

Le moment  $\mathcal{M}_e$  d'un couple de forces ( $\vec{F}_1, \vec{F}_2$ ) par rapport à un axe ( $\Delta$ ) perpendiculaire au plan du couple est égal, à un signe près, au produit de la valeur commune des forces par la distance  $d$  qui sépare leurs droites d'action.

$$\mathcal{M}_e = \mathcal{M}(\vec{F}_1, \vec{F}_2) = \pm \|\vec{F}\| \cdot d$$

Ce résultat ne dépend pas de la position de l'axe ( $\Delta$ )

En choisissant par convention un signe pour le sens de rotation, on attribue au moment une valeur algébrique :

- $\mathcal{M}_e = + \|\vec{F}\| \cdot d > 0$ , si le couple tend à faire tourner le solide dans le sens positif arbitrairement choisi;
- $\mathcal{M}_e = - \|\vec{F}\| \cdot d < 0$ , si le couple tend à faire tourner le solide dans le sens négatif.

### Une force unique peut-elle en réalité avoir un effet de rotation ?



- Eliminer les gonds de la trappe.
- Essayer d'ouvrir la trappe en exerçant une force orthogonale à l'axe défini par les gonds.



- La force appliquée fait tourner et translater la trappe jusqu'à ce que sa droite d'action devienne dans le plan de la trappe. A partir de ce moment, la force dont la droite d'action vient se confondre avec celui du poids  $\vec{P}$  de la trappe provoque un glissement sans rotation.



- Cette force n'est pas capable de faire tourner la trappe autour de son axe de rotation.

Une seule force ne peut pas avoir un effet de rotation uniquement.

La rotation d'un solide autour d'un axe ne peut pas se produire sous l'effet d'une seule force.

### Activité :

On considère un disque assujéti à tourner autour d'un axe fixe ( $\Delta$ ) passant par son centre d'inertie  $G$ .



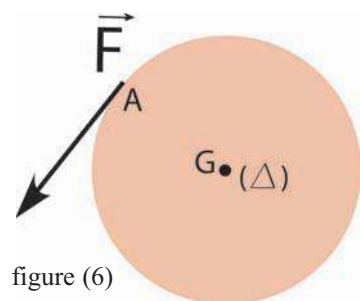
- Exercer en un point  $A$  du disque une force  $\vec{F}$  orthogonale à l'axe ( $\Delta$ ) (figure 6).



- Le disque tourne autour de l'axe fixe ( $\Delta$ ).



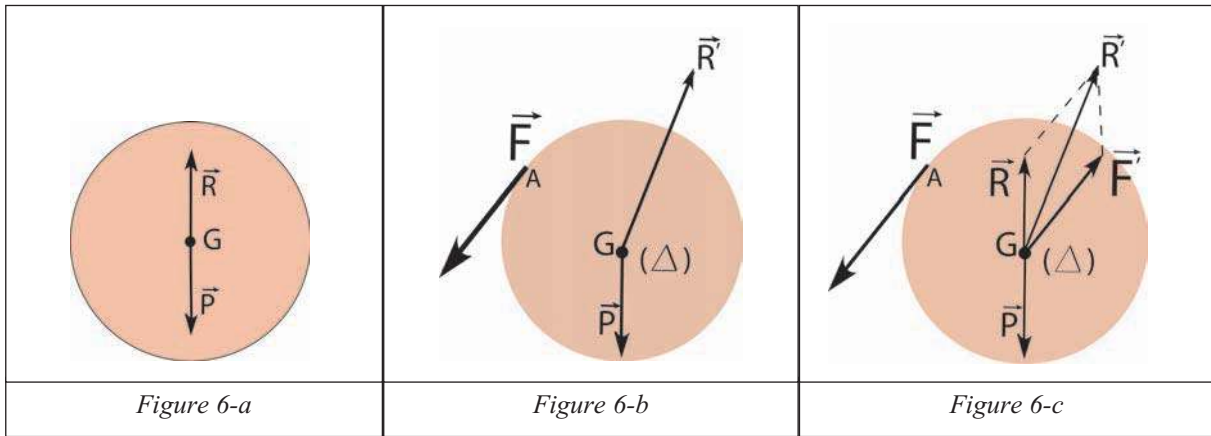
- Avant d'exercer la force  $\vec{F}$ , le disque est soumis à l'action de son poids  $\vec{P}$  et de la réaction  $\vec{R}$  de l'axe ( $\Delta$ ), avec  $\vec{P} = -\vec{R}$ . (figure 6-a)
- En exerçant la force  $\vec{F}$ , Le disque est alors soumis à  $\vec{F}$ , à  $\vec{P}$  et à une nouvelle réaction  $\vec{R}'$ .



En effet le centre d'inertie G du disque reste fixe, alors  $\vec{P} + \vec{R}' + \vec{F} = 0$  d'où  $\vec{R}' = -(\vec{P} + \vec{F})$ .

Etant donné  $\vec{R} = -\vec{P}$  alors  $\vec{R}' = \vec{R} - \vec{F}$  soit  $\vec{R}' \neq \vec{R}$  (figure 6-b)

**La force  $\vec{F}$  modifie la réaction de l'axe ( $\Delta$ ).**



Le disque n'est plus en équilibre, il tourne autour de l'axe fixe ( $\Delta$ ). Comment peut-on expliquer la rotation du disque ?

La réaction  $\vec{R}'$  peut être décomposée en deux forces  $\vec{R}$  et  $\vec{F}'$  :

$\vec{R}$  est directement opposée à  $\vec{P}$  soit  $\vec{R} = -\vec{P}$ .

$\vec{F}'$  parallèle à  $\vec{F}$ , de même valeur et de sens contraires.  $\vec{F}'$  et  $\vec{F}$  constituent un couple de forces. Ce couple produit la rotation du disque ( figure 6-c)

$$M_e = \mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{F}'/\Delta}.$$

Or  $\mathcal{M}_{\vec{F}'/\Delta} = 0$  car la direction de la force  $\vec{F}'$  coupe l'axe ( $\Delta$ ) ainsi  $M_e = \mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta}$

La rotation du disque est due au couple de forces ( $\vec{F}, \vec{F}'$ ) dont le moment par rapport à l'axe ( $\Delta$ ) est égale à celui de la force par rapport au même axe.

### 5 A quelle relation entre les moments des forces appliquées à un solide conduit l'absence de rotation autour d'un axe ( $\Delta$ ) ?

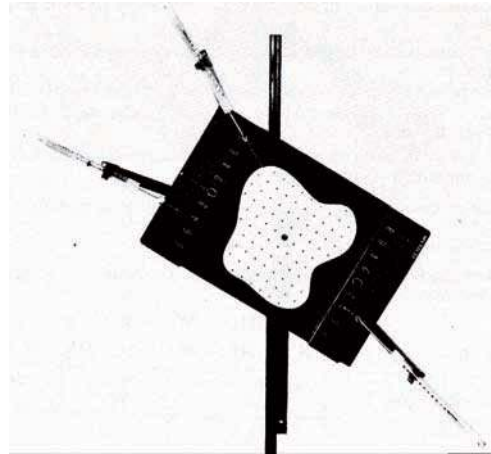
#### Matériel

- dispositif pour l'étude des moments;
- des dynamomètres.



Le solide étudié est une plaque mobile autour d'un axe fixe ( $\Delta$ ) passant par son centre d'inertie.

- Exercer sur le solide trois forces  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  et  $\vec{F}_3$  par l'intermédiaire de trois dynamomètres ( $D_1$ ), ( $D_2$ ) et ( $D_3$ ) de manière à ce que le moment de chacune d'elles ne soit pas nul, et que la plaque soit en équilibre.
- Noter la valeur de chacune de ces trois forces.
- Noter les valeurs  $d_1$ ,  $d_2$  et  $d_3$  des distances séparant respectivement les droites d'actions de  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  et  $\vec{F}_3$  à l'axe ( $\Delta$ ).
- Choisir un sens positif pour les rotations
- Calculer les moments des forces  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  et  $\vec{F}_3$  par rapport à l'axe ( $\Delta$ ) passant par O.



➤ Système (plaque).

Les forces extérieures :

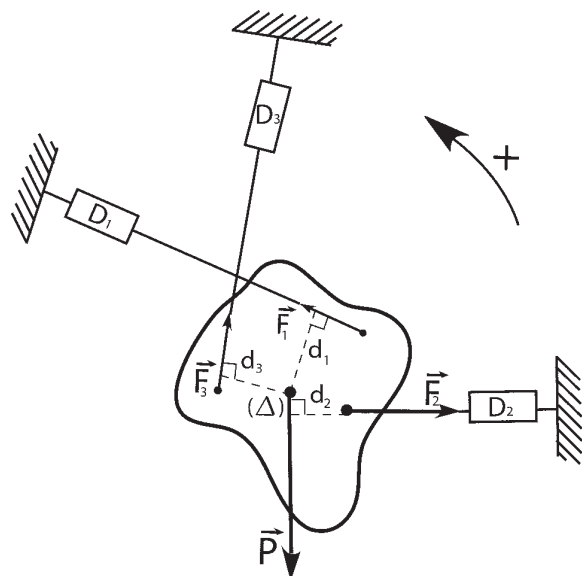
- $\vec{P}$  : le poids de la plaque
- $\vec{R}$  : la réaction de l'axe (non représentée)
- $\vec{F}_1$  : force exercée par l'intermédiaire du dynamomètre ( $D_1$ );
- $\vec{F}_2$  : force exercée par l'intermédiaire du dynamomètre ( $D_2$ );
- $\vec{F}_3$  : force exercée par l'intermédiaire du dynamomètre ( $D_3$ ).

➤ Les moments des forces exercées

- $\mathcal{M}_{\vec{P}/\Delta} = 0$  car la droite d'action de  $\vec{P}$  coupe l'axe ( $\Delta$ ).
- $\mathcal{M}_{\vec{R}/\Delta} = 0$  car la droite d'action de  $\vec{R}$  coupe l'axe ( $\Delta$ ).

La réaction  $\vec{R}$  obéit à :  $\vec{P} + \vec{R} + \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{0}$ .

- $\mathcal{M}_{\vec{F}_1/\Delta} = + \|\vec{F}_1\| \cdot d_1$
- $\mathcal{M}_{\vec{F}_2/\Delta} = + \|\vec{F}_2\| \cdot d_2$
- $\mathcal{M}_{\vec{F}_3/\Delta} = - \|\vec{F}_3\| \cdot d_3$



➤ Rassembler les résultats dans un tableau

Force	Valeur de la force en N	Distance à l'axe ( $\Delta$ ) en m	Sens de rotation	Moment de la force en N.m
$\vec{F}_1$	$\ \vec{F}_1\ $	$d_1$	+	
$\vec{F}_2$	$\ \vec{F}_2\ $	$d_1$	+	
$\vec{F}_3$	$\ \vec{F}_3\ $	$d_1$	-	

On constate que la somme algébrique des moments, par rapport à l'axe ( $\Delta$ ), des forces agissant sur la plaque est nulle.

$$\text{Soit } \mathcal{M}_{\vec{F}_1/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{F}_2/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{F}_3/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{P}/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{R}/\Delta} = 0$$

Ceci conduit à un théorème dit théorème des moments.

### **Théorème des moments :**

Lorsqu'un solide mobile autour d'un axe fixe ( $\Delta$ ) est en équilibre, la somme algébrique des moments, par rapport à l'axe, des forces extérieures agissant sur le solide est nulle.

$$\sum \mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta} = 0$$

### **Remarque :**

La réciproque de ce théorème n'est pas toujours vraie.

Un solide assujéti à tourner autour d'un axe fixe ( $\Delta$ ) soumis à des forces extérieures telles que la somme algébrique de leur moment par rapport à l'axe ( $\Delta$ ) soit nulle, n'est pas nécessairement en équilibre : il peut être, d'après le principe d'inertie, en mouvement de rotation uniforme autour de l'axe.

Si un système soumis à un ensemble de forces est en équilibre, alors les conditions suivantes sont simultanément vérifiées :

- Le dynamique des forces exercées sur le système est fermé ( $\sum \vec{F} = \vec{0}$ )

- Le théorème des moments de toutes ces forces par rapport à un axe de rotation ( $\Delta$ ) doit être vérifié.

$$\sum \mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta} = 0$$

## Applications : les machines simples.

### La poulie à axe fixe



Réaliser l'expérience de la figure ci-contre .

Une charge de poids  $\vec{P}$  de valeur  $\|\vec{P}\| = 1 \text{ N}$  est suspendue à un dynamomètre par l'intermédiaire d'une poulie de rayon  $r$  et de poids de valeur  $\|\vec{P}'\|$  négligeable devant celle de la charge  $\vec{P}$

$\vec{T}'$  tend à faire tourner la poulie dans

le sens positif choisi. Son moment  $\mathcal{M}_{\vec{T}'/\Delta}$

est égal à  $\|\vec{T}'\| \cdot d_1 = \|\vec{P}\| \cdot r$  puisque  $\vec{T}' = \vec{P}$

$\vec{T}$  tend à faire tourner la poulie dans l'autre sens. Son moment est égal à :

$\mathcal{M}_{\vec{T}/\Delta} = - \|\vec{T}\| \cdot d_2 = - \|\vec{F}\| \cdot r$  puisque  $\vec{T} = \vec{F}$ .

D'après le théorème des moments :

$\mathcal{M}_{\vec{T}/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{T}'/\Delta} = 0$  ou  $\|\vec{P}\| \cdot r - \|\vec{F}\| \cdot r = 0$ .

La valeur de  $\vec{F}$  est donc égale à celle de  $\vec{P}$  ;

$\|\vec{F}\| = \|\vec{P}\|$ .

Cette égalité est confirmée par l'expérience ( $\|\vec{F}\| = 1 \text{ N}$ )

Une poulie ne modifie pas la valeur d'une force ; elle permet de modifier la direction et le sens de la force.

#### Activité :

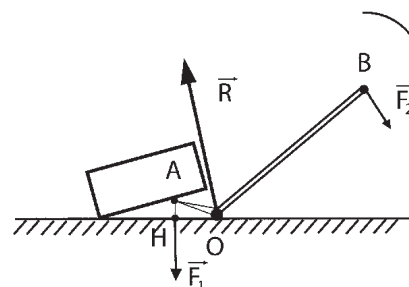
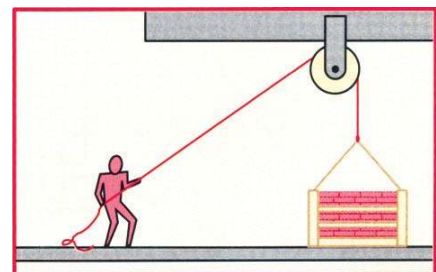
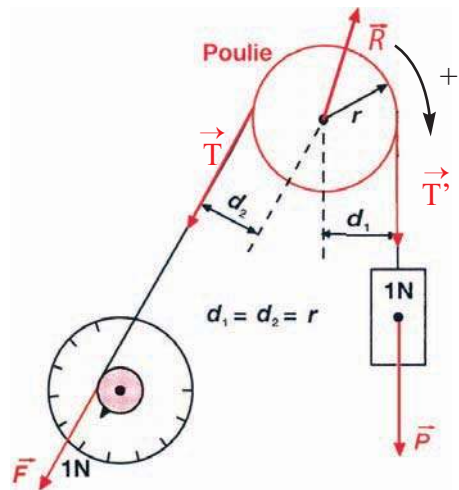
L'opérateur de la figure ci-contre a pour masse 80 kg. Peut-il soulever la caisse de briques de masse 100 kg ?

#### Le levier

Le pied de biche, la pédale de frein d'une voiture, la brouette, les tenailles, les pinces, les cisailles... sont des leviers.

Le levier de la figure ci-contre est utilisé pour soulever une charge très lourde. Il peut tourner autour d'un axe passant par son point d'appui O.

La force exercée par l'opérateur est notée  $\vec{F}_2$ .



Comment soulever une pierre sans effort?

## Équilibre d'un levier.

D'après le théorème des moments, à l'équilibre :

$$\mathcal{M}_{\vec{F}_1/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{F}_2/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{R}/\Delta} = 0.$$

$$\mathcal{M}_{\vec{R}/\Delta} = 0 \text{ car } \vec{R} \text{ coupe l'axe de rotation.}$$

$$\text{soit - } \|\vec{F}_1\| \cdot OH + \|\vec{F}_2\| \cdot OB + 0 = 0 \quad \text{d'où } \|\vec{F}_2\| = \frac{\|\vec{F}_1\| \cdot r}{L}$$

Plus la distance OB est grande par rapport à OH donc à OA , plus l'intensité de  $\vec{F}_2$  à fournir est petite par rapport à celle de  $\vec{F}_1$

On distingue trois types de leviers.

### ❖ Les leviers inter-appui

le point d'appui se trouve entre le point application de la force motrice et celui de la force résistante



Un pied de biche



Une paire de ciseaux

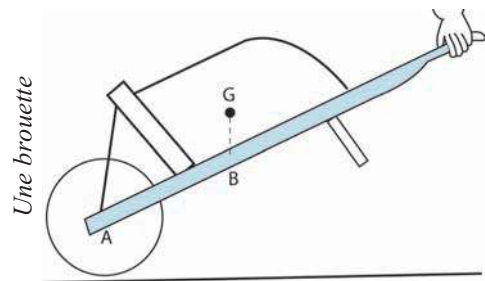
Dans l'utilisation d'un levier de ce type, il ne faut pas oublier que le point d'appui supporte une force égale à la somme vectorielle des forces motrices et résistantes appliquée au levier. Il est donc nécessaire de prévoir une solidité et un calage suffisants pour cet appui.

### ❖ Les leviers inter-résistant

Le point d'application de la force résistante s'applique entre le point d'application de la force motrice et le point d'appui.



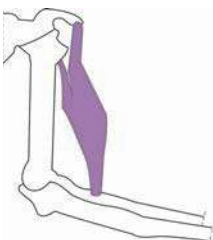
Un casse noix



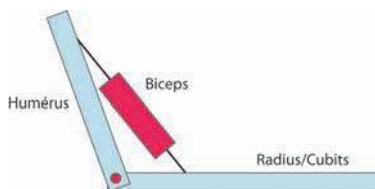
Une brouette

### ❖ Les leviers inter-moteur

Le point d'application de la force motrice est placée entre le point d'appui et le point d'application de la force résistante.



Le biceps exerce sur l'avant-bras la force motrice. L'articulation du coude joue le rôle de point d'appui



Le vérin exerce sur la benne la force motrice

## Le treuil

Le treuil représenté à la figure ci contre est constitué d'un tambour de rayon  $r$  solidaire d'une manivelle de longueur  $L$  fixée sur son axe.

Une charge de poids  $\vec{P}$  est fixée à une corde enroulée sur le tambour.

L'opérateur exerce une force  $\vec{F}$ , à l'extrémité de la manivelle, perpendiculairement à celle-ci. Soit à déterminer une relation entre les intensités du poids de la charge et de la force à exercer par l'opérateur pour maintenir le treuil en équilibre

(on néglige les frottements devant  $\vec{P}$  et  $\vec{F}$ ).

### Équilibre d'un treuil.

A l'équilibre, la somme des moments par rapport à l'axe  $(\Delta)$  des forces extérieures appliquées au solide est nulle.

■ Système étudié : ( la charge).

Forces appliquées : la tension  $\vec{T}'$  de la corde, le poids  $\vec{P}$ .

A l'équilibre  $\vec{P} + \vec{T}' = 0$  soit  $\|\vec{P}\| = \|\vec{T}'\|$

■ Système étudié : (le treuil)

Forces appliquées : la réaction  $\vec{R}$  de l'axe, le poids du tambour  $\vec{p}$ , la tension  $\vec{T}$  du câble et la force  $\vec{F}$  exercée sur le manivelle.

**On choisit un sens positif** et on évalue les moments des forces par rapport à l'axe  $(\Delta)$ .

$\mathcal{M}_{\vec{R}/\Delta} = 0$  ;  $\mathcal{M}_{\vec{p}/\Delta} = 0$  : leurs droites d'action coupent l'axe de rotation

La corde transmet la tension  $\|\vec{T}'\| = \|\vec{T}\|$ .

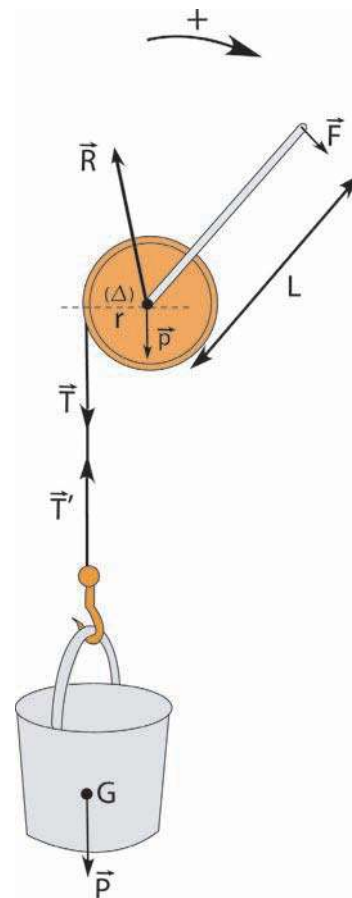
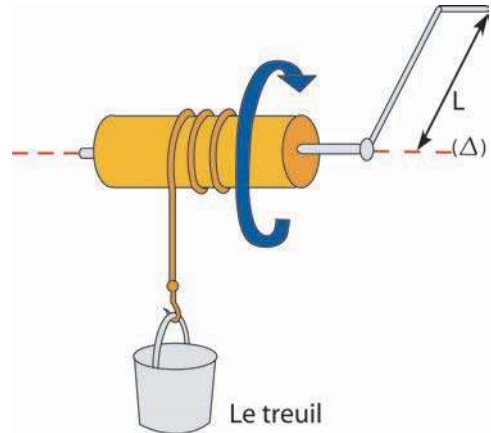
$\mathcal{M}_{\vec{T}/\Delta} = - \|\vec{T}\| \cdot r = - \|\vec{T}'\| \cdot r$

$\mathcal{M}_{\vec{F}_2/\Delta} = \|\vec{F}\| \cdot L$

Or  $\mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{T}/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{R}/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{p}/\Delta} = 0$

Soit  $\|\vec{F}\| \cdot L - \|\vec{T}\| \cdot r = 0$

Ce qui entraîne  $\|\vec{F}\| = \frac{\|\vec{T}\| \cdot r}{L}$



Plus  $r$  est petit et  $L$  est grande plus l'intensité de  $\vec{F}$  pour vaincre  $\vec{P}$  est faible.

## La balance

Elle comporte:

- un fléau, bras rigide mobile autour d'un axe horizontal fixe ( $\Delta$ ) passant par O .
- deux plateaux fixés aux extrémités A et B du fléau.

Le fléau repose en son milieu sur l'arête d'un couteau ayant la forme d'un petit prisme dont l'arête très fine est parfaitement rectiligne.

Le fléau de la balance est en équilibre sous l'action des forces suivantes:

- son poids  $\vec{P}$  dont la droite d'action passe par l'arête du couteau,
- la réaction  $\vec{R}$  du couteau,
- les poids  $\vec{P}_1$  et  $\vec{P}_2$  des deux plateaux ;
- Les forces  $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$  exercées par les charges placées sur les plateaux.

Les actions  $\vec{p}$  et  $\vec{R}$  n'ont pas d'effet de rotation.

Lorsque l'ensemble(fléau , plateaux et charges) mobile autour de ( $\Delta$ ) est en équilibre :

$$\mathcal{M}\vec{P}_1/\Delta + \mathcal{M}\vec{P}_2/\Delta + \mathcal{M}\vec{F}_1/\Delta + \mathcal{M}\vec{F}_2/\Delta + \mathcal{M}\vec{R}/\Delta = 0$$

La construction de la balance est telle que les deux plateaux soient équilibrés,c'est à dire :

$$\mathcal{M}\vec{P}_1/\Delta + \mathcal{M}\vec{P}_2/\Delta = 0$$

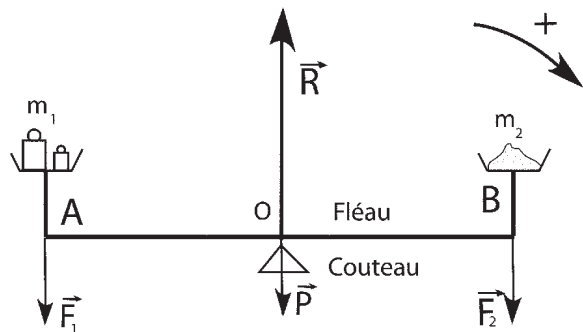
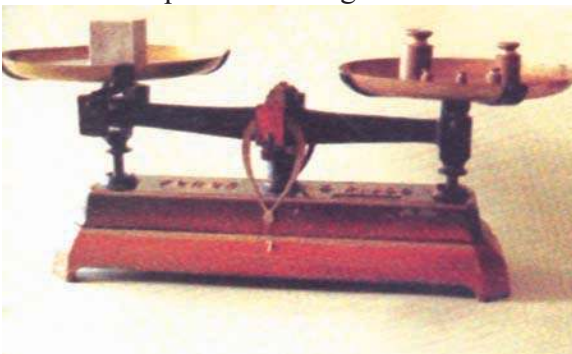
Compte tenu du sens positif choisi à l'équilibre on a :

$$-\|\vec{F}_1\| \cdot OA + \|\vec{F}_2\| \cdot OB = 0 \text{ ou } \|\vec{F}_1\| \cdot OA = \|\vec{F}_2\| \cdot OB$$

Les forces exercées étant proportionnelles aux masses  $m_1$  et  $m_2$  à comparer, la relation s'écrit :

$$m_1 \cdot OA = m_2 \cdot OB$$

Si les longueurs OA et OB des bras du fléau sont égales, à l'équilibre, les masses  $m_1$  et  $m_2$  qui réalisent l'équilibre sont égales.



Une balance permet d'effectuer des comparaisons de masses.

# EXERCICE RESOLU

On considère le système ci-contre, en équilibre, constitué du pied de biche (B) et du solide (S)

de poids  $\vec{P}$  tel que  $\|\vec{P}\| = 1000 \text{ N}$ .

1- a- Faire l'inventaire des forces extérieures qui s'exercent sur (S).

b- Préciser les caractéristiques de ces forces.

-Représenter ces forces à l'échelle  $1 \text{ cm} \rightarrow 400 \text{ N}$ .

2- On exerce une force  $\vec{F}_A$  en A, comme l'indique la figure

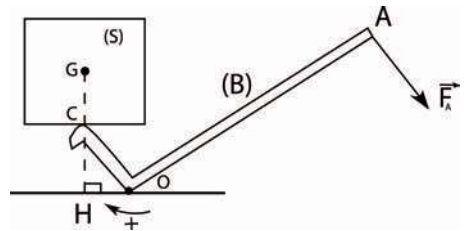
a- Faire l'inventaire des forces qui s'exercent sur le pied de biche (B) de poids négligeable devant  $\vec{F}_A$  et  $\vec{P}$ .

b- Donner les caractéristiques de la force  $\vec{F}'_c$  exercée par (S) sur (B), puis représenter  $\vec{F}_c$ .

3- a- Énoncer la condition d'équilibre d'un solide assujéti à tourner autour d'un axe fixe.

b- En déduire l'intensité de  $\vec{F}_A$  sachant que  $OA = 1 \text{ m}$ ,  $OC = 20 \text{ cm}$  et  $OH = 15 \text{ cm}$ .

c- Comment peut-on déterminer la valeur de la réaction  $\vec{R}$  ? La représenter.



## Réponse :

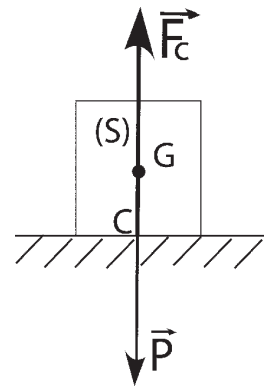
1- a- Deux forces s'exercent sur (S) :

Le poids  $\vec{P}$  de (S) et la force  $\vec{F}'_c$  exercée par le pied de biche sur (S).

b- (S) étant en équilibre :  $\vec{P} + \vec{F}'_c = 0$   
Ces deux forces ont même droite d'action, sont de sens contraires et ont la même valeur .

Ces forces opposées sont représentées par des vecteurs

de même longueur soit  $= \frac{1000}{400} = 2,5 \text{ cm}$ .



2- a- Sur (B) s'exercent les forces  $\vec{F}_A$ ,  $\vec{F}_c$  exercée par (S) sur (B), et la réaction  $\vec{R}$  du plan en O.

b- D'après le principe d'interaction :  $\vec{F}'_c + \vec{F}_c = 0$

d'où  $\|\vec{F}'_c\| = \|\vec{F}_c\| = 1000 \text{ N}$ .

3- a- Lorsqu'un solide assujéti à tourner autour d'un axe fixe ( $\Delta$ ) est en équilibre, la somme algébrique des moments, par rapport à cet axe, de toutes les forces extérieures appliquées à ce solide est nulle, soit  $\sum \mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta} = 0$ .

b- On doit avoir :  $\mathcal{M}_{\vec{F}_A/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{F}_C/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{R}/\Delta} = 0$ .

Or  $\mathcal{M}_{\vec{F}_A/\Delta} = \|\vec{F}_A\| \cdot OA$  ;  $\mathcal{M}_{\vec{F}_C/\Delta} = -\|\vec{F}_C\| \cdot OH$  ;

$\mathcal{M}_{\vec{R}/\Delta} = 0$  car la droite d'action de  $\vec{R}$  rencontre  $(\Delta)$ . D'où :

$$\|\vec{F}_A\| \cdot OA - \|\vec{F}_C\| \cdot OH = 0 \text{ donc } \|\vec{F}_A\| = \frac{\|\vec{F}_C\| \cdot OH}{OA} = 150 \text{ N.}$$

c- A l'équilibre du pied de biche  $\vec{F}_A + \vec{F}_C + \vec{R} = \vec{0}$

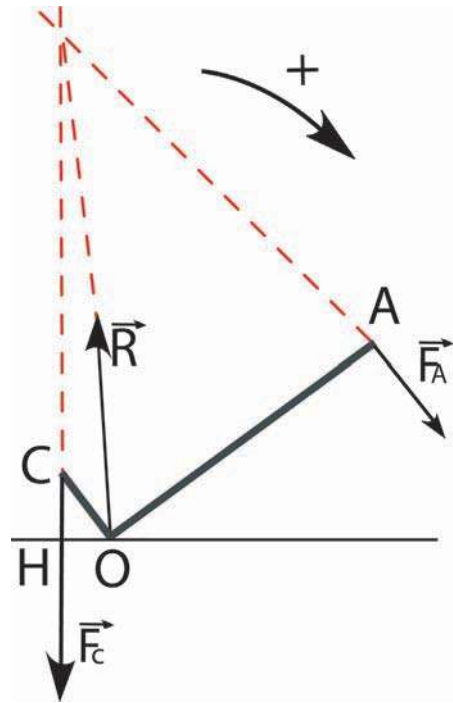
soit  $\vec{R} = -(\vec{F}_A + \vec{F}_C)$

Les trois forces  $\vec{F}_A$ ,  $\vec{F}_C$  et  $\vec{R}$  sont situées dans un même plan, les trois droites d'action concourent en un seul point.

La droite d'action de la réaction  $\vec{R}$  passe par le point I, point d'intersection des droites d'action de  $\vec{F}_A$  et de  $\vec{F}_C$ .

La construction géométrique de la somme des trois forces permet de déterminer graphiquement

la valeur de la réaction  $\vec{R}$ .



## L' ESSENTIEL

Le moment d'une force  $\vec{F}$  par rapport à un axe de rotation ( $\Delta$ ) est une grandeur physique qui traduit son efficacité à produire un effet de rotation du solide autour de cet axe ( $\Delta$ ) .

Le moment d'une force  $\vec{F}$  dont la droite d'action est située à la distance  $d$  de l'axe de rotation ( $\Delta$ ) dépend de  $\|\vec{F}\|$  et de  $d$ .

On évalue algébriquement le moment d'une force  $\vec{F}$  par rapport à un axe de rotation ( $\Delta$ ) par l'une des expressions suivantes :

$\mathcal{M}(\vec{F}/\Delta) = +\|\vec{F}\|. d$  lorsque  $\vec{F}$  tend à faire tourner le solide dans un sens positif choisi arbitrairement.

$\mathcal{M}(\vec{F}/\Delta) = -\|\vec{F}\|. d$  lorsque  $\vec{F}$  tend à faire tourner le solide dans le sens négatif.

L'unité de moment d'une force est le newton.mètre (N.m)

- Théorème des moments :

Lorsqu'un solide mobile autour d'un axe fixe ( $\Delta$ ) est en équilibre, la somme algébrique des moments, par rapport à l'axe, des forces extérieures agissant sur le solide est nulle.

$$\sum_{i=1}^n \mathcal{M}(\vec{F}_i/\Delta) = 0$$

- Un couple de force est un ensemble de deux forces ayant :
  - des droites d'action distinctes et parallèles,
  - des sens opposés,
  - des valeurs égales.

On le note  $\mathcal{C}$

Le moment d'un couple de forces  $\mathcal{C}$  est égal, à un signe près, au produit de la valeur

commune  $\|\vec{F}\|$  des deux forces par la distance  $d$  entre leurs droites d'action :

$$\mathcal{M}_e = \pm \|\vec{F}\|. d$$



<http://www.irem.univ-mrs.fr/activites/lp/geoplan/thmoment.g2w>  
[www.ac-reims.fr/datica/math-sciences/tp\\_meca\\_bep.htm](http://www.ac-reims.fr/datica/math-sciences/tp_meca_bep.htm)

# EXERCICES EXERCICES

## Est-ce que je connais ?

**1** Recopier et compléter les phrases suivantes.

a- Le moment d'une force  $\vec{F}$  par rapport à un axe ( $\Delta$ ) est donné par la formule.....

Dans cette formule,  $\|\vec{F}\|$  est l'intensité de la force et d est.....

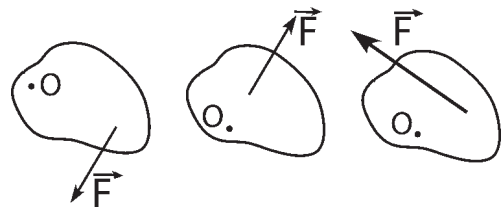
b- Lorsqu'un solide assujéti à tourner autour d'un axe fixe est en équilibre, la somme des moments..... qui tendent à le faire tourner dans un sens est égale à la somme ..... L'unité de moment d'une force est le .....

**2** Répondre, en justifiant, par vrai ou faux.

- On ne peut définir le moment d'une force que s'il existe un axe de rotation.
- L'effet de rotation d'une force ne dépend que de sa valeur et de sa direction.
- Deux forces colinéaires et de même sens mais d'intensités différentes peuvent avoir, par rapport à un axe, le même moment.
- Une balance Roberval est en équilibre quand les moments des poids des deux objets placés sur les plateaux ont une somme nulle.
- Trois forces dont la somme vectorielle est nulle ont une somme des moments par rapport à un axe fixe toujours nulle.

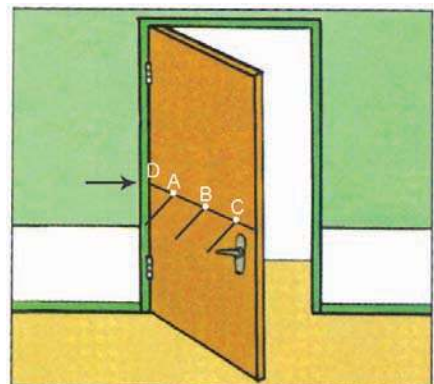
**3** Recopier les schémas.

- a- Indiquer dans chaque cas si la force a un effet de rotation.  
b- Représenter la distance d de la droite d'action de la force à l'axe de rotation.



**4** Pour fermer cette porte, parmi les quatre possibilités offertes (pousser en A, en B, en C, ou en D)

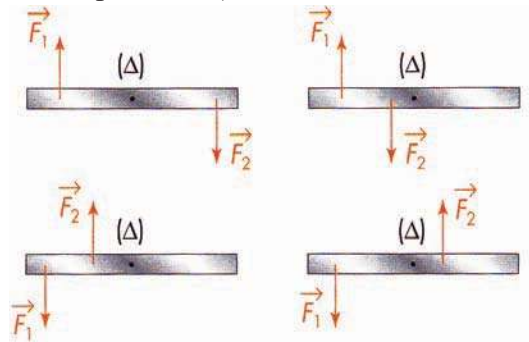
- a- Dans quel(s) cas la porte ne tournera-t-elle pas ?  
b- Dans quel cas l'effort à fournir sera-t-il moindre ?



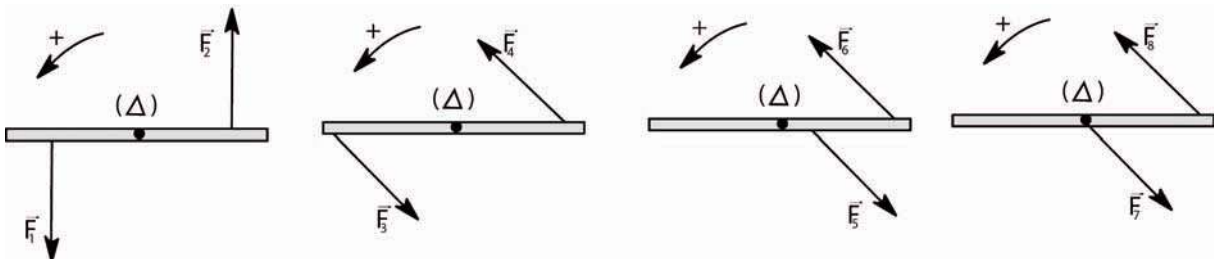
**5** Choisir la bonne réponse

- a- La valeur absolue du moment d'un couple de forces est égal au produit de l'intensité des forces par la distance qui sépare (*les points d'application / les droites d'action*) des deux forces.
- b- La distance qui sépare les droites d'action des forces d'un couple (*n'est jamais / est parfois*) égale à la distance qui sépare les points d'application des forces.
- c- Le moment (*d'un couple / d'une force*) est indépendant de la position de l'axe de rotation.
- d- L'unité de moment est (*le newton mètre / newton par mètre*).

**6** Reproduire les dessins ci-dessous et indiquer, pour chacun, le sens dans lequel fait tourner le couple agissant.

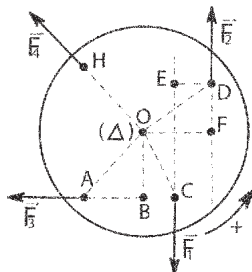


**7** Préciser dans chaque cas de figure le signe (positif ou négatif) de la valeur algébrique du moment du couple représenté. L'axe  $\Delta$  est perpendiculaire au plan de figure.



**8** Un disque homogène vertical est mobile autour d'un axe  $(\Delta)$  horizontal passant par son centre  $O$ .

Le disque est soumis à un couple  $(\vec{F}_1, \vec{F}_2)$  et aux forces  $\vec{F}_3$  et  $\vec{F}_4$ .



1- Pourquoi les forces  $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$  constituent-elles un couple, alors que  $\vec{F}_3$  et  $\vec{F}_4$  n'en constituent pas un ?

2- Avec  $\|\vec{F}\| = \|\vec{F}_1\| = \|\vec{F}_2\|$  le moment du couple vaut-il :

a-  $\|\vec{F}\|.OC$  ?

b-  $\|\vec{F}\|.OF$  ?

c-  $-\|\vec{F}\|.ED$  ?

d-  $-\|\vec{F}\|.OD$  ?

e-  $\|\vec{F}\|.ED$  ?

3- Le moment de la force  $\vec{F}_3$ , par rapport à l'axe  $(\Delta)$  vaut-il :

a-  $\|\vec{F}_3\|.OA$  ?

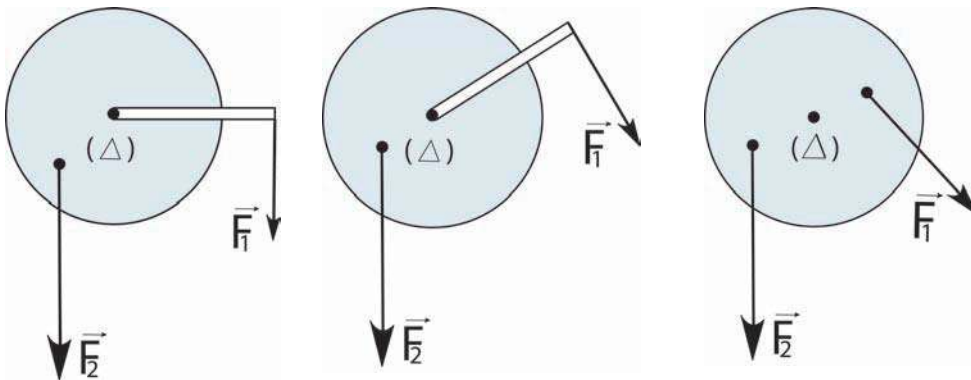
b-  $\|\vec{F}_3\|.OB$  ?

c-  $-\|\vec{F}_3\|.OA$  ?

d-  $-\|\vec{F}_3\|.OB$  ?

4- Quel est le moment de la force  $\vec{F}_4$  par rapport à l'axe  $(\Delta)$  ?

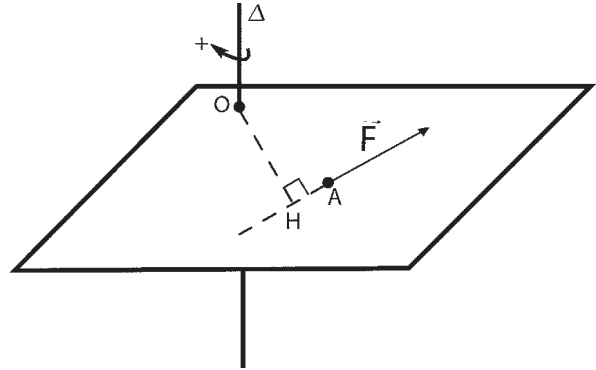
**9** Sur les schémas suivants, les solides sont en équilibre. Reconnaître dans chaque cas les couples associés à  $\vec{F}_1$  et à  $\vec{F}_2$ . Les représenter par un couple de forces (la tige a un poids de valeur négligeable devant ceux de  $\vec{F}_1$  et de  $\vec{F}_2$ ).



## Est-ce que je sais appliquer ?

**1** Soit une force  $\vec{F}$  orthogonale à un axe  $(\Delta)$ . La valeur absolue du moment de cette force est donnée par :  $|\mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta}| = \|\vec{F}\| \cdot d$ .

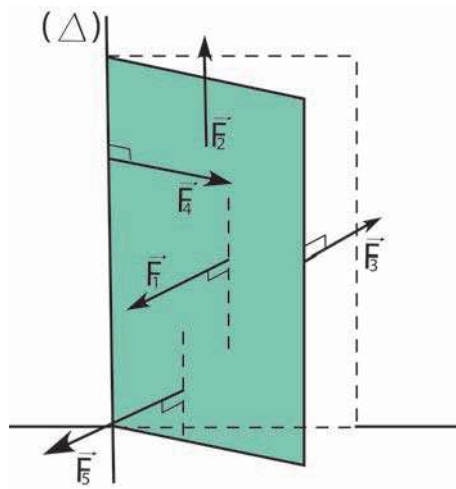
- a- Quelle est l'unité de  $\mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta}$  ?
- b- Ce moment est-il positif ou négatif compte tenu de l'orientation choisie sur la figure ?
- c- Calculer  $\mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta}$  avec  $\|\vec{F}\| = 2 \text{ N}$ ,  $OA = 30 \text{ cm}$  et  $OH = 20 \text{ cm}$ .



**2** Les forces  $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \vec{F}_4$  et  $\vec{F}_5$  sont appliquées à une porte qui peut tourner autour d'un axe  $(\Delta)$  matérialisé par les gonds.

- $\vec{F}_1, \vec{F}_3$  et  $\vec{F}_5$  sont dans un plan orthogonal à la porte et sont donc orthogonales à l'axe  $(\Delta)$ .
- $\vec{F}_1$  s'exerce au centre de la porte.
- $\vec{F}_5$  s'exerce au 1/3 de la largeur de la porte
- $\vec{F}_2$  et  $\vec{F}_4$ , sont dans le plan de la porte.

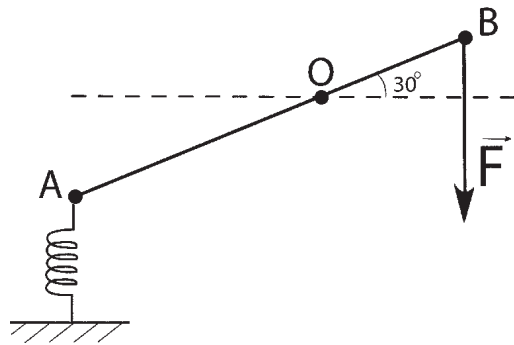
- a- Préciser en justifiant la réponse, si chaque force a un effet de rotation sur la porte. Dans le cas où chacune des forces s'exercerait seule, donner le sens de rotation de la porte.
- b-  $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_5$  ont même valeur. Quelle est celle qui permet d'ouvrir le plus facilement la porte (en supposant quelle s'exerce seule)?



**3** Une barre est en équilibre. Elle est assujettie à tourner autour de l'axe passant par O et orthogonale à  $\vec{F}$

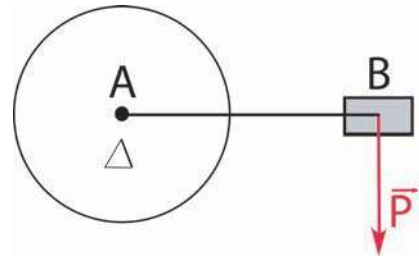
- a- Calculer le moment de la force  $\vec{F}$  par rapport à cet axe.

- b- On donne :  $OB = 30 \text{ cm}$  et  $\|\vec{F}\| = 15 \text{ N}$ . Sachant que  $OA = 50 \text{ cm}$  et que la raideur  $K$  du ressort est  $100 \text{ N.m}^{-1}$ . Calculer la déformation  $\Delta l$  du ressort à l'équilibre.



Un cycliste de masse  $m = 70 \text{ kg}$  appuie de tout son poids sur la pédale de sa bicyclette.

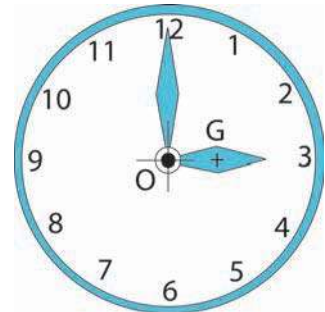
- a- Calculer la valeur de son poids ( $\|\vec{g}\| = 10 \text{ N.kg}^{-1}$ ).  
 b- Calculer le moment de son poids par rapport à l'axe du pédalier  
 ( $AB = 20 \text{ cm}$ , longueur de manivelle du pédalier).



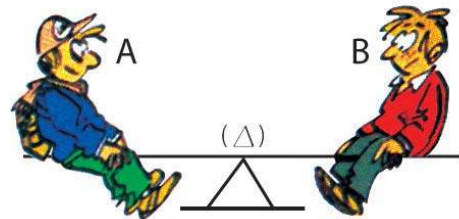
**5** La petite aiguille de l'horloge ci-contre a une masse de  $0,4 \text{ g}$ .  
 Calculer le moment de son poids par rapport à l'axe de rotation lorsque l'aiguille indique :

- 3 heures,
- 4 heures,
- 5 heures,
- 6 heures.

On donne :  $OG = 2 \text{ cm}$ .



**6** Deux enfants A et B se placent sur une balançoire assujettie à tourner autour d'un axe horizontal ( $\Delta$ ) passant par son milieu. Elle mesure  $5 \text{ m}$  de long. A s'assoit à l'extrémité. Sa masse est  $30 \text{ kg}$ . La masse de B est  $50 \text{ kg}$ . Où doit-il s'asseoir pour que la balançoire puisse rester en équilibre ?

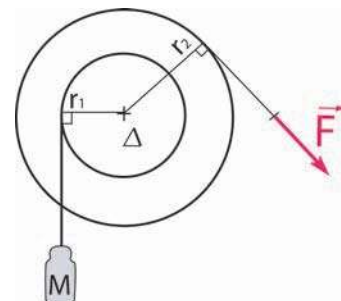


**7** Deux filins sont enroulés sur une poulie à deux gorges de rayons :  $r_1 = 2 \text{ cm}$  et  $r_2 = 5 \text{ cm}$ .

Le filin enroulé sur la petite gorge de la poulie est fixé à une charge de masse  $m = 1 \text{ kg}$ .

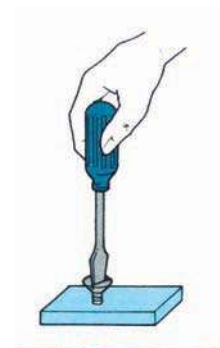
Déterminer la valeur de la force  $\vec{F}$  à exercer sur l'autre filin pour maintenir le système en équilibre ?

( $\|\vec{g}\| = 10 \text{ N.kg}^{-1}$ )



**8** Le manche d'un tourne-vis a un diamètre de  $3 \text{ cm}$ .  
 Son extrémité aplatie a une largeur de  $5 \text{ mm}$ .  
 La main exerce sur le manche, un couple de forces d'intensité  $10 \text{ N}$ .  
 Déterminer :

- a- Le moment du couple exercé par la main.
- b- L'intensité des forces exercées par la pointe sur le vis.



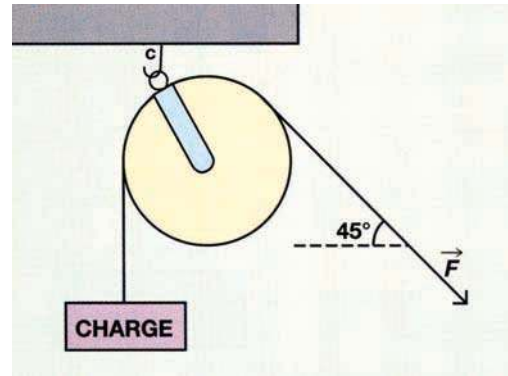
## Est-ce que je sais raisonner ?

- 1** Une poulie, de 10 cm de rayon et de masse négligeable devant les charges à maintenir ou à soulever, est utilisée pour soulever une charge de 500 N. (voir figure ci-contre)

La corde située du côté de la force motrice  $\vec{F}$  fait un angle de  $45^\circ$  avec l'horizontale.

La poulie est fixée au plafond par le crochet C.

- Faire l'inventaire des forces agissant sur la poulie.
- En utilisant le théorème des moments, déterminer l'intensité de la force  $\vec{F}$  maintenant la charge en équilibre.
- Déterminer graphiquement l'intensité de la force exercée sur le crochet C.

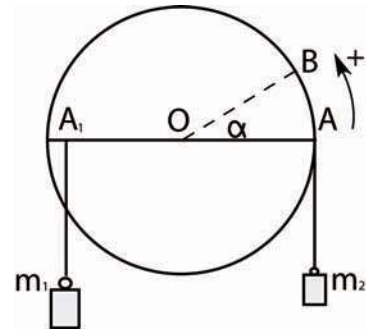


- 2** Sur les rayons horizontaux d'une roue de bicyclette de diamètre  $D = 60$  cm, on suspend des masses marquées  $m_1 = 200$  g et  $m_2 = 50$  g comme l'indique la figure.

- Faire le bilan des forces qui s'exercent sur la roue.
- Montrer que la roue n'est pas en équilibre ?
- Préciser le sens et la valeur de la force

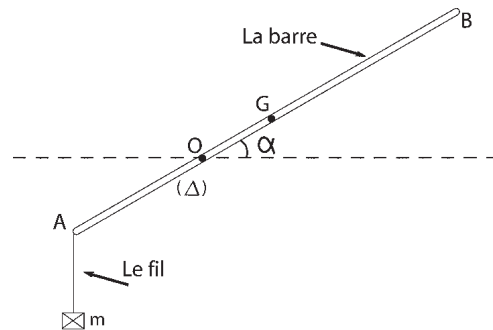
→ horizontale  $\vec{F}$  qu'il faut appliquer à l'extrémité du rayon OB pour que la roue soit immobile.

On donne :  $OA_1 = 25$  cm ;  $\alpha = 30^\circ$  ;  $\|\vec{g}\| = 10$  N.kg<sup>-1</sup> .



- 3** Une barre homogène (AB) de masse  $M = 0,4$  kg est assujéti à tourner autour d'un axe fixe ( $\Delta$ ) horizontal. La barre est perpendiculaire à l'axe ( $\Delta$ ). A l'extrémité A est accrochée, par l'intermédiaire d'un fil, une charge de masse m. La barre prend une position d'équilibre faisant un angle  $\alpha = 30^\circ$  avec l'horizontale.

- Représenter, les forces extérieures appliquées sur :
  - la charge de masse m ;
  - la barre (AB).
- Enoncer le théorème des moments.
  - Appliquer ce théorème à la barre en équilibre.
  - Déterminer la valeur de la tension du fil exercée sur la barre en A.
  - En déduire la valeur de la masse m.



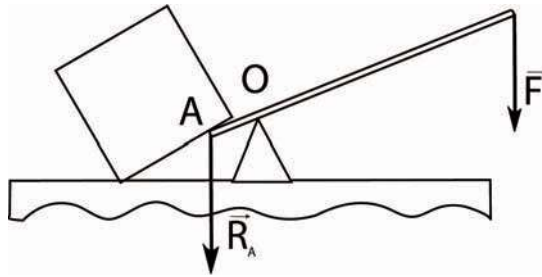
On donne :  $\|\vec{g}\| = 10$  N.kg<sup>-1</sup> ;  $OA = 20$  cm ;  $OG = 10$  cm

**4** Lorsqu'un carrier soulève une grosse pierre de taille, il prend une barre de fer très rigide appelée pince de carrier, glisse la partie biseautée A sous la pierre, passe sous la barre un point d'appui très solide O et appuie sur l'extrémité B. La barre AB et le point d'appui O constituent un levier. OA et OB s'appellent les bras de levier. On néglige le poids de la barre devant celui de la pierre et de la force qu'exercerait le carrier à l'extrémité de la pince.

On se place dans le cas particulier où l'action de la pierre  $\vec{R}_A$  sur la barre et celle du carrier  $\vec{F}$  sont parallèles.

En appliquant le théorème des moments à la barre, trouver la relation qui existe entre

$\|\vec{R}_A\|$ ,  $\|\vec{F}\|$ , OA et OB. Mettre en évidence l'intérêt de ce dispositif.

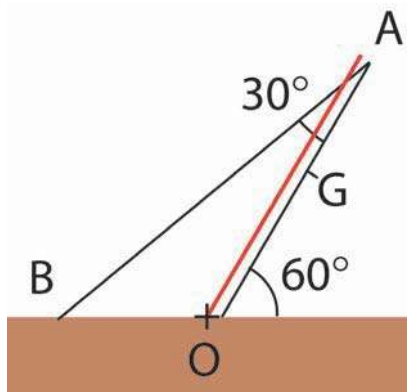


**5** Une tige OA mobile autour d'un axe ( $\Delta$ ) passant par O est maintenue en équilibre par un câble AB selon le schéma ci-contre. Son poids de valeur  $\|\vec{P}\|=100\text{ N}$  s'applique en son centre G. OA = 10m.

a- Calculer le moment de  $\vec{P}$  par rapport à l'axe ( $\Delta$ ).

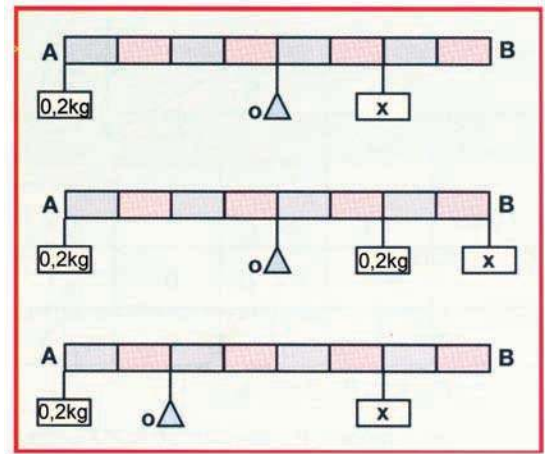
b- L'axe ( $\Delta$ ) exerce une réaction  $\vec{R}$  sur la tige. Calculer le moment de  $\vec{R}$  par rapport à l'axe ( $\Delta$ ). Justifier.

c- Le câble AB exerce, sur la tige, une force  $\vec{F}$  faisant un angle de  $30^\circ$  avec OA. En appliquant le théorème des moments relatif à l'équilibre de la tige, calculer la valeur de la force  $\vec{F}$ .



**6** Une barre homogène AB de poids  $\vec{P}$  de valeur 1 N est mobile sur le couteau O .  
Des masses marquées étant suspendues à la barre comme indiqué sur la figure ci-dessous.  
Déterminer, dans chaque cas de figure, la valeur de la masse inconnue nécessaire pour maintenir la barre horizontale.

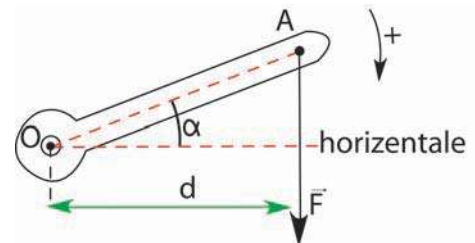
On donne :  $\|\vec{g}\| = 10 \text{ N.kg}^{-1}$



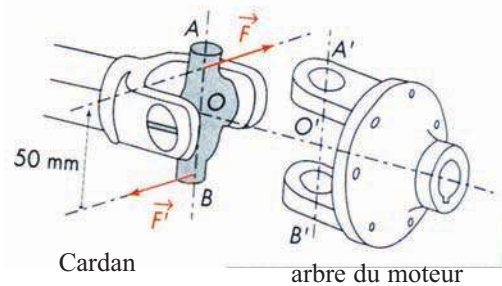
**7** Pour ouvrir une porte, on exerce verticalement une force  $\vec{F}$  sur la poignée. On admet que le poids de la poignée est négligeable devant  $\vec{F}$ .

- 1- Evaluer le moment de la force  $\vec{F}$ , par rapport à l'axe de rotation de la poignée.
- 2- a- Montrer que la poignée doit être considérée comme soumise, du fait de l'action exercée, à un couple de forces qu'on précisera..  
b- Evaluer le moment de ce couple.

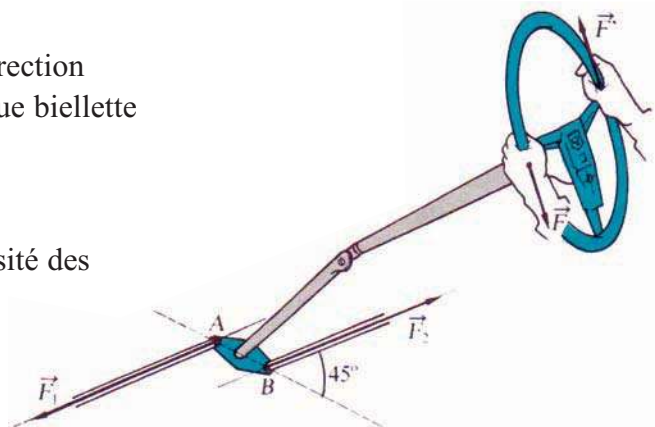
On donne  $OA = 12 \text{ cm}$  ;  $\alpha = 8^\circ$  ;  $\|\vec{F}\| = 1,5 \text{ N}$ .



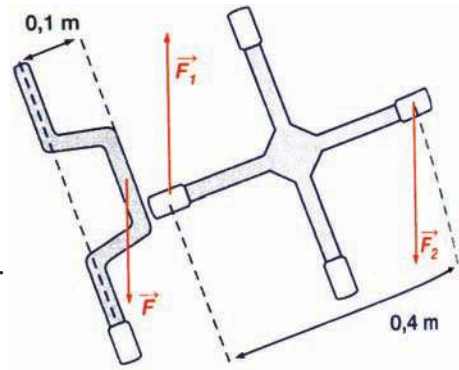
**8** Dans le schéma ci-contre, le moment du couple moteur transmis par l'arbre est de 150 N.m. Les croisillons du cardan sont distants de 50 mm. En déduire la valeur commune des forces exercées sur les croisillons du cardan.



**9** Ci-contre le schéma simplifié de la direction d'une voiture. La force exercée sur chaque biellette de direction est de 300 N ;  $AB = 8 \text{ cm}$  ; le diamètre du volant est 40 cm. Calculer le moment du couple de forces exercé sur les biellettes et déduire l'intensité des forces exercées par le conducteur.



**10** Un boulon de roue de voiture peut être serré par une manivelle ou une clé cruciforme représentée à la figure ci contre avec leurs dimensions. L'intensité de chaque force exercée étant de 100 N, calculer:



- 1- le moment de la force  $\vec{F}$  exercée sur la manivelle.
- 2- a- le moment du couple de forces  $(\vec{F}_1, \vec{F}_2)$  exercé sur la clé cruciforme.  
b- Ce couple est transmis au boulon dont le diamètre est égal à 25 mm. Calculer la valeur commune des forces du couple transmis au boulon .
- 3- Si l'on utilise une clé à pipe de longueur 40 cm pour visser le boulon, quelle serait la force qu'il faudrait appliquer pour obtenir le même effet ?

**11**

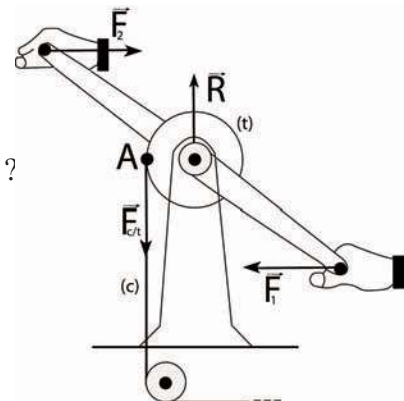
Le schéma ci-contre représente un cabestan (treuil) : il est constitué de deux manivelles solidaires d'un tambour (t) d'axe ( $\Delta$ ), sur lequel s'enroule un câble (C) tendu.

Les mains exercent, aux extrémités des manivelles, deux forces  $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$  parallèles et de même valeur 100 N.

Le câble exerce, en A, sur le tambour, une force  $\vec{F}_{c/t}$  verticale. l'ensemble des autres forces s'exerçant sur le treuil

est équivalent à une force  $\vec{R}$  exercée en ( $\Delta$ ).

- a- Quel est le moment de la force  $\vec{R}$  par rapport à ( $\Delta$ ) ?
- b- Calculer le moment du couple  $(\vec{F}_1, \vec{F}_2)$ .
- c- Sachant que le treuil est en équilibre, déduire l'intensité de la force exercée par le câble tendu sur le tambour (on donne  $OA = 6,0$  cm).

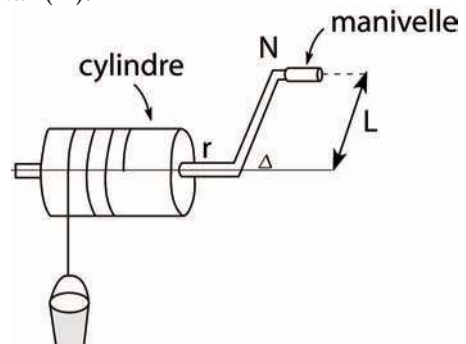


**12**

Un treuil est constitué d'un cylindre de rayon  $r$ , solidaire d'une manivelle de longueur  $L$ . L'ensemble est assujéti à tourner autour de l'axe horizontal ( $\Delta$ ).

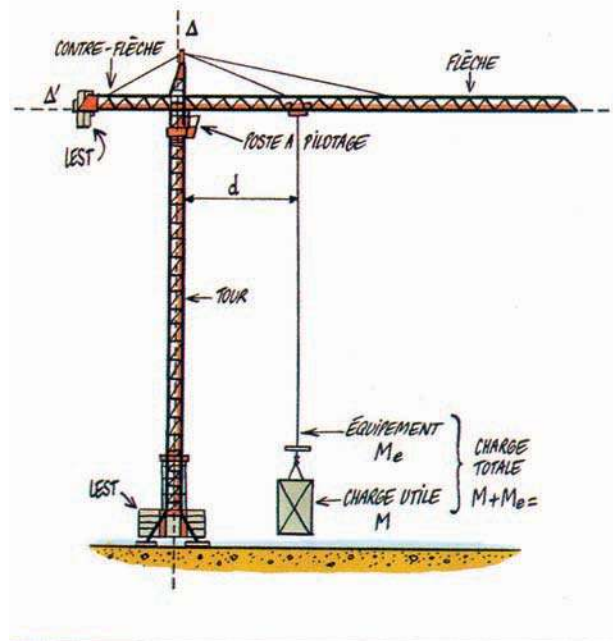
Sur le cylindre s'enroule une corde fixée par une de ses extrémités au cylindre. L'autre extrémité porte une charge (seau d'eau) de masse  $M$ . Pour remonter la charge, on actionne la manivelle.

Le seau d'eau étant suspendu. Quelle force doit-on exercer perpendiculairement à la manivelle, au point N, pour que le système soit en équilibre? On donne  $r=4$ cm  $L=50$ cm;  $M=15$ kg;  $\|g\|=10$ N.kg<sup>-1</sup>.



# Activités documentaires

## LES GRUES



La grue comporte un bras horizontal (flèche) ou un bras à inclinaison réglable ou fixe. Cette flèche, est soutenue par une charpente métallique qui peut tourner sur un pivot. Des dispositifs permettent à l'appareil de modifier la portée, l'orientation de la flèche et la translation de l'ensemble.

La grue d'atelier, de petites dimensions et de puissance réduite, est souvent manoeuvrée à la main. La grue sur pylône, dite aussi grue à tour, utilisée pour la construction des immeubles, braque une longue flèche, placée au sommet d'un haut pylône. C'est un type de grue conçu pour être monté et démonté facilement pour passer de chantier en chantier.

Dans les gares de marchandises ou dans les ports, on recourt à la grue pivotante fixe ou potence. A cette catégorie appartiennent les grues de bord équipant les navires.

Dans les ports, on utilise de puissantes grues, à flèche courte (fléchette), montées sur portique. Il existe des grues automotrices, chenilles ou sur pneus, munies d'un dispositif automoteur qui leur permet de circuler sans être liées à un quelconque chemin de roulement, et des grues flottantes, qui possèdent une puissance de levage considérable.

La grue à tour (figure ci-dessus) comporte une flèche qui peut pivoter autour de l'axe vertical ( $\Delta$ ) de la tour. La charge et son équipement peuvent se déplacer le long de la flèche. Ces mouvements sont commandés par des moteurs électriques pilotés par le conducteur de la grue.

La grue est soumise à différentes contraintes :

- les poids de ses différents éléments : tour munie de son lest, flèche, contre-flèche munie de son lest, charge utile et équipement;
- les forces exercées par le vent ;
- les réactions exercées par le sol sur les pieds de la tour.

Examinons le problème posé par l'équilibrage de la charge lorsque celle-ci se déplace le long de la flèche.

Le moment  $\mathcal{M}$  du poids de la charge totale  $M_T = M + M_e$  par rapport à l'axe horizontal ( $\Delta'$ ) ne doit pas changer sous peine de rompre l'équilibre.

Ce moment  $\mathcal{M}$  égal à  $(M + M_e) \cdot \|g\| \cdot d$  doit rester constant.

Par exemple, pour une portée maximale  $d_{\max} = 50$  m, une masse utile  $M = 1000$  kg, une masse de l'équipement  $M_e = 1000$  kg, ce produit vaut:  $2000 \cdot 10 \cdot 50 = 2 \cdot 10^6$  N.m

Lorsque  $d$  varie,  $M_e$  restant fixe,  $M$  doit varier en respectant la relation  $(M+1000) \cdot 10 \cdot d = 2 \cdot 10^6$ .

### Questions :

- 1- Représenter par une courbe la loi de variation de la masse  $M_T$  de la charge totale en fonction de  $d$ .
- 2- En déduire la courbe représentant la variation de la masse utile en fonction de  $d$ . Calculer la masse utile pour  $d=25$ m et pour  $d = 6,25$  m.

# Comment ça marche ?

## Le couple moteur dans un automobile

Dans le domaine de l'automobile, l'importance du couple moteur au niveau des roues est primordiale pour le démarrage, les accélérations et les montées.

### Couple au niveau du vilebrequin

L'énergie de combustion des gaz, reçue par le piston, est transmise au vilebrequin par l'intermédiaire de la bielle. Le vilebrequin est entraîné en rotation et développe ainsi un couple moteur.

Au cours du cycle admission- compression –explosion -échappement d'un moteur à quatre temps, le couple moteur n'a pas une valeur constante.

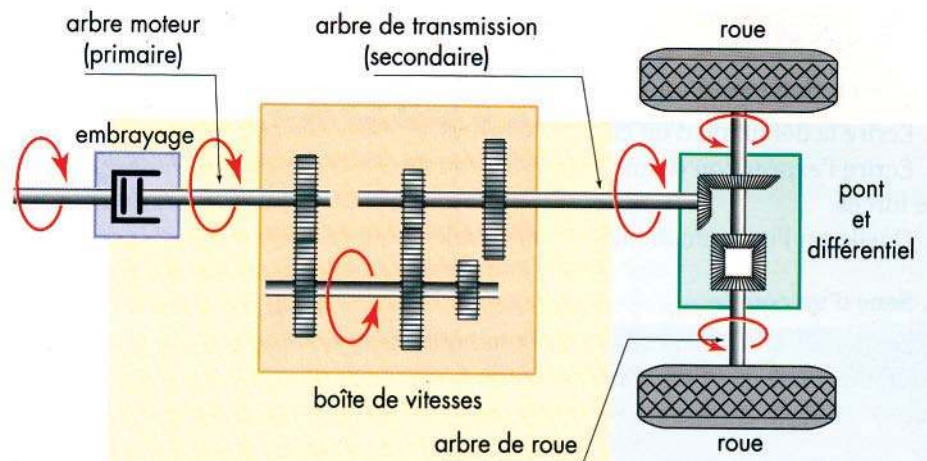
Le couple varie en fonction de la vitesse de rotation du moteur, il en est de même de la puissance du moteur.

En général le couple d'un moteur Diesel varie peu contrairement à celui d'un moteur à essence. De plus, le couple d'un moteur Diesel est plus important à bas régime.

### Couple au niveau des roues.

En pratique, le couple fourni par le moteur est trop faible, pour faire démarrer le véhicule.

La boîte de vitesses et les engrenages du pont permettent de multiplier le moment du couple moteur en démultipliant, dans le même rapport, la vitesse de rotation de l'arbre moteur.



# Savoirs plus

## Question d'équilibre!

Les lois physiques de l'équilibre d'un solide ne servent pas uniquement aux ingénieurs. Il existe un système qui met en jeu un grand nombre de forces souvent compliquées :

### **l'être humain.**

**La biomécanique** est la discipline qui applique les lois physiques de l'équilibre à l'être humain. Prenons un exemple simplifié. Un homme est debout à l'extrémité d'une marche, en équilibre sur la pointe d'un pied. Pour que ce soit possible, il doit pencher son corps et le centre de gravité se trouve à la verticale de ses orteils.

On comprend bien que cette personne ne peut tenir longtemps dans cette position sans l'action des muscles de la jambe. Une rotation autour de la cheville entraîne l'arrière du pied vers le bas. La chute est inévitable!

Soient  $\vec{P}$  le poids,  $\vec{R}$  la réaction du sol et  $\vec{F}$  la force développée par le muscle. En considérant la personne comme système, nous obtenons pour l'équilibre :

$$\vec{P} + \vec{R} = 0 \text{ soit } \|\vec{P}\| = \|\vec{R}\|.$$

En prenant un autre système, le pied, et en écrivant que la somme des moments par rapport à l'axe de rotation de la cheville est nulle, nous obtenons :

$$\|\vec{F}\| \cdot b - \|\vec{R}\| \cdot a = 0 \text{ soit } \|\vec{F}\| = \frac{a \cdot \|\vec{R}\|}{b}$$

$$\text{Or } \|\vec{P}\| = \|\vec{R}\| \text{ d'où } \|\vec{F}\| = \frac{a \cdot m \cdot \|\vec{g}\|}{b}$$

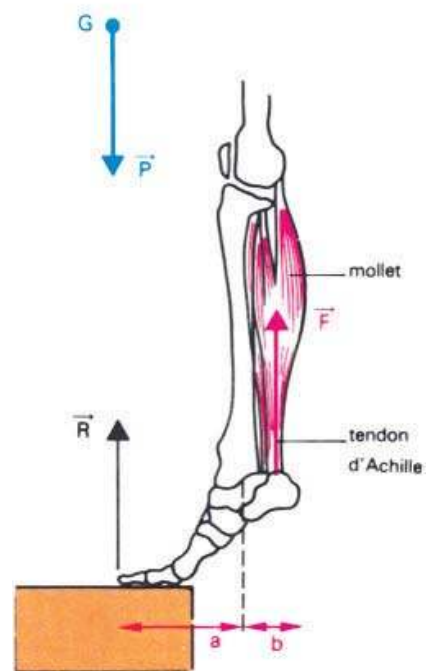
Par exemple, pour une personne de masse  $m = 70 \text{ kg}$ , et tel que  $a = 15 \text{ cm}$  et  $b = 5 \text{ cm}$ , nous trouvons

$\|\vec{F}\| = 2\,060 \text{ N}$  ; ce qui correspond à une masse de  $210 \text{ kg}$  !

Si la personne tombe sur la pointe des pieds, la force développée par le muscle peut être encore bien supérieure et le tendon d'Achille casse.

Grâce à de telles études, on comprend l'intérêt d'utiliser une canne qui crée un moment annulant celui dû au déséquilibre; comment un tibia cassé peut plier à l'endroit de la soudure, simplement à cause de la flexion du mollet lors d'un effort; comment un tendon peut se déchirer...

Comprendre le fonctionnement du corps humain permet de chercher les moyens adaptés aux situations anormales.



## Chapitre 2

# Le mouvement d'un point matériel : étude cinématique



## Contenu du chapitre 2

- ◆ Mouvement rectiligne uniformément varié
- ◆ Mouvement circulaire uniforme
  - ◆ Vitesse angulaire
  - ◆ Période et fréquence

# Le mouvement d'un point matériel : étude cinématique

## Je dois être capable :

- ◆ de reconnaître un mobile en mouvement rectiligne uniformément varié.
- ◆ de reconnaître un mobile en mouvement circulaire uniforme.
- ◆ de déterminer la vitesse angulaire d'un mobile en mouvement circulaire uniforme.
- ◆ de déterminer la période et la fréquence d'un mouvement circulaire uniforme.

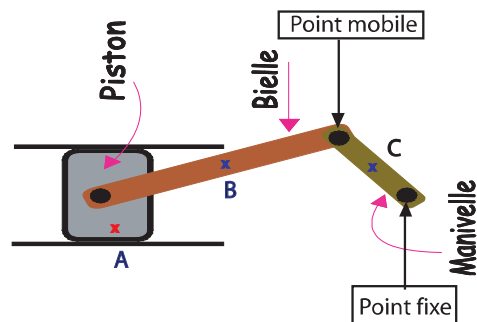
## Je dois d'abord tester mes acquis :

1- Rappeler la définition de la cinématique.

2- Recopier les phrases correctes :

- Le mouvement d'un mobile est rectiligne si sa trajectoire est portée par une droite.
- La vitesse moyenne est égale au produit de la distance parcourue par le temps mis.
- La vitesse moyenne d'un mobile entre deux instants  $t_1$  et  $t_2$  est égale à la distance moyenne parcourue par ce mobile par seconde.
- Le mouvement d'un mobile est uniforme si les distances parcourues pendant des intervalles de temps successifs et égaux sont les mêmes.

3- Attribuer à chacun des points A, B, et C appartenant à trois pièces d'un moteur à explosion, le type de mouvement (rectiligne ou curviligne) correspondant. (figure ci-contre)



4- Un bus en mouvement de translation, part d'une station A à la date  $t_1 = 14$  h. Il s'arrête à une station B située à 1200 m de A à la date  $t_2 = 14$  h 2 min.

Calculer en  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  et en  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ , la vitesse moyenne du bus entre les deux stations A et B.

5- Recopie les phrases en rectifiant celles qui sont fausses :

- a- Si la valeur de la vitesse d'un mobile diminue au cours du temps, alors le mouvement est uniforme.
- b- Si la valeur de la vitesse d'un mobile reste constante, alors le mouvement est ralenti.
- c- Si la valeur de la vitesse d'un mobile augmente au cours du temps, alors le mouvement est accéléré.

## Je construis mes savoirs :

### 1 La vitesse moyenne renseigne-t-elle sur la nature d'un mouvement rectiligne?

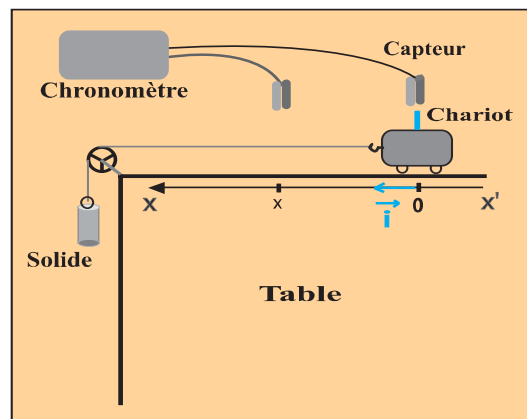
#### Situation :

Une voiture part, à l'instant  $t_1 = 8$  h, de la ville A sans vitesse initiale. Elle arrive à une deuxième ville B à l'instant  $t_2 = 9$  h 30 min. Sachant que les deux villes sont séparées d'une distance  $d = 120$  Km. Peut-on décrire la nature du mouvement de la voiture entre les deux villes A et B ?



Réaliser le montage de la figure ci-contre

- Lâcher le solide sans vitesse initiale.
- Déterminer le temps mis par le chariot pour parcourir les distances  $x_1, x_2, \dots$  comptées à partir du point de départ du chariot.
- Calculer la vitesse moyenne du chariot entre le point de départ et chacun des points repérés par  $x_1, x_2, \dots$ .



• Les résultats obtenus sont à regrouper dans le tableau suivant :

$\Delta t$ (ms)				
Distance (cm)				
Vitesse moyenne ( $m \cdot s^{-1}$ )				

• La valeur de la vitesse moyenne augmente avec la distance parcourue par le solide par rapport à sa position de départ.



La valeur de la vitesse moyenne entre deux points de la trajectoire varie avec la distance séparant les points considérés. Alors le mouvement est varié.

**La valeur de la vitesse moyenne est insuffisante pour connaître la nature d'un mouvement rectiligne variable.**

## Comment déterminer expérimentalement la valeur de la vitesse instantanée d'un mobile ?

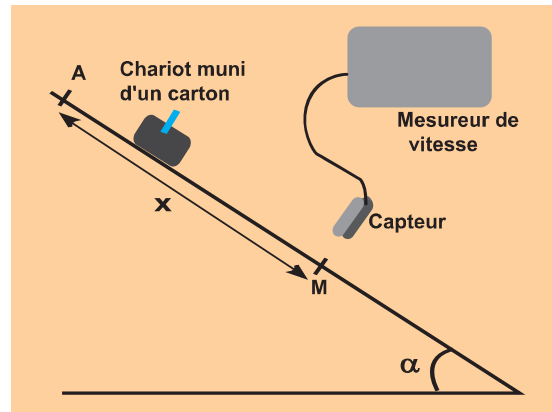


- Fixer au chariot précédent un morceau de carton d'épaisseur faible.
- Placer le capteur à la position désirée.
- Mettre le système en mouvement.
- A l'aide d'un mesureur de vitesse, noter la valeur de la vitesse instantanée où se trouve le capteur.

### 2/ Quelle nature de mouvement prend un chariot mobile sur un plan incliné ?



- Réaliser le montage de la figure ci-contre
- Lâcher le solide sans vitesse initiale.
- Déterminer le temps mis par le chariot pour parcourir les distances  $x_1, x_2, \dots$  comptée à partir du point de départ du chariot.
- Calculer la vitesse moyenne du chariot entre le point de départ et chacun des points repérés par  $x_1, x_2, \dots$



Au cours de la descente du chariot le long du plan incliné la valeur de sa vitesse instantanée augmente au fur et à mesure qu'il s'éloigne de A.

**Au cours du temps, la vitesse instantanée du chariot augmente :  
Le mouvement du chariot est dit rectiligne accéléré.**



- Remplacer le mesureur de vitesse par un chronomètre.
- Refaire la même démarche que précédemment et déterminer le temps mis par le chariot lorsqu'il passe par les points où ont été mesuré les valeurs des vitesses.
- Dresser un tableau comportant la valeur  $v$  de la vitesse instantanée et le temps  $t$  mis par le chariot pour parcourir la distance AM.



Les résultats obtenus sont à regrouper dans le tableau suivant :

<b>temps <math>t</math> (ms)</b>				
<b>Vitesse instantanée <math>v</math> (<math>m \cdot s^{-1}</math>)</b>				

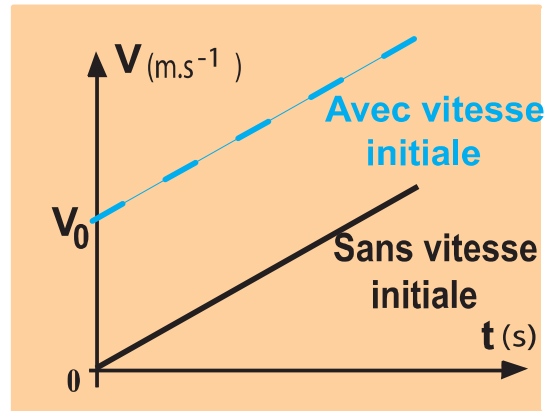


Chercher s'il y a une relation entre les instants de passage du mobile par les positions où les valeurs de la vitesse instantanée sont relevées et ces dernières.

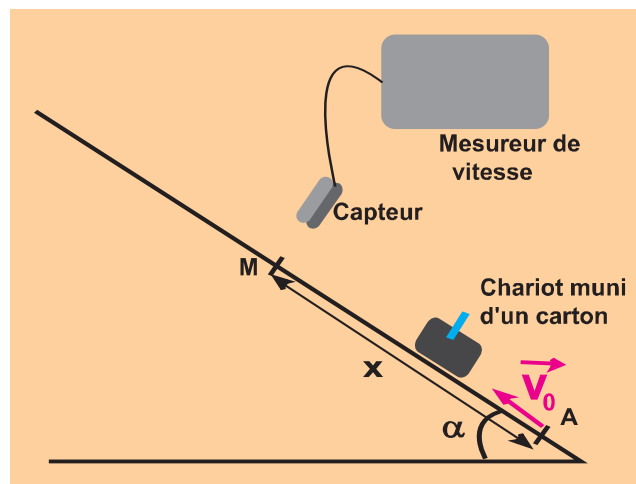


- Si la valeur de la vitesse en A est nulle, la valeur  $v$  de la vitesse instantanée est proportionnelle au temps  $t$ . Un tel mouvement rectiligne est dit **uniformément** accéléré.
- Si la valeur de la vitesse en A est non nulle, la valeur  $v$  de la vitesse instantanée est une fonction affine de  $t$ .

**Un mouvement est rectiligne uniformément accéléré si la valeur de la vitesse instantanée augmente d'une manière affine ou linéaire en fonction du temps.**



- Réaliser le montage de la figure ci-contre.
- Lancer le chariot du point A avec une vitesse initiale  $V_0$ .
- Déterminer la vitesse instantanée prise par le chariot au point M.
- Faire varier la position du capteur de manière à déterminer les valeurs de la vitesse instantanée du chariot en différents points de sa trajectoire.



Au cours de la montée du chariot le long du plan incliné la valeur de sa vitesse instantanée diminue.

**Au cours du temps, la vitesse instantanée du chariot diminue :  
Le mouvement du chariot est dit rectiligne retardé.**

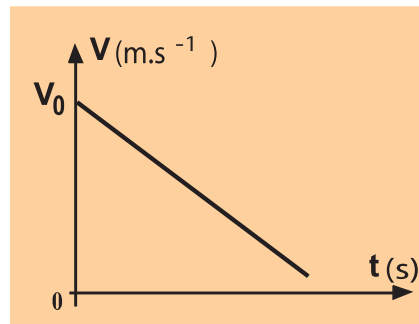


- Remplacer le mesureur de vitesse par un chronomètre.
- Refaire la même démarche que précédemment et déterminer le temps mis par le chariot lorsqu'il passe par les points où ont été mesurés les valeurs des vitesses.
- Dresser un tableau comportant la valeur  $v$  de la vitesse instantanée et le temps  $t$  mis par le chariot pour parcourir la distance  $AM$ .
- Chercher s'il y a une relation entre les instants  $t$  de passage du mobile par les positions où les valeurs de la vitesse instantanée sont relevées et  $v$ .



La valeur  $v$  de la vitesse instantanée est fonction affine du temps  $t$ . Un tel mouvement rectiligne est dit **uniformément** retardé.

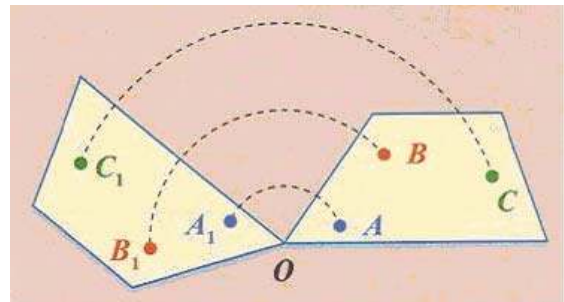
**Un mouvement est rectiligne uniformément retardé si la valeur de la vitesse instantanée diminue d'une manière affine ou linéaire en fonction du temps.**



### 3 Reconnaître un mouvement de rotation



- Faire tourner une plaque percée de trois trous  $A$ ,  $B$  et  $C$  autour d'un point  $O$  (fig. 1).
- Tracer au cours du mouvement les trajectoires des trois points  $A$ ,  $B$  et  $C$ .
- Mesurer chacun des secteurs angulaires  $AOA_1$ ,  $BOB_1$  et  $COC_1$ . (voir fig.1)
- Comparer les angles balayés par chacun des rayons  $OA$ ,  $OB$  et  $OC$ .



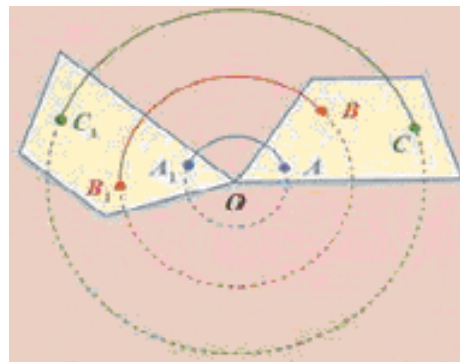
(fig. 1)



Les trajectoires sont des arcs de cercles

**Un solide est animé d'un mouvement de rotation autour d'un axe (fig. 2) si chacun de ses points a une trajectoire circulaire :**

- centrée sur l'axe de rotation;
- perpendiculaire à cet axe.



(fig. 2) Les trajectoires des différents points sont des cercles concentriques

#### 4 Quand est ce qu'un mouvement est circulaire uniforme ?



• Réaliser le montage de la figure ci-contre : Une poulie d'axe horizontal est liée à un moteur électrique. Un fil passant par la gorge de la poulie maintient un solide (S).

• Mettre le moteur sous tension et déclencher le chronomètre.

• Déterminer la durée mise par le point A (appartenant à la gorge de la poulie) pour faire un tour, deux tours, trois tours....

• Relever la distance parcourue par le solide (S) correspondante à chaque durée.

• Calculer la valeur de la vitesse moyenne du solide (S).



• La trajectoire du point A est circulaire.

• La valeur de la vitesse moyenne du solide (S) est constante ainsi que la valeur de la vitesse moyenne  $v_A$  du point A est constante.

•  $V_{(S)} = v_A$ .



Le mouvement du solide (S) est rectiligne uniforme. Le mouvement du point A est circulaire s'effectuant avec une vitesse de valeur  $v_A$  constante (puisque  $V_{moy} = Cte$ ). Il est dit circulaire uniforme.

**Le mouvement d'un point matériel est circulaire uniforme si :**

- sa trajectoire est circulaire ;
- la valeur  $v$  de sa vitesse est constante.

#### 5 Quelles sont les grandeurs caractéristiques d'un mouvement circulaire uniforme ?

• Réaliser le montage de la figure ci-contre.

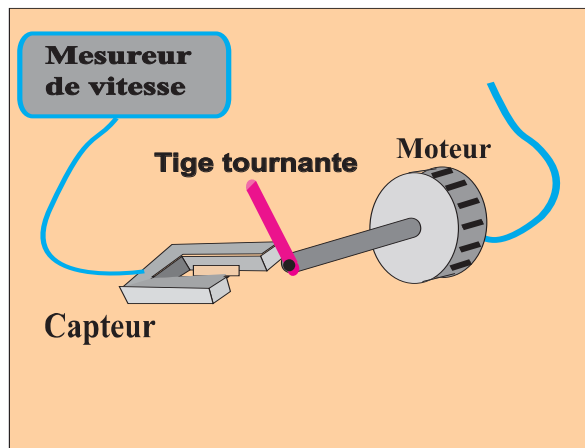
• Mettre le moteur sous tension.

• Mesurer pour des points de trajectoires différentes (déplacer le capteur en l'éloignant ou en le rapprochant de l'axe de rotation) les valeurs de la vitesse instantanée.

R (m)				
V (m.s <sup>-1</sup> )				

• Compléter le tableau suivant :

R étant la distance d'un point M donné à l'axe de rotation (rayon de sa trajectoire).



On veillera à ce que la rotation de la tige soit lente. On actionne le mesureur de vitesse lorsque le moteur aurait atteint son régime permanent et on retirera le capteur tout juste après affichage de la valeur de la vitesse à mesurer.



- Le rayon  $R$  de la trajectoire et la valeur  $v$  de la vitesse varient dans le même sens.

- Le rapport  $\frac{v}{R}$  est égal à une constante ( $v$  est une fonction linéaire de  $R$ ).



- Pendant l'intervalle de temps  $\Delta t$  un point  $M$  de la tige tournante décrit un arc de cercle de rayon  $R$  et se déplace d'une distance  $l$ .

La valeur de la vitesse moyenne du point  $M$

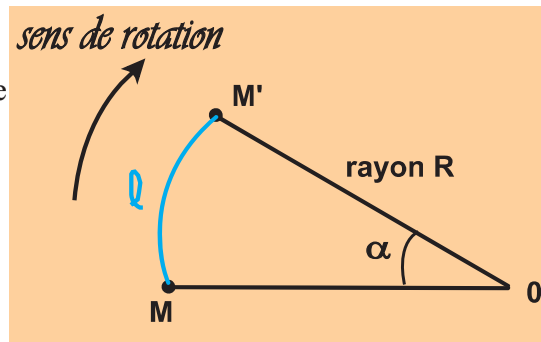
est :  $v_M = \frac{l}{\Delta t}$

Or la distance  $l$  parcourue par  $M$  est donnée

par :  $l = R\alpha$ .

D'où  $v_M = \frac{R\alpha}{\Delta t}$ .

$$\frac{v_M}{R} = \frac{\alpha}{\Delta t} = C^{te}$$



- Le rapport mesure l'angle moyen balayé par  $OM$  par unité de temps. Il mesure la vitesse angulaire de  $M$  notée  $\omega$ .

**Remarque :**

Pour tous les points de la tige  $\omega$  est le même (tous les points d'un solide en rotation autour d'un axe fixe ont la même vitesse angulaire) alors que chaque point a une vitesse dont la valeur  $v$  dépend de sa position par rapport à l'axe.

**Un mouvement circulaire et uniforme est caractérisé par une vitesse angulaire notée  $\omega$ . Cette vitesse angulaire est liée à la vitesse linéaire par :  $v = R \cdot \omega$ .  $v$  en  $m.s^{-1}$ ,  $R$  en  $m$  et  $\omega$  en  $rad.s^{-1}$ .**



- Reprendre l'expérience de la tige tournante en remplaçant le mesureur de vitesse par un chronomètre.

- Faites varier le rayon  $R$  de la trajectoire d'un point  $M$  de la tige tournante et noter le temps mis par la tige pour qu'elle fasse un tour complet.

- Comparer les valeurs indiquées par le chronomètre.



Le temps mis par la tige pour faire un tour complet est indépendant du rayon  $R$  de la trajectoire du point  $M$  de la tige tournante



- Refaire la même démarche précédente tout en prenant une autre vitesse de rotation du disque.
- Comparer les valeurs indiquées par le chronomètre.



Le temps mis par la tige pour faire un tour complet est indépendant du rayon R mais dépend de la vitesse de rotation  $\omega$  de la tige : la tige effectue un tour et le tour suivant en des durées égales . son mouvement est dit périodique.

**Le temps mis par un mobile en mouvement de rotation uniforme pour effectuer un tour complet est appelé : Période du mouvement notée T (en secondes). Cette période T ne dépend que de la vitesse de rotation du mobile. Donc elle ne dépend que de la vitesse angulaire  $\omega$  .**

### 6 Y'a-t-il une relation entre la période et la vitesse angulaire ?

Si le mouvement d'un point matériel est circulaire uniforme, La valeur de sa vitesse est constante.

Or la valeur de la vitesse est égale au rapport de la distance par le temps mis à la parcourir. D'autre part la période T est égale au temps mis par le point matériel à faire un tour complet. Un tour correspond à une distance parcourue égale au périmètre de la trajectoire  $d = 2 \pi R$ .

$$v = \frac{2\pi R}{T} \Rightarrow T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi}{\omega}$$

**La période et la vitesse angulaire sont reliées par :  $T = \frac{2\pi}{\omega}$   
T est exprimée en s et  $\omega$  en  $\text{rad.s}^{-1}$ .**

### 7 Fréquence de rotation

La fréquence d'un mouvement périodique est égale au nombre de périodes par seconde.

Pour un mouvement circulaire et uniforme la fréquence N est égale au nombre de tours par seconde.

**La fréquence de rotation N est liée à la période par :  $N = \frac{1}{T}$  .  
Si T est en seconde (s) N s'exprime en Hertz (Hz)**

À chaque tour, l'angle balayé est  $2\pi$  radians. Le solide effectuant N tours par seconde, l'angle balayé vaut  $2 \pi N$  radians par seconde : c'est la vitesse angulaire  $\omega = 2 \pi N$ .

**Remarque :** la vitesse de rotation est souvent exprimée en tours par minute ( $\text{tr.min}^{-1}$ ).

## EXERCICE RESOLU

### Enoncé

Un disque de diamètre  $d=17\text{cm}$  effectue, avec un mouvement uniforme, 45 tours par minute.

1. Calculer la fréquence du mouvement ainsi que sa période.
2. Calculer la vitesse angulaire du disque.
3. Calculer la vitesse d'un point de la périphérie du disque.

### Solution

1. Le disque effectue 45 tours par minute. La période de son mouvement (temps mis pour faire un tour) est :

soit  $N=0,75\text{ Hz}$ .

2. Vitesse angulaire :  $T = \frac{2\pi}{\omega} \Rightarrow \omega = \frac{2\pi}{T}$  soit  $\omega = 4,71\text{rad.s}^{-1}$ .

3. Vitesse linéaire d'un point de la périphérie du disque:

$$v = R.\omega \Rightarrow V = 8,5.10^{-2}.4,71 \text{ soit } v = 0,40\text{m.s}^{-1}.$$

## ***L'ESSENTIEL***

Pour étudier le mouvement d'un solide, il faut définir un référentiel muni d'un repère.

Un solide effectue un mouvement rectiligne uniformément varié si sa trajectoire est une ligne droite et si  $\frac{\Delta v}{\Delta t}$  est constant.

• Un solide effectue un mouvement rectiligne uniformément accéléré si sa trajectoire est une ligne droite et si  $\frac{\Delta v}{\Delta t}$  est constant et positif.

• Un solide effectue un mouvement rectiligne uniformément retardé si sa trajectoire est une ligne droite et si  $\frac{\Delta v}{\Delta t}$  est constant et négatif.

Un solide effectue un mouvement de rotation uniforme si :

-chacun de ses points a une trajectoire circulaire centrée sur l'axe de rotation et lui est perpendiculaire.

-sa vitesse angulaire  $\omega$  est constante.

Pour un mouvement circulaire uniforme, la vitesse angulaire  $\omega = \frac{\Delta \alpha}{\Delta t}$  est constante.

$\Delta \alpha$  est l'angle balayé au bout d'une durée  $\Delta t$ . Il est exprimé en radian (rad)

$\Delta t$  est la durée du balayage exprimé en seconde (s).

$\omega$  est exprimé en radian par seconde ( $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$ )

La durée d'un tour du mobile en rotation uniforme est appelée période T.

Le nombre de tours effectués par le solide à chaque seconde représente la fréquence N du mouvement. N est en Hertz (Hz) quand T est exprimée en seconde (s)

Cette fréquence N représente la vitesse de rotation du solide exprimée en tour par seconde ( $\text{tr} \cdot \text{s}^{-1}$ ).

Entre la fréquence N du mouvement et sa période existe la relation  $T = \frac{1}{N}$ .

La valeur de la vitesse v d'un point situé à une distance R de l'axe de rotation d'un solide en mouvement de rotation uniforme et sa vitesse angulaire  $\omega$  sont liées par la relation  $v = R \omega$ .

La fréquence du mouvement circulaire uniforme d'un point d'un solide et sa vitesse angulaire sont liées par la relation  $\omega = 2 \pi N$ .

# EXERCICES EXERCICES

## Est-ce que je connais ?

**1** Recopier et compléter.

- Pour étudier le mouvement d'un solide, il faut définir un..... muni d'un .....
- Un solide effectue un mouvement rectiligne uniforme si sa trajectoire est ..... et si sa vitesse est .....
- Un solide effectue un mouvement rectiligne uniformément varié si sa trajectoire est ..... et si le rapport ..... est constant.

**2** Recopier les affirmations exactes.

Lors du mouvement circulaire d'un solide autour d'un axe :

- tout segment du solide reste parallèle à lui-même;
- le plan de la trajectoire d'un point du solide est perpendiculaire à l'axe;
- la trajectoire d'un point du solide est un cercle.

**3** Écrire la relation donnant la vitesse angulaire  $\omega$  d'un solide en mouvement circulaire uniforme en fonction de l'angle balayé  $\alpha$  et du temps  $t$  mis pour balayer  $\alpha$ . Préciser les unités de chaque terme.

**4** Associer chaque grandeur à l'unité qui peut convenir.

- Vitesse de rotation      •  $\text{rad.s}^{-1}$
- Vitesse angulaire      •  $\text{m. s}^{-1}$
- Vitesse linéaire      •  $\text{tr. s}^{-1}$

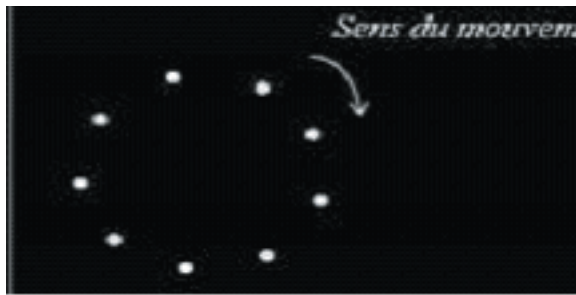
**5** Recopier et compléter.

- Un solide est en mouvement circulaire uniforme si sa vitesse angulaire est .....
- La valeur de la vitesse  $v$  d'un point d'un solide en mouvement circulaire uniforme et sa vitesse angulaire  $\omega$  sont liées par la relation : .....
- La vitesse angulaire  $\omega$  et la fréquence  $N$  d'un mouvement circulaire uniforme sont liées par la relation : .....

## Est-ce que je sais appliquer ?

**1** L'exploitation de la chronophotographie du mouvement d'un mobile permet de renseigner sur la nature de son mouvement. Peut-on associer sans ambiguïté à chaque cliché la nature du mouvement correspondant. Justifier.

- Mouvement rectiligne uniforme.
- Mouvement rectiligne uniformément accéléré.
- Mouvement rectiligne uniformément ralenti.
- Mouvement circulaire uniforme.



a



b



c



d

- 2** Une montre mécanique possède trois aiguilles : une pour les heures, une pour les minutes et une pour les secondes.  
Calculer la vitesse de rotation de chacune des aiguilles en tours par minute
- 3** Les anciens disques étaient classés en trois catégories : 33,3 tours, 45 tours et 78 tours  
L'expression « 45 tours » signifiait que le disque effectuait 45 tours par minute.
- Calculer la fréquence  $N$  de chacune des catégories de disque en  $\text{tr}\cdot\text{s}^{-1}$
  - Combien de tours fallait-il faire chacun de ces disques pour écouter une même chanson de 2min 45s enregistrée sur chacun des disques?
- 4** Une fraise de diamètre 40 mm tourne à la vitesse de  $1\,800\text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$ .
- Calculer sa vitesse angulaire en  $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ .
  - Calculer la vitesse du tranchant de l'outil.

### Est-ce que je sais raisonner ?

- 1** Un catalogue de bricolage présente deux modèles de meuleuse :
- modèle 1 : diamètre du disque 125 mm -  $11\,000\text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$  ;
  - modèle 2 : diamètre du disque 230 mm -  $6\,300\text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$ .
- Calculer la fréquence du mouvement du disque de chaque modèle.
  - Calculer la vitesse angulaire de chaque disque.
  - Quel est le modèle pour lequel la valeur de la vitesse d'un point situé à l'extrémité du disque est la plus grande ?
- 2** Un cycliste roule à vitesse constante. Sachant que les roues de diamètre 700 mm ont une vitesse de rotation de 120 tours par minute.
- Calculer la distance que parcourt la bicyclette lorsque les roues font un tour.
  - Calculer la vitesse de rotation des roues en  $\text{tr}\cdot\text{s}^{-1}$ .
  - Calculer la valeur de la vitesse de la bicyclette en  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  et en  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ .

3

Le compte-tours d'une voiture indique la vitesse de rotation du moteur, soit  $N = 3000 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$ . Les roues de la voiture ont un diamètre de 540 mm.

a- Calculer la valeur de la vitesse de translation de la voiture en  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  et en  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  si les roues avaient la même vitesse de rotation que le moteur.

b- Les engrenages de la boîte de vitesses et du pont du véhicule démultiplient la vitesse de rotation du moteur. Dans le cas d'une berline, le rapport entre la vitesse de rotation des roues  $N_R$  et celle du moteur  $N_M$  est 0,220 lorsque la 3ème vitesse est engagée. Calculer la vitesse de rotation des roues.

En déduire la valeur de la vitesse de translation de la voiture en  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  et en  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ .

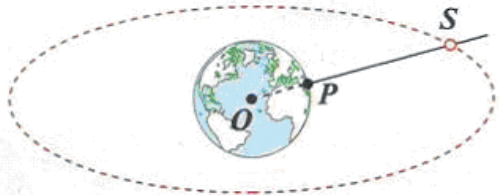
4

Un satellite de télécommunication (S) supposé ponctuel tourne autour de la Terre en paraissant immobile par rapport à elle. (Les points S, P et O sont toujours alignés.)

a- Déterminer la vitesse angulaire du satellite ?

b- Sachant que le satellite tourne à une altitude de 36000 km et que le rayon de la Terre :  $OP = 6\,400 \text{ km}$ .

Déduire la valeur de sa vitesse linéaire en  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  et en  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ .



5

On donne la fiche technique d'une ponceuse à disque

Fiche technique	
• Vitesse à vide :	4 500 à 12 000 $\text{tr}\cdot\text{min}^{-1}$
• Diamètre du disque :	125 mm
• Puissance :	400 W



a- Calculer la vitesse angulaire maximale « à vide » atteinte par le disque

b- Calculer la valeur de la vitesse d'un point M du disque situé à 6 cm de l'axe et celle d'un point N situé à 12,5 cm de l'axe.

c- L'abrasion des surfaces en contact augmente avec la valeur de la vitesse d'un point du disque. L'abrasion avec une telle ponceuse est-elle identique en tout point ?

Suis-je capable :

d'expliquer le principe d'entraînement d'un tapis roulant.

# Activités documentaires

## Plateaux et pignons



Soit  $r_1$  et  $r_2$  les rayons, respectivement, du plateau et du pignon utilisés par le cycliste sur une bicyclette. Lorsque le cycliste fait tourner, grâce au pédalier, le plateau à une vitesse angulaire  $\omega_1$ , (par rapport au référentiel « cadre de la bicyclette »), les pignons et la roue arrière qui en est solidaire tournent à une vitesse angulaire  $\omega_2$ . Tous les points de la chaîne utilisée entre le plateau et un pignon ont des vitesses linéaires de même valeur.

$$\omega_1 \cdot r_1 = \omega_2 \cdot r_2 \quad (1)$$

La circonférence  $C$  du plateau ou d'un pignon s'écrit :  $C = 2\pi r$ .

Si  $u$  désigne la distance entre deux dents et  $N$  le nombre de dents du plateau ou du pignon considéré, cette dernière égalité s'écrit :

$$\begin{aligned} N_1 u_1 &= 2\pi r_1 \text{ (plateau)} \\ N_2 u_2 &= 2\pi r_2 \text{ (pignon)} \quad \text{avec } u_1 = u_2. \end{aligned}$$

Par division membre à membre :

D'après la relation (1) :

En définitive, les nombres de dents et les vitesses angulaires du plateau et du pignon vérifient :

$$N_2 \omega_2 = N_1 \omega_1$$

Par rapport au référentiel « cadre de la bicyclette », un point périphérique de la roue arrière de rayon  $R$  a une vitesse de valeur :  $V = \omega_2 R$  (3).

### Questions :

1- Un cycliste fait tourner le plateau de sa bicyclette à une vitesse angulaire  $\omega$ , égale à  $1 \text{ tr} \cdot \text{s}^{-1}$ . Le rayon  $R$  de la roue arrière est égal à  $335 \text{ mm}$ . Pour l'association d'un plateau de 42 dents et d'un pignon de 21 dents, calculer :

- la vitesse angulaire du pignon ;
- la vitesse du cycliste dans le cas d'un roulement sans glissement.

2- Tracer sur une feuille de papier quadrillé un cercle centré en  $C$  à l'intersection de deux lignes du quadrillage, et de rayon  $R$  égal à  $4 \text{ cm}$  ; le découper.

Marquer un point  $A$  à l'intersection d'un trait du quadrillage passant par  $C$  et de la circonférence. Poser le disque découpé à plat sur une table, en contact avec l'arrête graduée d'un double décimètre ; placer  $A$  sur la graduation  $O$ .

Faire rouler sans glisser le disque sur l'arrête graduée, de façon qu'il effectue un quart de tour.

- Relever alors la graduation du point de contact avec le disque.
- Quelle est la distance  $d$  parcourue par le centre du disque ?
- Calculer  $\frac{R}{d}$ . Comparer à  $\frac{\pi}{2}$ . Interpréter le résultat.

# Savoir plus

## Exemples de techniques d'étude des mouvements des solides

Ces techniques d'étude sont nombreuses ; On se contente de quelques indications sur les plus couramment utilisées.

### I. La chronophotographie

En impressionnant périodiquement une pellicule photographique grâce à un disque troué tournant rapidement devant l'objectif, on forme, sur cette pellicule, plusieurs images successives permettant de « décomposer le mouvement ».

**Exemple :** mouvement rectiligne uniformément varié

Chronophotographie du mouvement rectiligne uniformément accéléré



Chronophotographie du mouvement rectiligne uniformément décéléré.

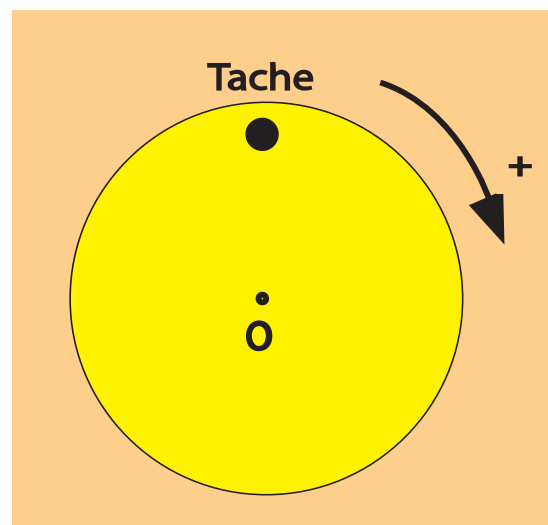


Bande noire 0,30 m ;  $dt = 150$  ms

### II. La stroboscopie

La stroboscopie est utilisée pour l'étude des mouvements périodiques rapides, elle permet de déterminer la fréquence d'un mouvement ou de « le ralentir » pour l'observer et l'étudier plus commodément.

On éclaire le phénomène périodique par un stroboscope (appareil émettant des éclairs d'une manière périodique). On fait varier la fréquence des éclairs jusqu'à l'obtention de l'immobilité apparente. La fréquence du mouvement réel vérifie une relation simple avec la fréquence du stroboscope permettant de voir l'immobilité apparente.



### III. Les enregistrements vidéo

Avec une caméra vidéo (un caméscope ou un Webcam), on filme le corps en mouvement à raison de 25 images par seconde.

Le caméscope doit disposer d'un mode de projection image par image.

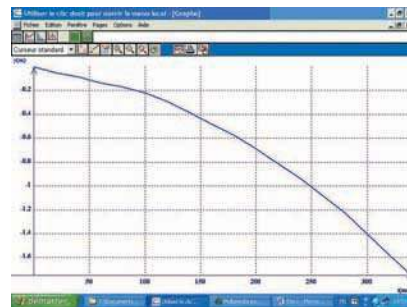
On doit filmer le mouvement du corps après avoir dirigé l'axe de visée perpendiculairement au plan attendu du mouvement.

Après l'enregistrement, on connecte le caméscope à un téléviseur sur l'écran duquel on a fixé un papier calque grâce à des rubans adhésifs. Puis on fait défiler le film image par image. Pour chaque image, on marque sur le calque d'une croix au feutre de la position du corps sur l'écran.

Lors de l'observation sur un téléviseur, il est possible d'observer le mouvement au ralenti et, même, avec un défilement image par image.

Le traitement informatique : Un logiciel de traitement (Exemples : Regavi et Regressi) permet, en faisant défiler l'enregistrement image par image, de relever sur chaque image, d'un clic de souris, les coordonnées du centre du corps .

Il faut avoir préalablement filmé, en même temps que le corps, une tige de longueur connue afin d'effectuer l'étalonnage des axes. Des outils simples permettent d'exploiter les résultats et, par exemple, de calculer les valeurs des vitesses du corps à des instants de dates données.



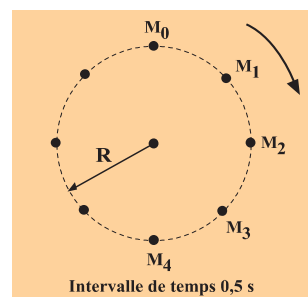
### IV. Le marquage par étincelage

Cette technique permet de connaître la position d'un point d'un mobile autoporteur à des instants séparés par la même durée  $\tau$  ( $\tau = 40$  ms ou 60 ms). À un instant déterminé, une étincelle éclate entre une pointe P, se trouvant au centre de la surface du mobile autoporteur en contact avec la table, et la table, produisant une marque fine sur le papier. A chaque durée  $\tau$ , une trace est laissée sur la feuille collée à la table. On analyse le mouvement grâce à l'ensemble des marques :

Si les traces sont équidistantes, le mouvement du mobile est uniforme.

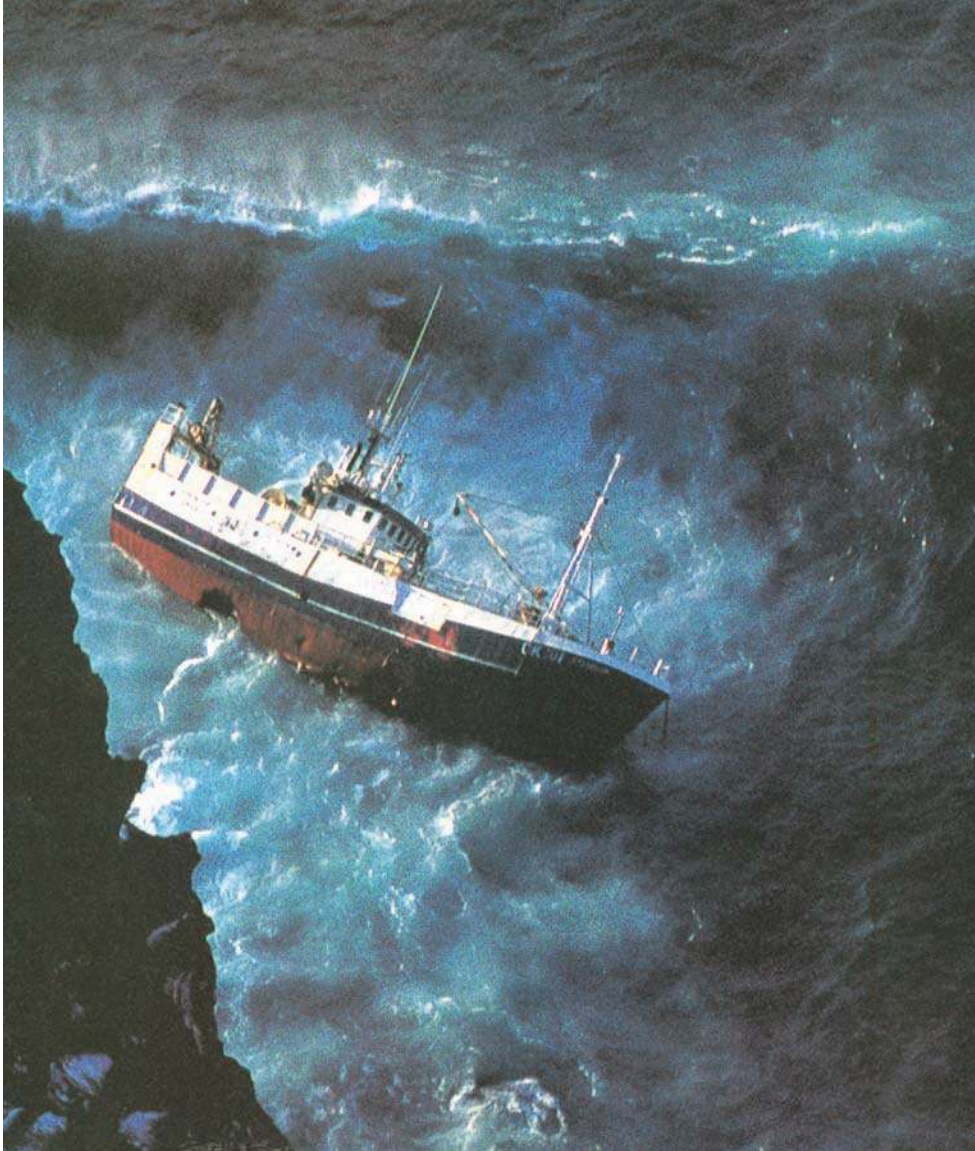
Si les traces se rapprochent, le mouvement est retardé.

Si les traces s'éloignent, le mouvement est accéléré.



## Chapitre 3

# Pression



Lorsque la pression atmosphérique et la pression de l'eau se déchaînent, la catastrophe est inévitable et le bateau se brise

## Contenu du chapitre 3

- ◆ Pression en un point d'un liquide.
- ◆ Principe fondamental de l'hydrostatique.
- ◆ Pression atmosphérique.

# Pression en un point d'un liquide.

## Principe fondamental de l'hydrostatique

### Je dois être capable :

- ❖ d'appliquer le principe fondamental de l'hydrostatique

### Je dois d'abord tester mes acquis :

Je choisis la (ou les) bonne(s) réponse(s) :

1- La masse volumique d'un liquide est donnée par la relation:

a-  $\rho = m.v.$

b-  $\rho = \frac{v}{m}.$

c-  $\rho = \frac{m}{v}.$

m : la masse du liquide, v : son volume.

2- La masse volumique de l'eau est :

a-  $1 \text{ kg.m}^{-3}.$

b-  $1000 \text{ kg.m}^{-3}.$

c-  $1 \text{ g.cm}^{-3}.$

d-  $10 \text{ g.cm}^{-3}.$

3- La masse de  $1 \text{ cm}^3$  de mercure (Hg) est 13,60 g, sa masse volumique est :

a-  $13,6 \text{ kg.m}^{-3}.$

b-  $13\,600 \text{ kg.m}^{-3}.$

c-  $13,6 \text{ g.cm}^{-3}.$

4- Les empreintes laissées sur le sable par les roues d'un camion chargé sont :

a- plus profondes que celles laissées par les roues d'un camion vide.

b- moins profondes que celles laissées par les roues d'un camion vide.

c- les mêmes que celles laissées par les roues d'un camion vide.

5- La pression s'exprime dans le système international en:

a- Newton (N).

b- bar.

c- Pascal (Pa).

6- La pression exercée par une force sur une surface S est donnée par la relation :

a-  $p = \frac{S}{\|\vec{F}\|}$

b-  $p = \|\vec{F}\|.S$

c-  $p = \frac{\|\vec{F}\|}{S}$

p : pression ;  $\|\vec{F}\|$  valeur de la force pressante ; S : aire de la surface pressée.

7- Une force pressante de valeur 1000 N exerce sur une surface pressée de  $10 \text{ cm}^2$  une pression de valeur :

a-  $10^2 \text{ Pa}.$  ; b-  $10^4 \text{ Pa}.$  ; c-  $10^6 \text{ Pa}.$  ; d-  $10^8 \text{ Pa}.$

## Je construis mes savoirs :

### 1 Un liquide exerce t-il des forces pressantes?



- Remplir d'eau un ballon de baudruche.
- A l'aide d'une aiguille, percer la paroi du ballon de petits trous.



- Le ballon se déforme au cours du remplissage.
- L'eau jaillit à travers les trous.
- Chaque jet d'eau sort perpendiculairement aux parois du ballon.



Les gouttelettes situées au niveau des trous percés se mettent en mouvement vers l'extérieur du ballon sous l'effet de forces exercées par le liquide.

Un liquide au repos exerce des forces pressantes sur les parois du récipient qui le contient. Ces forces pressantes sont normales aux parois. Elles s'exercent de l'intérieur vers l'extérieur.

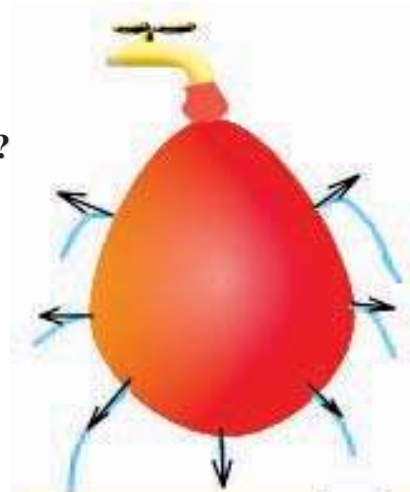


figure1: les parois du ballon se déforment au cours de son remplissage. L'eau jaillit perpendiculairement aux parois du ballon.

### Un liquide au repos exerce des forces pressantes sur les parois du récipient qui le contient.



- A l'aide d'une ficelle, appliquer un obturateur rigide contre la base rodée d'un tube en verre.
- Immerger l'ensemble dans un cristalliseur plein d'eau au repos. Lâcher le fil.
- Incliner le tube (sans y laisser entrer l'eau).
- Remettre le tube vertical et introduire une petite masse marquée à l'intérieur du tube.

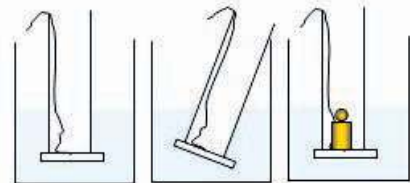


figure2 : l'obturateur reste appliqué contre la base du tube quel soit son orientation et même lorsqu'on introduit une masse marquée dans le tube.



- Quelle que soit l'orientation du tube, l'obturateur reste accolé à sa base.
- La masse marquée ne sépare pas l'obturateur du tube.



Le liquide exerce une force pressante sur toute surface s'y trouvant plongée. Cette force est dirigée du liquide vers l'extérieur.

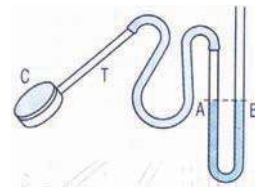
### Un liquide au repos exerce des forces pressantes sur la surface d'un solide immergé.

Un liquide au repos exerce sur les parois du récipient qui le contient ou sur la surface d'un corps immergé des forces pressantes. Ces forces sont perpendiculaires aux surfaces pressées.

## 2 Pression en un point d'un liquide au repos.

Pour mettre en évidence cette pression, on utilise une capsule manométrique.

La capsule manométrique (C) est une petite boîte cylindrique plate, sans couvercle, soudée latéralement à l'extrémité d'un tube rigide T. Cette boîte est fermée par une membrane élastique très mince. Un tube souple réunit l'extrémité libre de T à un tube en forme de U partiellement rempli d'un liquide coloré qui arrive au même niveau dans les deux branches A et B.



Manomètre

Le dispositif ainsi réalisé constitue un manomètre.



Exercer une légère force  $\vec{F}$  avec le doigt sur la membrane de la capsule.



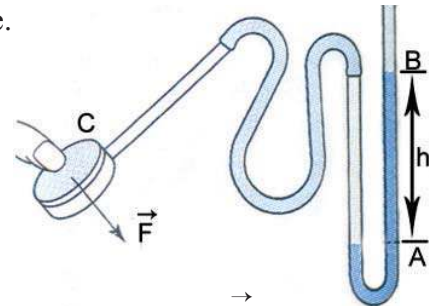
- Le niveau du liquide descend dans la branche A et monte dans la branche B.
- La dénivellation  $h$  varie avec la force exercée.



Refaire l'expérience en exerçant une force plus intense sur la même surface, puis la même force sur une surface plus petite.



- La dénivellation  $h$  augmente avec la force à surface pressée constante.
- La dénivellation  $h$  est d'autant plus grande que la surface pressée est petite à force pressante constante.



La force pressante  $\vec{F}$  agissant sur la membrane provoque une dénivellation entre les niveaux du liquide coloré contenu dans le tube en U.



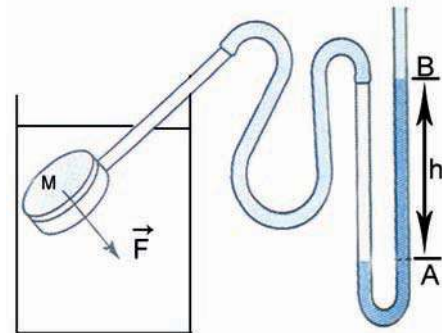
La dénivellation est proportionnelle à la valeur de la force pressante  $\|\vec{F}\|$  exercée sur la membrane et inversement proportionnelle à la surface pressée, donc elle est proportionnelle à la pression  $p$  qu'elle subit.



- Introduire la capsule dans un grand cristalliseur, contenant un liquide homogène et au repos (l'eau par exemple).
- Positionner-la en un point.
- Faire tourner la capsule sur elle-même (le centre doit demeurer au même point).



La rotation de la capsule immergée autour d'un même point d'un liquide au repos ne modifie pas la dénivellation dans le tube en U.

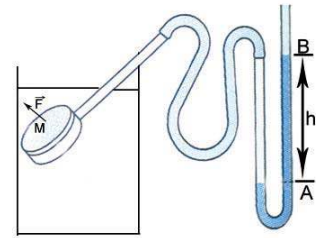




Refaire l'expérience en plaçant la capsule en un autre point (plus profond ou moins profond).



la dénivellation dans le tube en U varie.



La dénivellation  $h$  est indépendante de l'orientation de la capsule autour du point  $M$ .



- Le liquide exerce une force pressante  $\vec{F}$  sur la membrane de la capsule.
- L'intensité de la force pressante  $\vec{F}$  est indépendante de l'orientation de la capsule.
- Au point  $M$  du liquide au repos (où on a placé le centre de la membrane) existe une pression ayant une valeur bien déterminée.
- La pression en un point d'un liquide au repos varie avec la profondeur.

En chaque point d'un liquide au repos, il existe une pression de valeur bien déterminée.

### Remarques :

1) La valeur de la pression en un point d'un liquide peut être lue sur un manomètre gradué au préalable en plaçant le centre de la capsule dont il est muni au point considéré.

2) Chaque élément de surface ( $s$ ) d'un corps en contact avec le liquide subit une force

pressante de la part de ce dernier. Cette force  $\vec{F}$  est telle que :

- sa direction est normale à l'élément de surface en question ;
- son sens est du liquide vers le corps ;
- sa valeur est  $\|\vec{F}\| = p.s$  ;  $s$  étant l'aire de la surface( $s$ ).

### 3) Comment varie la différence de pression entre deux points d'un liquide homogène et au repos ?



Déplacer la capsule du manomètre entre deux points A et B d'un plan horizontal.



La dénivellation  $h$  du liquide dans le tube en U du manomètre ne varie pas.



La pression exercée par le liquide sur la capsule du manomètre au point A est la même qu'au point B. La différence de pression entre les deux points A et B est nulle.  $p_B - p_A = 0$

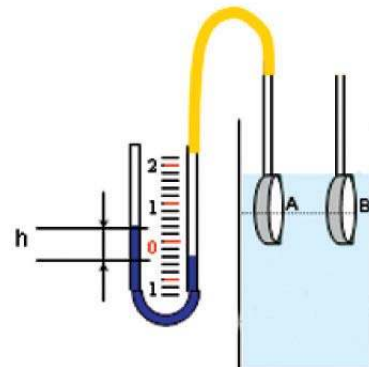


Figure3- : La dénivellation  $h$  ne varie pas lorsque la capsule se déplace suivant la droite AB

Dans un liquide homogène et au repos, la différence de pression entre deux points d'un plan horizontal est nulle.



Enfoncer progressivement la capsule du manomètre dans l'eau d'un niveau A d'abscisse  $z_A$  repéré sur un axe  $z'z$  vertical orienté vers le bas, vers un niveau B plus bas d'abscisse  $z_B$



- La dénivellation du liquide dans le tube en U du manomètre est plus importante lorsque la capsule est en B que lorsqu'elle est en A.
- Lorsque la différence de niveau  $H = z_B - z_A$  du liquide augmente, la différence des dénivellations ( $h_2 - h_1$ ) du manomètre augmente ( $h_2 > h_1$ ).

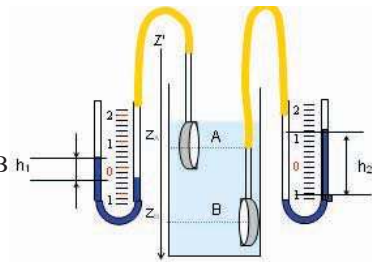


figure4 : La dénivellation  $h$  du liquide du manomètre augmente lorsqu'on descend du niveau A au niveau B

La pression au point B est plus grande que la pression au point A.  $p_B > p_A$ .  
La différence de pression entre A et B augmente avec la différence de niveau entre ces deux points.

La différence de pression entre deux points d'un liquide homogène et au repos augmente avec la différence de niveau entre ces deux points.



Comparer les différences des dénivellations  $h$  du manomètre obtenues pour deux points  $A_1$  et  $B_1$  appartenant à l'eau distillée et deux points  $A_2$  et  $B_2$  appartenant à l'eau salée en veillant à ce que les différences des niveaux  $z_{B1} - z_{A1}$  et  $z_{B2} - z_{A2}$  soient égales.

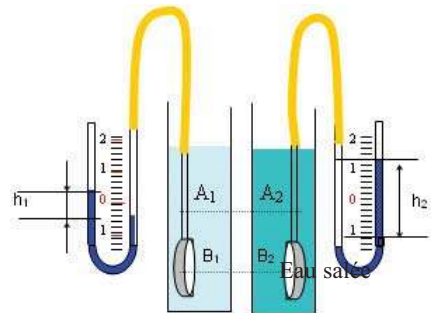


La dénivellation  $h$  est plus importante dans l'eau salée.



A différence de niveaux égale la différence de pression exercée par l'eau salée est supérieure à celle exercée par l'eau distillée.

$$\rho_{\text{eau distillée}} < \rho_{\text{eau salée}} \quad p_A(\text{eau distillée}) < p_A(\text{eau salée})$$

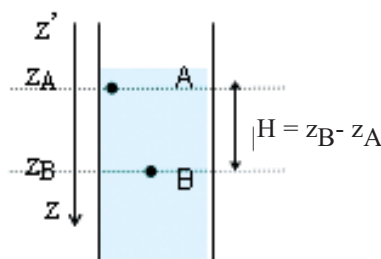


Eau distillée

figure5 : A une même profondeur, la pression est plus importante dans l'eau salée que dans l'eau distillée.

Pour la même différence de niveau entre deux points d'un liquide homogène et au repos, la différence de pression augmente avec la masse volumique du liquide.

Les résultats observés sont généraux. Ils illustrent le principe fondamental de l'hydrostatique.



## Enoncé du principe fondamental de l'hydrostatique :

La différence de pression ( $p_B - p_A$ ) entre deux points A et B d'un liquide homogène et au repos, lorsque B est plus profond que A, s'exprime par la relation :

$$\vec{p}_B - p_A = \rho \cdot \vec{g} \cdot H$$

$\vec{p}_B$  ← Pa       $\rho$  ← kg.m<sup>-3</sup>       $\vec{g}$  ← N.kg<sup>-1</sup>       $H$  ← m

Avec :

$p_A$  : la pression au point A.

$p_B$  : la pression au point B.

$H$  : la différence de niveau entre les points A et B.

$\rho$  : la masse volumique du liquide.

$\vec{g}$  : l'intensité de la pesanteur dans le lieu de l'expérience.

### 4 Application : les vases communicants.

#### Principe des vases communicants



Verser un liquide homogène dans un système de vases communicants.



- Lorsque des récipients communiquent entre eux, ils se comportent comme un récipient unique.
- Les surfaces libres du liquide dans les différents vases sont situés dans le même plan horizontal.

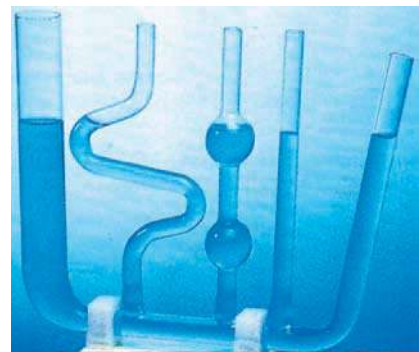


figure 6 : le niveau du liquide est le même dans les différents vases communicants.

#### Activités :

##### 1- Mesure de niveau

Les maçons utilisent un flexible ou un tuyau transparent rempli d'eau (figure 7) pour trouver des points éloignés l'un de l'autre appartenant au même plan parfaitement horizontal ce qui leur permet de repérer des points d'un mur ou de murs espacés et situés à un même niveau ou de construire des sols et des dalles horizontaux.

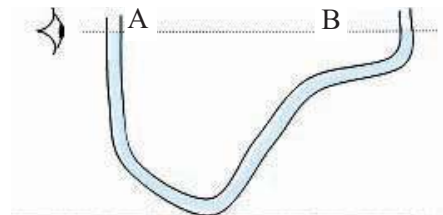


figure 7 : Le niveau d'eau définit un plan horizontal

##### 2- Le Siphon

C'est un tube coudé. L'une de ses extrémités plonge dans le liquide du récipient A, l'autre extrémité plonge dans le récipient B. En remplissant le tube de liquide par aspiration ou par un autre moyen, le liquide va s'écouler du récipient A dans le récipient B jusqu'à ce que le niveau du liquide soit le même dans les deux récipients.

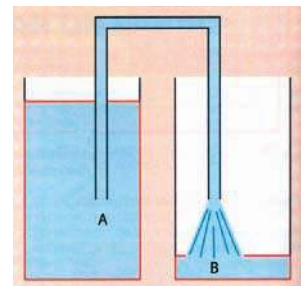
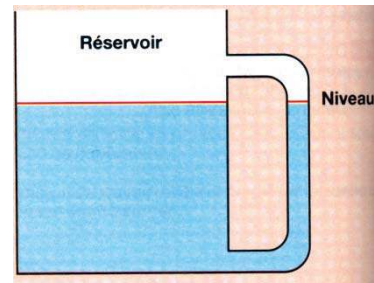


figure 8 : le siphon permet de faire communiquer deux récipients entre eux.

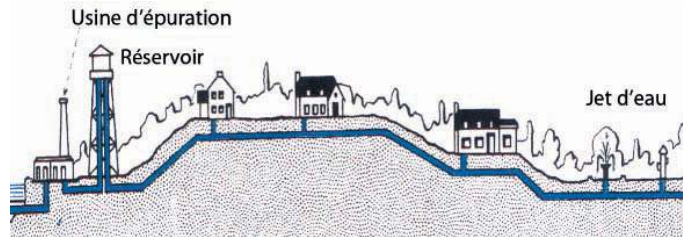
### 3-Indicateur de niveau

Un tube en verre gradué placé latéralement à un réservoir opaque et communiquant avec celui-ci permet de connaître le niveau du liquide dans le réservoir ainsi que son volume.



### 4-La distribution de l'eau :

L'eau potable est distribuée dans les villes grâce à des châteaux d'eau. Le château d'eau est placé en hauteur de manière à fournir aux usagers de l'eau sous une certaine pression.



### 5-La perfusion

Pour introduire un liquide dans les artères, par l'intermédiaire d'un cathéter, la pression du liquide dans le cathéter doit être au moins égale à la pression artérielle, appelée aussi tension artérielle (T). C'est la raison pour laquelle le flacon doit être suspendu à une hauteur h suffisante au dessus du patient. Pour une personne couchée, la pression artérielle est environ  $T = 13\,300$  Pa. La pression à la surface libre du liquide dans le flacon est pratiquement nulle.

Le liquide perfusé a une masse volumique  $\rho$  pratiquement égale à celle de l'eau, d'où la hauteur du flacon doit avoir une valeur

$$h > \frac{T - 0}{\rho \cdot \|\vec{g}\|} \text{ soit } h > \frac{13300}{1000 \cdot 9,80} = 1,36 \text{ m.}$$

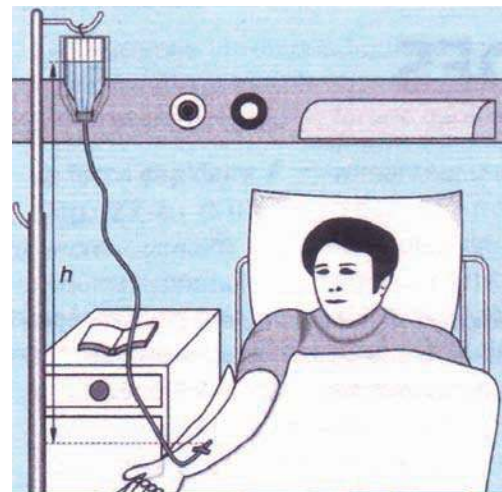


figure 9 : lors d'une perfusion le flacon doit être au dessus du patient.

## ***L' ESSENTIEL***

Un liquide exerce une pression sur les parois du récipient qui le contient.  
Tout corps immergé dans un liquide est soumis à une pression exercée par celui ci.  
En tout point d'un plan horizontal d'un liquide homogène et au repos la pression est la même.

La différence de pression ( $p_B - p_A$ ) entre deux points A et B (B plus profond que A) d'un liquide homogène et au repos s'exprime par la relation :

$$p_B - p_A = \rho \cdot \| \vec{g} \| \cdot H$$

Pa      kg.m<sup>-3</sup>      N.kg<sup>-1</sup>      m

Dans des vases communicants contenant le même liquide, les surfaces libres du liquide dans les différentes branches sont situées dans un même plan horizontal.



<http://perso.club-internet.fr/gatt/BTSCIRA/cours/niveau/chapitre.htm>

<http://villemin.gerard.free.fr/Scienmod/pression.htm>

<http://perso.club-internet.fr/gatt/BTSCIRA/cours/niveau/sommaire.htm>

<http://www.educnet.education.fr/meteo/eaubonne/html/eaub36.htm>

[http://www.thermexcel.com/french/ressourc/mot\\_pump.htm](http://www.thermexcel.com/french/ressourc/mot_pump.htm)

[http://www.csvt.qc.ca/patriotes/pei/travaux/archi\\_el/archi2.html](http://www.csvt.qc.ca/patriotes/pei/travaux/archi_el/archi2.html)

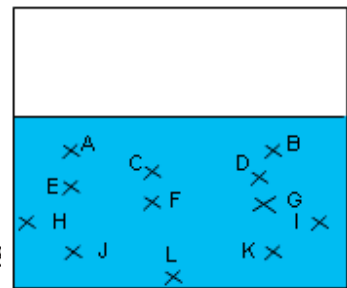
<http://perso.wanadoo.fr/bernard.langellier/quizecluse/recluse.htm>

# EXERCICES EXERCICES

## Est-ce que je connais ?

- 1** Je choisis et je recopie la ou (les) proposition(s) correcte(s) :  
 Dans un liquide homogène et au repos, la pression:
- a- dépend uniquement de la profondeur.
  - b- dépend uniquement de la masse volumique du liquide.
  - c- augmente lorsque la profondeur augmente.
  - d- dépend à la fois de la profondeur et de la masse volumique.
  - e- augmente lorsque la masse volumique du liquide augmente.

- 2**
- a- Sur la figure ci-contre, quels sont les points où la pression du liquide est la même ?
  - b- Quel(s) est (sont) le ou (les) point(s) où la pression du liquide est maximale ?



- 3** Soient  $p_A$  et  $p_B$  les pressions respectivement aux points A et E

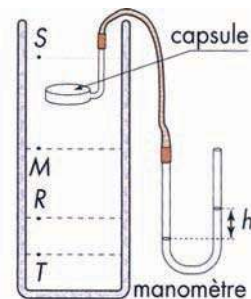
au repos de masse volumique  $\rho$ . Soient  $\|g\|$  l'intensité de la pesanteur dans le lieu de l'expérience et H la différence de niveau entre A et B (A est plus profond que B).

Recopier et compléter avec  $p_A$ ,  $p_B$ ,  $\rho$ ,  $\|g\|$  et H les expressions suivantes :

(a)  $p_A - p_B = \dots\dots\dots$  ; (b)  $p_B = \dots\dots\dots$  ; (c)  $\rho = \frac{\dots\dots}{\dots\dots}$  ; (d)  $H = \frac{\dots\dots}{\dots\dots}$  .  
 Préciser les unités internationales utilisées.

## Est-ce que je sais appliquer ?

- 1** On a mesuré les différences de niveau h dans un manomètre à mercure, en déplaçant une capsule à l'intérieur d'un récipient contenant un liquide.
- a- Quel est le point du liquide où on a la plus forte pression ?
  - b- Quel est le point du liquide où on a la plus faible pression ?
  - c- Recopier et compléter le tableau en précisant en quel point a été effectuée la mesure.



point du liquide			
h (mm)	0	17	43

- 2** La hauteur d'eau dans une piscine est de 2,60 m.  
 Calculer la différence de pression entre la surface libre de l'eau et le fond de la piscine.  
 La masse volumique de l'eau est de  $1\text{g.cm}^{-3}$  ;  $\|g\| = 10\text{N.kg}^{-1}$ .

3

a- Déterminer la pression au niveau d'un robinet fermé situé à 40 m au dessous de la surface libre de l'eau du château d'eau auquel il est relié.

On prendra: la pression à la surface libre de l'eau  $10^5$  Pa.

b- Chercher la dénivellation entre le robinet et la surface libre de l'eau pour que la pression de l'eau au niveau du robinet soit égale à  $2,5 \cdot 10^5$  Pa.

On donne :  $\rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$  ;  $\|\vec{g}\| = 10 \text{ N.kg}^{-1}$ .

### Est-ce que je sais raisonner ?

1

Un tube contient une colonne de mercure de hauteur 1m. Déterminer la hauteur de la colonne d'eau qui correspond à la même différence de pression entre la surface libre du mercure et le fond du tube.

On donne : la masse volumique du mercure est  $13600 \text{ kg.m}^{-3}$ .

2

Deux réservoirs (1) et (2) de forme cylindrique et de sections respectives  $s_1 = 2 \text{ m}^2$  et  $s_2 = 20 \text{ cm}^2$  sont reliés entre eux par un tube (T) fin.

On verse dans l'un des réservoirs 200 L d'eau.

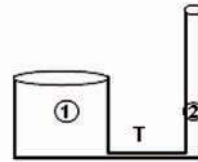
En négligeant la capacité du tube devant les

volumes du liquide contenu dans chacun des réservoirs :

a- Calculer la hauteur d'eau dans chaque réservoir.

b- Calculer le volume d'eau dans chaque réservoir.

c- Proposer une application de ce système.

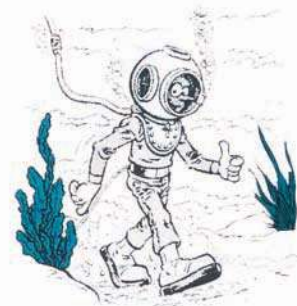


3

Lorsqu'un scaphandrier descend sous le niveau de la mer, la pression qu'il supporte augmente de  $10^5$  Pa tout les dix mètres.

Quelle surpression, due à l'eau, subit-il lorsqu'il atteint la profondeur de 20 m, de 50 m et de 100 m ?

Cela justifie-t-il l'utilisation d'un scaphandre ?



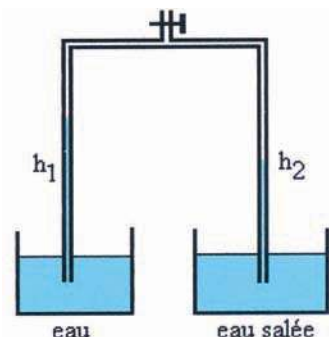
4

Deux tubes verticaux communiquent et plongent l'un dans l'eau pure, l'autre dans l'eau salée. Par aspiration d'air, on obtient deux colonnes de liquide : celle de l'eau pure a une hauteur  $h_1 = 360 \text{ mm}$  et l'autre de l'eau salée a une hauteur  $h_2 = 313 \text{ mm}$ .

a- Pour chaque liquide, exprimer la différence de pression entre sa surface libre dans le tube et sa surface libre dans le vase.

b- Comparer ces différences de pression .

En déduire la densité de l'eau salée.



### Suis-je capable ?

1

d'expliquer, pourquoi lors de la prise de la pression artérielle, le patient doit être allongé?

2

de chercher dans une encyclopédie ou sur Internet qui était Blaise Pascal et citer quelques uns de ses travaux ?

# Activités documentaires

## Activité I : Les écluses

Une écluse est un ascenseur à eau permettant aux bateaux de monter ou de descendre, des rives inclinées parfois de quelques dizaines de mètres par rapport à l'horizontal.

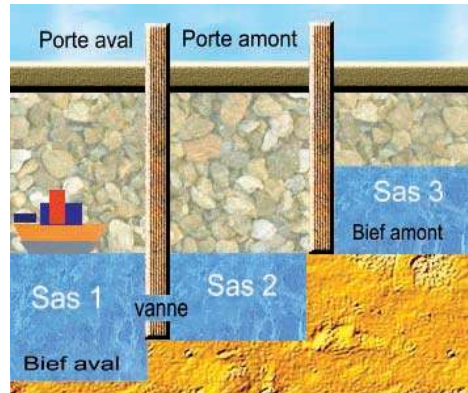
Une écluse est constituée par un bassin appelé **sas** ; sur les côtés deux murs latéraux appelés **bajoyers**, et fermé à ses extrémités par des portes métalliques ou en bois, étanches qui assurent la communication, l'une avec le niveau haut, l'autre avec le niveau bas.

La partie inférieure des portes comporte des orifices appelés **vantelles** (ou organes mobiles) aménagés pour faire la vidange ou le remplissage du sas, ou par des galeries débouchant dans le fond du sas, grâce à des vannes.

Sur les écluses anciennes, l'ouverture des portes s'effectue manuellement. Par contre, sur les écluses plus récentes ou refaites à neuf, tous les organes mobiles de l'écluse (portes, vannes ou vantelles) sont à commandes électriques. Dans les grandes écluses modernes, les commandes sont réunies dans un poste central automatisée.

Le passage d'un bateau du niveau inférieur au niveau supérieur se déroule suivant les étapes suivantes :

- 1- vidange du sas jusqu'au niveau du bief aval.
- 2- ouverture de la porte "aval" .
- 3- entrée du bateau dans le sas .
- 4- fermeture de la porte "aval".
- 5- remplissage du sas jusqu'au niveau du bief amont.
- 6- ouverture de la porte "amont".
- 7- sortie du bateau..



Le passage d'un bateau du niveau supérieur au niveau inférieur se déroule suivant les mêmes étapes mais inversées.

Les dimensions des écluses sont très variables. Celles du canal de Panama ont 305 m de longueur et 33,5 m de largeur . Elles permettent le passage de navires ayant plus de 12 m de tirant d'eau.

### Questions ;

- 1- Chercher dans un dictionnaire la signification des mots : aval, amont, bief et sas.
- 2- Expliquer le principe de fonctionnement des écluses.

## **Activité II : Techniques et dangers de la plongée sous-marine**

### **PROFONDEUR DE PLONGEE ET PRESSION**

La pression, qui augmente rapidement avec la profondeur de plongée (environ 1 bar pour 10 m), impose deux contraintes :

- l'air inspiré doit être à la pression correspondant à la profondeur de plongée. Pour un plongeur autonome, cette fonction est assurée par le détendeur qui abaisse et régularise la pression de l'air comprimé sortant des bouteilles.
- l'importance des forces pressantes exige, à partir d'une certaine profondeur, l'utilisation d'un scaphandre rigide, voire d'un caisson dans lequel sont injectés les gaz nécessaires à la respiration.



### **LA NATURE CHIMIQUE DES GAZ INSPIRES**

La composition du gaz inspiré par le plongeur dépend de la profondeur de plongée. Au-delà de (-40 m), l'air (mélange d'oxygène et d'azote) est remplacé par l'héliox (un mélange d'oxygène et d'hélium), pour éviter le malaise d'ivresse des profondeurs causé par l'azote. Au-delà de (-200 m), on utilise un mélange (hydrogène-oxygène) et à (-300 m), un mélange (hydrogène, hélium, oxygène) appelé hydrox.

### **LES DANGERS DE LA PLONGEE PROFONDE**

Si l'augmentation de la pression des gaz, dans l'estomac et dans les poumons, fait courir au plongeur un risque d'hématome à l'estomac ou d'œdème pulmonaire, le risque majeur de la plongée profonde est l'accident de décompression.

Pendant la descente l'augmentation de la pression entraîne une dilution des gaz inspirés dans tous les organes. Si la remontée est brutale, ces gaz sont libérés sous forme de bulles qui provoquent des embolies, principalement au niveau du cerveau et des articulations : c'est l'accident de décompression. Pour éviter ce type d'accident, il faut respecter des paliers de décompression, d'autant plus longs que la plongée a été plus profonde et plus longue, ce qui réduit considérablement la durée de travail effectif dans une journée (1 h 30 de travail pour 8 h de plongée à - 300 m).

Les plongeurs victimes d'accidents de décompression trop rapide sont enfermés dans des caissons dans lesquels on reproduit la pression de plongée. L'atmosphère du caisson est alors ramenée à la pression atmosphérique en respectant les paliers de décompression.

### **Questions :**

- 1- Quelle est la grandeur physique qui varie rapidement au cours d'une plongée?
- 2- Préciser le rôle du détendeur dans les dispositifs d'alimentation en gaz respirable.
- 3- Citer deux risques particuliers liés à la plongée profonde.
- 4- Expliquer les causes et les manifestations des accidents liés à une décompression trop rapide.

# Pression atmosphérique



Les milliers de données fournis par le satellite Météosat à chaque instant ont rendu les prévisions météorologiques de plus en plus précises et plus longues.

# Pression atmosphérique

## Je dois être capable :

- ❖ de mettre en évidence l'existence de la pression atmosphérique.
- ❖ de lire une carte météorologique pour prévoir le temps.

## Je dois d'abord tester mes acquis :

Choisir la (ou les) bonne(s) réponse(s) :

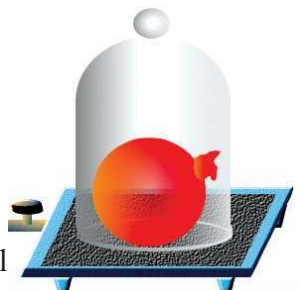
- 1 - L'air :
  - a- possède une forme propre.
  - b- n'a pas de volume propre.
  - c- n'est pas compressible.
  - d- n'a pas de poids.
- 2- La différence de pression entre deux points d'un liquide homogène et au repos situés à une altitude  $h$  l'un de l'autre augmente si :
  - a- l'altitude  $h$  diminue.
  - b- l'altitude  $h$  augmente.
  - c- la masse volumique du liquide augmente.
  - d- la mesure s'effectue sur la lune.
- 3- Dans une baignoire le rôle du siphon est :
  - a- d'empêcher les cafards de monter dans la baignoire.
  - b- de vidanger totalement le bain.
  - c- d'empêcher les mauvaises odeurs de se répandre dans la salle de bain.
  - d- de relier la baignoire à la canalisation d'évacuation.

## Je construis mes avoirs :

### 1 L'air qui nous entoure exerce-il des forces pressantes sur les surfaces en contact avec lui ?



- Emprisonner un peu d'air dans un ballon de baudruche.
- Mettre le ballon sous une cloche en verre et aspirer à l'aide d'une pompe à vide l'air sous la cloche.



Le ballon de baudruche se gonfle lorsqu'on vide l'air sous l



L'air emprisonné dans le ballon exerce des forces pressantes par suite une pression sur les parois internes du ballon. Ainsi le ballon se gonfle en absence d'air sous la cloche.



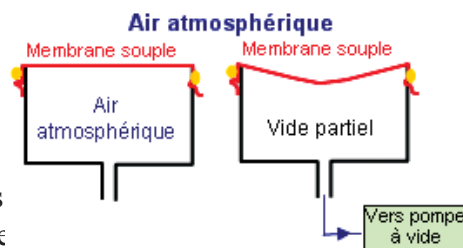
Aspirer progressivement l'air emprisonné dans le cylindre.



La membrane s'incurve puis se déchire.



- La membrane s'incurve à mesure que l'air se raréfie à l'intérieur du cylindre puis se déchire sous l'action des forces pressantes que l'air atmosphérique exerce sur sa face externe.
- A l'intérieur du cylindre, la force exercée sur la membrane par l'air emprisonné dans le cylindre ne compense plus celle exercée par l'air atmosphérique.
- En chaque point de la face externe de la membrane, l'air exerce une pression appelée **pression atmosphérique**.



*Expérience du crève-vessie : un récipient cylindrique est fermé par une membrane souple, plane au début de l'expérience.*



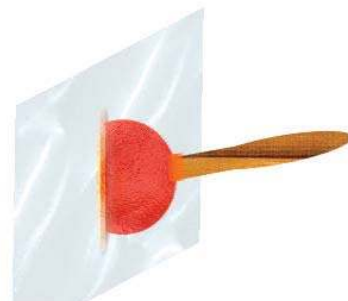
Adhérer une ventouse contre un vitre ou une surface polie et essayer de l'enlever.



On ne peut pas arracher la ventouse du vitre, même en exerçant une force d'intensité assez grande.



Lorsqu'on applique la ventouse contre le vitre, l'air sous la ventouse sera chassé, ainsi l'air extérieur exerce une forte pression sur les parois externes de la ventouse, ce qui l'empêche de se décoller.





Chauffer un bidon métallique débouché ( vérifier qu'il ne contient aucun produit inflammable), le fermer hermétiquement et laisser se refroidir.



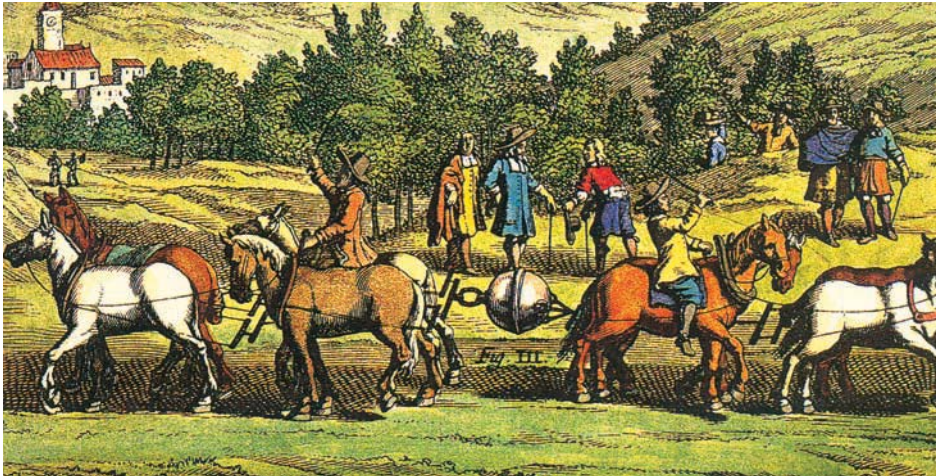
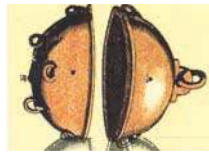
Le bidon s'écrase sur lui-même.



Par chauffage, une grande partie de l'air à l'intérieur du bidon sera évacuée. A l'extérieur, la pression de l'air atmosphérique devient plus importante que celle de l'air refroidi restant à l'intérieur et écrase le bidon.



L'expérience historique des hémisphères de Magdebourg a été réalisée en 1654 à Magdebourg par Otto de Guericke devant le roi Frederik de Prusse. Deux demi-sphères de même diamètre sont soigneusement accolées. On extrait l'air contenu dans la sphère ainsi constituée à l'aide d'une pompe afin d'y faire le vide. La sphère est alors attelée à huit chevaux qui ne parviennent pas à séparer les demi-sphères l'une de l'autre.



Pourquoi les deux hémisphères restent ils accolés ?



- Remplir un ballon d'ammoniac gazeux ( $\text{NH}_3$ ) en prenant les précautions nécessaires.
- Fermer le ballon par un bouchon muni d'un tube de verre étroit effilé du côté de l'intérieur du ballon.
- Plonger l'extrémité accessible du tube dans l'eau d'un cristalliseur.



L'eau gicle à l'intérieur du ballon.





L'ammoniac est très soluble dans l'eau. Dès qu'il vient à son contact, il s'y dissout, ce qui produit une chute de pression à l'intérieur du ballon.

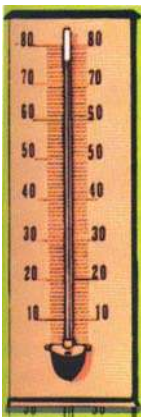
Sous l'effet de la différence de pression ainsi engendrée entre l'intérieur du ballon et la surface libre de l'eau dans le cristalliseur, l'eau se précipite dans le ballon.

Tout corps, en contact avec l'air, subit une pression de la part de celui-ci.  
En tout point de l'air atmosphérique se manifeste une pression appelée pression atmosphérique.

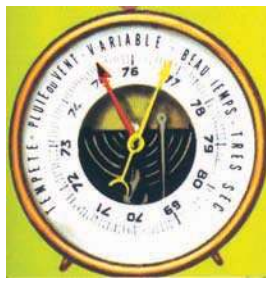
## 2 Quel instrument utilise-t-on pour mesurer la pression atmosphérique ?

La pression atmosphérique se mesure à l'aide d'un **baromètre**.

On distingue quatre types de baromètres :



Le baromètre à mercure



Le baromètre anéroïde



Le baromètre enregistreur (barographe)



Le baromètre électronique

**Le baromètre à mercure** est formé d'un tube fermé à une seule extrémité et contenant du mercure.

La distance verticale  $h$  des niveaux du mercure dans le tube et dans la cuve ne dépend, ni de la section du tube, ni de la forme du tube, ni de son inclinaison. Elle dépend uniquement de la pression atmosphérique.

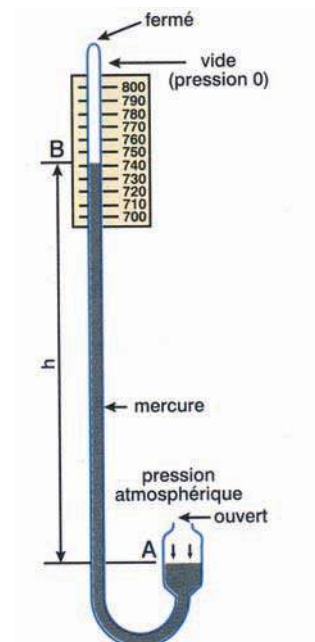
Si la pression atmosphérique augmente alors  $h$  augmente.

Si la pression atmosphérique diminue alors  $h$  diminue.

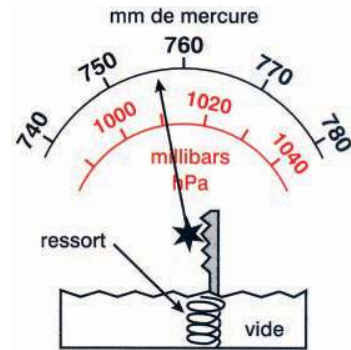
$$p_A - p_B = \rho_{Hg} \parallel \mathbf{g} \parallel h$$

or  $p_B = 0$  donc

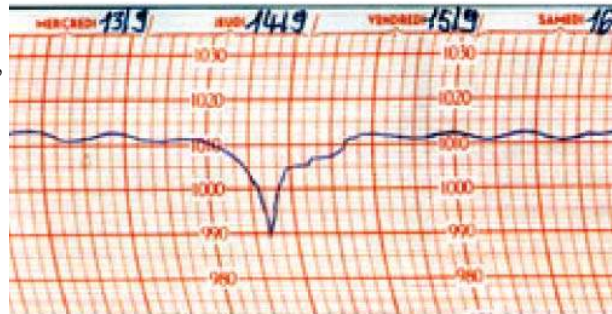
$$p_A = \rho_{Hg} \parallel \mathbf{g} \parallel h = \text{pression atmosphérique} = p_{\text{atm}}$$



**Le baromètre anéroïde** est constitué d'un boîtier sur lequel est fixé une aiguille qui pivote. La face supérieure du boîtier est déformable sous l'action des forces pressantes exercées par l'air. Sa déformation est élastique et proportionnelle à la pression de l'air atmosphérique. L'appareil est gradué par comparaison avec le baromètre à mercure.



**Le barographe** se base sur le même principe de fonctionnement qu'un baromètre **anéroïde**, mais son aiguille porte une plume qui enregistre les fluctuations de la pression sur un papier collé à un tambour tournant à vitesse constante.



**Le baromètre électronique** possède un capteur de pression qui envoie des signaux électriques vers un circuit de traitement électronique.

### Unités de la pression atmosphérique :

la pression atmosphérique s'exprime en **Pascal (Pa)** dans le système international des unités. On l'exprime souvent en d'autres unités comme **l'atmosphère (atm)**, **le bar**, **le millibar(mbar)** et le **millimètre de mercure (mmHg)**.

**Les pressions les plus souvent rencontrées s'expriment en multiple de pascal l'hectopascal (hPa) 1hPa =100Pa**

Le **bar**, plus facile à utiliser, est un multiple du pascal : **1bar = 10<sup>5</sup> Pa =100000 Pa**

**1mbar = 1 hPa**

La pression atmosphérique au niveau de la mer à la température 0°C vaut :

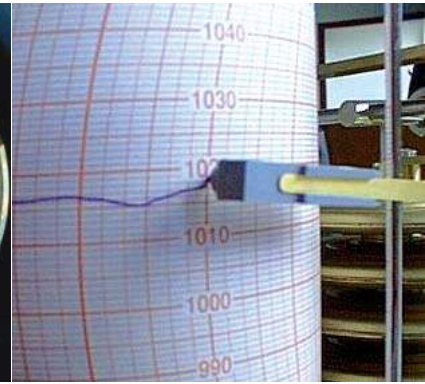
**1013 hPa = 1013mbar=760 mmHg =1atm**

Cette pression s'appelle la pression atmosphérique normale.

### Activité :

Les photos ci-dessous représentent trois types de baromètres :

- a- Attribuer à chacun d'eux le nom correspondant.
- b- Donner, en précisant l'unité, les valeurs lues de la pression p indiquée par chacun d'eux .



## 2 L'altitude et la latitude ont-elles un effet sur la pression atmosphérique ?

Quand on s'élève au-dessus du niveau de la mer (en escaladant les montagnes ou en montant dans un avion) on a de moins en moins d'air au dessus de soi : La pression atmosphérique diminue.



*variation de la pression atmosphérique en fonction de l'altitude*



*La mesure de la pression atmosphérique donne une indication sur l'altitude à laquelle on se trouve : un baromètre peut être utilisé en altimètre.*

### La pression atmosphérique diminue avec l'altitude.

#### Activité :

La cabine des avions est pressurisée à la pression régnant à 2500 m.

- Se renseigner sur l'altitude à laquelle volent en général les avions.
- Déterminer approximativement la pression à cette altitude, la comparer à celle qui règne dans la cabine.

- Au niveau de la mer la pression atmosphérique n'a pas la même valeur en divers lieux.
- Elle augmente en se déplaçant de l'équateur vers les pôles (sud ou nord).
- A une altitude donnée, la pression sera plus faible dans une masse d'air froide que dans une masse d'air chaude.
- Dans une région de faible étendu, la pression atmosphérique est la même (par exemple dans une salle de classe, la pression atmosphérique est la même partout.)



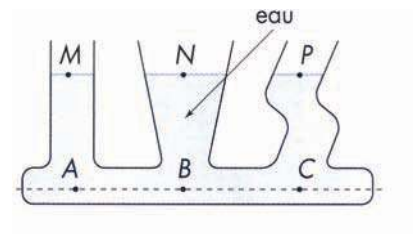
variation de la pression atmosphérique pour une altitude donnée

### La pression atmosphérique varie avec le lieu.

#### Activité :

La pression atmosphérique est  $p = 1015 \text{ hPa}$ .

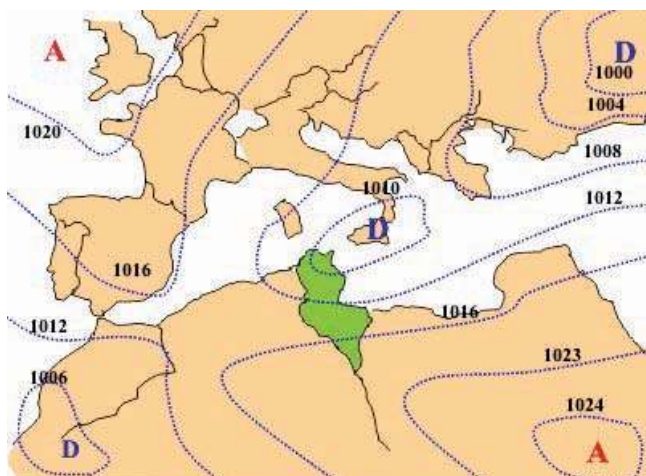
- Donner la valeur de la pression atmosphérique en pascal, puis en bar.
- Justifier l'appartenance de M, N et P à un même plan horizontal.
- Quelle est la relation liant les pressions en A, B et C ?



### 3 Comment les météorologistes prévoient-ils le temps ?

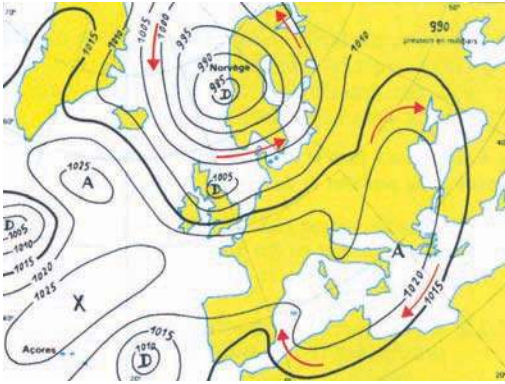
A l'aide des stations météorologiques réparties sur différents lieux de la planète, les météorologistes prélèvent à des heures données, les valeurs de la pression atmosphérique. Les valeurs de la pression recueillies sont pointées sur des cartes appelées **cartes météorologiques**.

Les cartes météorologiques permettent une vue d'ensemble de l'atmosphère, ce qui permet aux météorologistes de prédire le temps.



Carte météorologique présentant différentes zones de pression (..... : les isobares)

- ❑ **Les isobares sont des lignes d'égale pression** : elles joignent les points ayant la même pression atmosphérique.
- ❑ Les dépressions « D » ou « L » **sont les zones de basses pressions**. Il fait alors mauvais temps: il peut donc y avoir des pluies, des orages, des grands vents ou même des cyclones.
- ❑ Les anticyclones « A » ou « H » sont les zones de hautes pressions. Il fait alors beau temps tant que l'anticyclone reste au même endroit.
- ❑ Les masses d'air se déplacent des anticyclones (zones de hautes pressions) vers les dépressions (zones de basses pressions).



Dans l'hémisphère nord de notre planète :

- dans une zone de dépression, le vent tourne dans le sens contraire des aiguilles d'une montre.
- dans une zone d'anticyclone, le vent tourne dans le même sens que celui des aiguilles d'une montre.

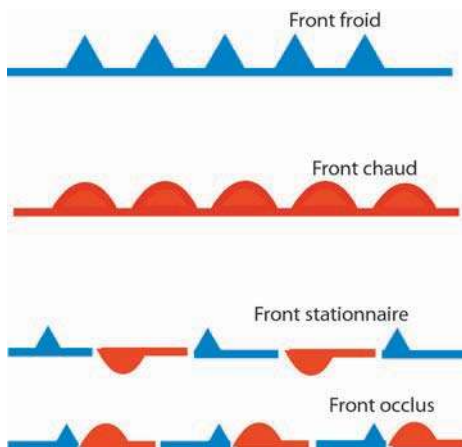
### Comment reconnaître un front chaud et un front froid ?

Le temps, à un endroit donné, est déterminé par la masse d'air qui le surmonte. Le passage des fronts marque les changements de temps. En conséquence, c'est sur le pourtour des masses d'air (affrontement entre deux masses d'air), et non en leur sein, que se produisent les modifications de temps.

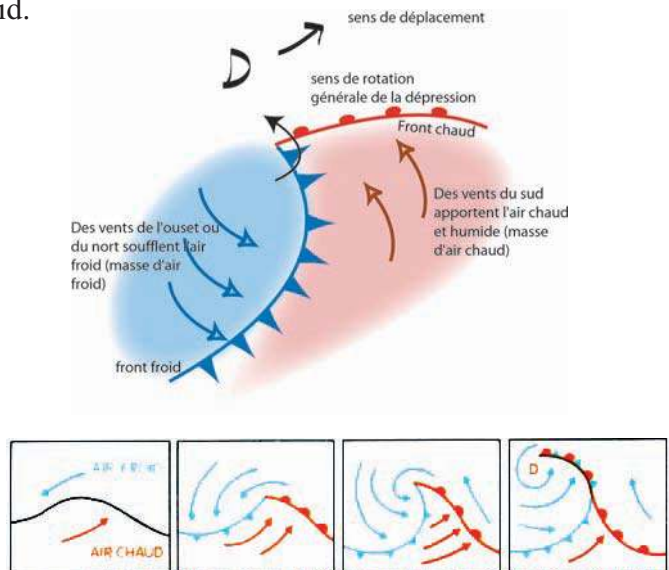
Les fronts peuvent être froids, chauds, occlus, stationnaires.

Le front chaud est une surface de séparation entre deux masses d'air de températures différentes, l'air froid précédant l'air chaud.

Le front froid est une surface de séparation entre deux masses d'air de températures différentes, l'air chaud précédant l'air froid.



symboles officiels utilisés pour représenter les fronts sur les cartes météorologiques



formation d'une dépression.

## Les prévisions :

Les météorologistes suivent l'évolution au cours du temps des isobares, des zones de basses pressions « **D** » et des zones de hautes pressions « **A** ».

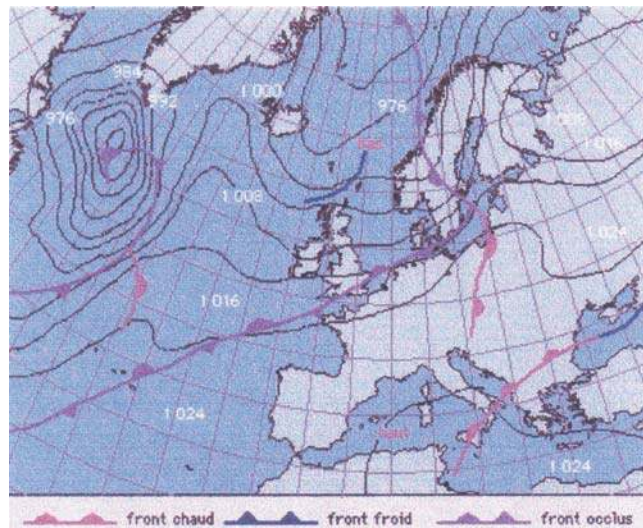
- ❖ Dans un lieu donné, la connaissance de la valeur exacte de la pression atmosphérique est peu importante. Pour prédire le temps qu'il fera, on s'intéresse à la variation de celle-ci.



## Activité :

En exploitant cette carte :

- dire si la Tunisie se trouvait dans une zone de dépression ou dans une zone d'anticyclone.
- dire si elle subissait l'action d'un front chaud ou un front froid.



Une augmentation de la pression atmosphérique est signe de beau temps, alors qu'une pression à la baisse annonce généralement l'arrivée des nuages.  
Une pression qui monte et descend rapidement, annonce généralement des grands vents.

Lorsqu'une zone de basses pressions « **D** » s'approche d'une zone de hautes pressions « **A** », il se crée des déplacements d'air plus ou moins forts suivant la différence de pression.

Plus la différence de pression entre les zones « **A** » et « **D** » est grande, plus les vents soufflent forts, de la zone de haute pression vers la zone de basse pression, ce qui annonce des tempêtes.

# EXERCICE RESOLU

## Enoncé :

Une pompe aspirante peut créer une dépression de 40000 Pa.

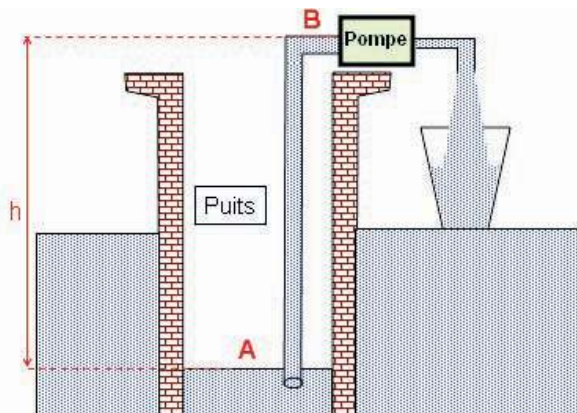
a- Quelle est la pression qui s'exerce sur l'eau du puits, en A ? (figure ci dessous)

b- Quelle est la pression à l'entrée de la pompe (en B) ?

c- A quelle hauteur maximale, au-dessus de la surface de l'eau d'un puits, doit-on placer la pompe aspirante pour qu'elle puisse remonter l'eau ?

On donne : la masse volumique de l'eau  $\rho = 1\ 000\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$  ; l'intensité de la pesanteur

$\|\vec{g}\| = 10\ \text{N}\cdot\text{kg}^{-1}$ .



## Solution :

a- La pression qui s'exerce sur l'eau du puits, en A, est la pression atmosphérique.

$$p_A = p_{\text{atm}}$$

b- En B, la pression à l'entrée de la pompe est inférieure de 40 000 Pa à la pression atmosphérique,  $p_B = p_{\text{atm}} - 40\ 000$

c- En appliquant le principe fondamental de l'hydrostatique:

$$p_A - p_B = \rho \|\vec{g}\| h$$

$$\text{On tire : } h = \frac{p_A - p_B}{\rho \cdot \|\vec{g}\|}$$

$$\text{Application numérique : } h = \frac{40\ 000 - 0}{1000 \cdot 10} \text{ soit } \underline{h = 4\ \text{m}}.$$

## ***L' ESSENTIEL***

La pression exercée par l'air est appelée pression atmosphérique.

On mesure la pression atmosphérique par un baromètre.

La pression atmosphérique normale est de 1013 hPa.

La pression atmosphérique diminue lorsqu'on s'élève en altitude.

Sur une isobare la pression atmosphérique est constante.

Une zone de dépression est une zone de basse pression.

Une zone d'anticyclone est une zone de haute pression.

Dans une zone de dépression, le vent tourne dans le sens contraire des aiguilles d'une montre.

Dans une zone d'anticyclone, le vent tourne dans le même sens que celui des aiguilles d'une montre.

L'air se déplace de la zone d'anticyclone vers la zone de dépression.



<http://www.meteo.tn>

<http://www.meteoswiss.ch/data/>

<http://www.meteosat.com/>

<http://www.meteofrance.com/FR/pedagogie/index.jsp>

<http://perso.club-internet.fr/gatt/BTSCIRA/cours/niveau/sommaire.htm>

<http://www.educnet.education.fr/meteo/eaubonne/html/eaub36.htm>

# EXERCICES EXERCICES

## Est-ce que je connais ?

- 1 Je lis et je réponds.
  - a- Qu'appelle t-on la pression exercée par l'air sur un corps?
  - b- Quel est l'instrument utilisé pour mesurer cette pression?
  - c- Quelle est la valeur de cette pression au niveau de la mer si la température est de  $0^{\circ}\text{C}$  ?
  
- 2 J'exprime dans le système international des unités les valeurs des pressions ci-dessous :
  - a- 720 mm Hg .
  - b- 1020 hPa.
  - c- 975 mbar.
  
- 3 Je lis et je recopie la phrase correcte sur mon cahier.
  - a- En tout point d'une ligne isobare, la pression est constante.
  - b- Lorsqu'on s'élève en altitude, la pression atmosphérique diminue.
  - c- Lorsque la pression atmosphérique décroît au cours du temps, il va faire beau temps.

## Est-ce que je sais appliquer ?

- 1 On remplit à ras bord un verre d'eau et on applique une feuille de carton contre le bord du verre. Expliquer pourquoi l'eau ne s'écoule pas quand on retourne le verre.



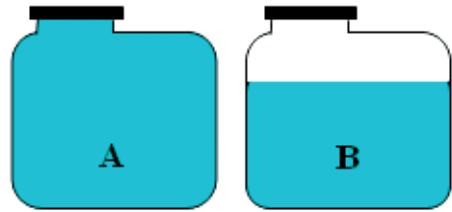
- 2 Pourquoi le liquide monte-t-il dans la paille avec laquelle vous buvez une boisson ou un jus?



- 3 L'air exerce, sur chaque centimètre carré d'un corps, une force de valeur environ 101 N. Pourquoi tu ne te rends pas compte de la présence de ces forces ?

**4** La cuve A est entièrement remplie d'eau.  
La cuve B est en partie vidée.  
Le diamètre du bouchon est 20cm.

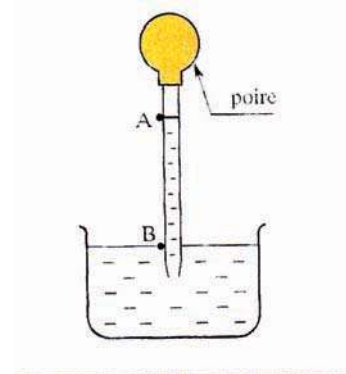
- a- Déterminer les caractéristiques de la force s'exerçant sur le bouchon quand la pression atmosphérique vaut 1000 hPa.
- b- Expliquer pourquoi on ne peut pas soulever le couvercle du bidon A, par contre on peut le faire facilement avec le bidon B.
- c- proposer une solution pour ouvrir le bidon A.



### Est-ce que je sais raisonner ?

- 1**
- a- En Tunisie, le réseau de transport du gaz a généralement été conçu pour une pression maximale d'environ 76 bars. Le stockage du gaz dans les canalisations est-il facilité par cette pression élevée ? Justifier la réponse.
  - b- Chez l'utilisateur, la pression du gaz, dans les canalisations après le compteur, est supérieure de 21 millibars à la pression atmosphérique.
    - Pourquoi la pression du gaz dans les brûleurs d'un appareil doit-elle être supérieure à la pression atmosphérique?
    - Calculer la pression maximale du gaz dans les canalisations d'une habitation.

- 2** En chimie, pour prélever un liquide dangereux on aspire celui-ci à l'aide d'une pipette (tube fin et long) surmonté d'une « poire » en caoutchouc.
- On fait monter le liquide d'une hauteur de 20 cm dans le tube.
- a- Calculer la variation de pression entre les points A et B.
  - b- Si la pression atmosphérique est  $10^5$  Pa, déduire la pression de l'air à l'intérieur de la « poire ».
- on donne : la masse volumique du liquide  $\rho = 1,05 \text{ g.cm}^{-3}$  ;  
 $\rightarrow$   
 l'intensité de la pesanteur  $\| g \| = 10 \text{ N.kg}^{-1}$ .



- 3** En chimie, un gaz peut être recueilli dans une éprouvette par déplacement d'eau.
- a- Schématiser le montage de l'expérience.
  - b- Pourquoi l'éprouvette pleine d'eau retournée ne se vide-t-elle pas ?
  - c- La pression du gaz recueilli dans l'éprouvette est-elle supérieure ou inférieure à la pression atmosphérique? Justifier votre réponse.

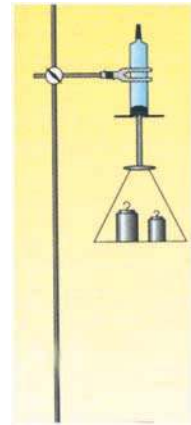
- 4** Le piston d'une seringue étant complètement enfoncé, on bouche son orifice avec une colle forte.
- On fixe ensuite la seringue verticalement sur un support et on accroche au piston des charges de plus en plus lourdes.

Le piston, de diamètre  $D = 18 \text{ mm}$ , tombe lorsqu'on lui accroche une charge de poids  $P$  de valeur

$\|P\| = 25 \text{ N}$  (plateau compris).

a- Si on admet qu'il n'y a pas d'air à l'intérieur de la seringue, faire le bilan des forces qui s'exercent sur le piston.

b- Déduire de cette expérience la valeur de la pression atmosphérique.



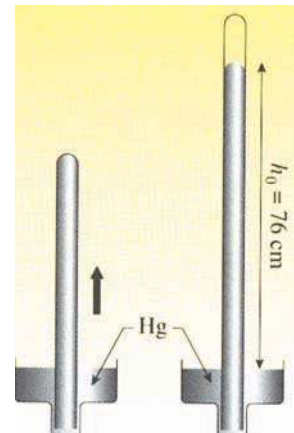
**5** Torricelli, après avoir rempli un long tube de mercure, l'avait retourné sur une cuve profonde contenant du mercure, puis l'avait progressivement sorti verticalement de la cuve. Tant que la hauteur du tube émergeant de la cuve restait inférieure à  $h_0 = 76 \text{ cm}$ , le mercure remplissait entièrement le tube. Puis, le niveau du mercure ne montait plus lorsqu'on continuait à soulever le tube (figure ci-contre). Torricelli avait émis l'hypothèse que la portion d'espace entre le haut du mercure et le tube était vide.

1- En notant  $S$  la section du tube, exprimer le poids de la colonne de mercure située dans le tube à un niveau supérieur à celui du mercure dans le reste de la cuve. On notera  $\rho$  la masse volumique du mercure.

2- Dans le plan où le mercure est en contact avec l'atmosphère, la pression est la même à l'intérieur et à l'extérieur du tube. Écrire la condition d'équilibre de la colonne de mercure de hauteur  $h_0$  et en déduire

l'expression de la pression atmosphérique  $p$  en fonction de  $h_0$ ,  $\rho$  et  $\|g\|$ .

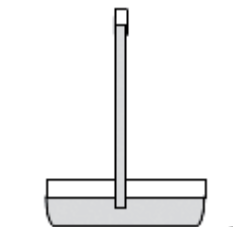
Application numérique :  $\rho = 13,6 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$



**6** La pression atmosphérique normale est de 1013 hPa, elle correspond à une hauteur de mercure de 760 mm.

a- Calculer en hPa la pression correspondante à 790 mm de mercure.

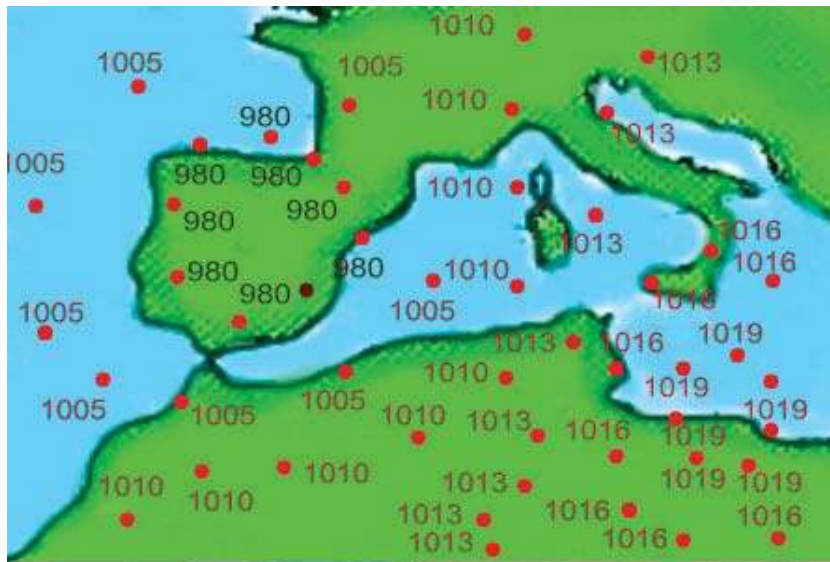
b- Calculer la hauteur de mercure qui correspond à une pression de 920 hPa.



**7** L'atmosphère de la planète Mars exerce une pression au sol 150 fois plus faible que la pression atmosphérique terrestre au niveau de la mer. Calculer la pression au sol sur Mars.

**8** On entend dire couramment : « le baromètre remonte, il va faire beau », « le baromètre descend, le mauvais temps arrive ».  
Ces deux phrases sont incorrectes, proposer deux phrases correctes.

**9** Sur la carte ci-dessous, on a pointé en rouge, la pression atmosphérique prélevée à un instant donné dans plusieurs endroits.



- 1- Photocopier la carte .Sur la copie :
  - a- Tracer les diverses isobares.
  - b- Marquer par les lettres A et D les zones de dépression et d'anticyclone.
- 2-
  - a- Comment varie le temps, lorsqu'on se déplace de l'Espagne vers la Tunisie ?
  - b- En se déplaçant de l'Est vers l'Ouest, comment varie le temps en Tunisie ?
- 3-
  - a- Marquer autour des zones de dépression et d'anticyclone la direction du vent.
  - b- Quelle est la direction du vent sur la Tunisie ?

**Suis je capable :**

d'expliquer pourquoi lorsqu'on s'élève en altitude la pression atmosphérique diminue?

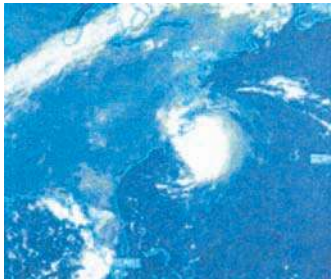
# Activité documentaire

## Qu'est-ce qu'un cyclone, et comment se forme t-il ?

Un cyclone est une manifestation climatique qui se caractérise par des vents extrêmement violents, accompagnés de pluies souvent torrentielles.

À l'origine, une zone de basses pressions et une mer chaude en surface (au moins 26°C) provoquent la formation d'une dépression d'origine tropicale (sous une latitude comprise entre 5° et 10°) qui se déplace ensuite vers les tropiques. Au centre de cette masse de nuages tourbillonnants, d'un diamètre pouvant aller jusqu'à 300 km, apparaît un œil (bien détecté par les satellites).

L'œil est une cheminée d'une trentaine de kilomètres de diamètre, autour de laquelle tourne la masse nuageuse qui atteint de 10 à 20 km d'épaisseur. La vitesse des vents décroît progressivement de 200 à 250 km.h<sup>-1</sup>, près de l'œil, à 0 km.h<sup>-1</sup> à la périphérie du cyclone.



Le déplacement des cyclones est lent (de 10 km.h<sup>-1</sup> environ dans sa phase de croissance à 30 km.h<sup>-1</sup> dans sa phase de dégénérescence) .Leurs trajectoires, avec des circonvolutions souvent imprévisibles, suivent des directions générales d'Est en Ouest dans l'hémisphère Nord et d'Ouest en Est dans l'hémisphère Sud.

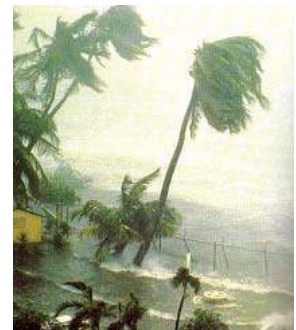
Lorsque le cyclone aborde une terre, les pluies diluviennes gonflent les rivières, provoquant des inondations et les vents violents emportent tout sur leur passage : végétation, toitures, maisons en bois, voitures et piétons téméraires.

Seules les constructions les plus solides résistent.

En mer, le cyclone soulève une marée de tempête de 3 à 4 m et plus parfois.

Un cyclone termine en général sa course folle lorsqu'il

arrive sur des mers plus froides, ou sur les côtes d'un continent où il évolue en dépression car il n'est plus alimenté par l'air chaud et humide qui se dégageait de l'océan.



### Questions :

- a- Sur cette image satellitale, recherche les cyclones.
- b- Les cyclones peuvent-ils se former au-dessus de n'importe quel océan ?
- c- Qu'appelle t-on œil du cyclone ?
- d- Les vents les plus violents sont-ils situés à la périphérie du cyclone ou dans son centre ?
- e- Quel type de dépressions peuvent-elles se transformer en cyclones ?

# Comment ça marche ?

## Comment Torricelli inventa le baromètre à mercure ?

En 1643 des fontainiers de Florence s'étaient adressés à Galilée suite à leur incapacité à faire jaillir l'eau des fontaines à plus de 32 pieds (soit environ 9,80 m). Et c'est Torricelli qui trouva l'explication.

Torricelli devient célèbre en inventant le baromètre, en 1643. Il paraît qu'un jardinier prétendait ne pas pouvoir puiser l'eau d'un puits de plus de 10 mètres de profondeur à l'aide d'une pompe aspirante prévue à cet usage. Torricelli, intéressé, comprit alors le rôle de la pression atmosphérique dans l'ascension de l'eau.

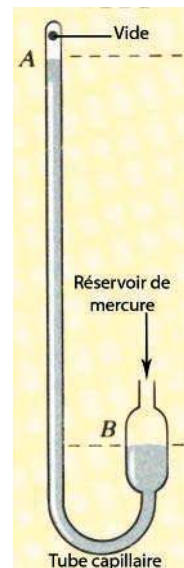
Torricelli, après le problème posé par le jardinier florentin, remplaça l'eau par du mercure. Il remplit complètement un tube d'un mètre de long, bouché d'un côté. Il retourna le tube du côté ouvert dans la cuve de mercure. Il remarqua que le tube se vidait partiellement. Le niveau de mercure se stabilisait à environ 760 mm au-dessus de la surface de la cuve de mercure.

Torricelli parla ainsi du vide, il fit l'hypothèse que l'air (la pression atmosphérique) pèse sur le mercure de la cuve, ce qui empêche le mercure de descendre complètement et le tube de se vider. Il mesura ainsi la pression atmosphérique. Torricelli venait d'inventer le baromètre à mercure!!!

Le baromètre à mercure est le plus simple des baromètres.

C'est donc un tube fermé à une seule extrémité et entièrement rempli de mercure. Selon la pression atmosphérique, le niveau de mercure va varier dans le tube.

Aujourd'hui, nous faisons des baromètres à mercure beaucoup plus précis.



*Torricelli est né en 1608, à Faenza. Il étudia dans sa ville natale puis à Rome. Il est devenu alors physicien et mathématicien. Il est mort en 1647, à Florence.*

# Savoir –Plus

## La prévision du temps

Pour prévoir le temps, il faut exploiter de nombreuses informations, en particulier des résultats de mesures, tels que : pression atmosphérique, température, humidité, vitesse et direction du vent ...et des observations telles que : nébulosité, visibilité, temps présent...

Elles sont collectées dans le monde par plus de 9 000 stations météo terrestres, 7 000 navires marchands chargés d'observations, des bouées marines ancrées ou dérivantes, des avions. Elles sont recueillies au niveau du sol ou de la mer, mais aussi à diverses altitudes par des ballons sondes. D'autres informations sont obtenues par des moyens très modernes comme des satellites ou de puissants radars, qui détectent les dimensions et la densité des masses nuageuses. Météosat, par exemple, satellite géostationnaire, envoie toutes les 30 minutes ( par la voie des ondes), des séries d'images. Elles permettent de suivre, grâce aux infrarouges, l'évolution des températures et, en lumière visible, la position des masses nuageuses.

La prévision du temps à court terme est faite par l'étude des cartes où sont regroupées, plusieurs fois par jour, ces données.

Cela permet de prévoir l'évolution des perturbations jusqu'à 24 ou 48 heures. Ces prévisions sont diffusées par répondeurs, télex, minitel, média, Internet...

La prévision à plus long terme est faite par des calculs complexes utilisant des ordinateurs très puissants.

## Quelques termes de météorologie

**Atmosphère** : Enveloppe de gaz qui entoure une planète. L'atmosphère de la Terre se compose principalement d'azote et d'oxygène.

**Averse** : Précipitation provenant de nuages convectifs cumuliformes et ayant une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- 1- Souvent, mais pas toujours, début et fin brusques.
- 2- Généralement de courte durée (une quinzaine de minutes), mais peuvent durer plus longtemps.
- 3- Variations fréquentes de l'intensité de la précipitation.
- 4- Habituellement, dégagement marqué du ciel entre les averses.

**Brouillard**: Masse nuageuse dont la base se trouve à la surface de la Terre.

**Bruine**: Précipitation assez uniforme, constituée exclusivement de fines gouttes d'eau (de 0,2 à 0,5 mm de diamètre) très rapprochées les unes des autres, qui réduit la visibilité plus qu'une pluie légère.

**Dépression (Cyclone)**: Région de l'atmosphère où la pression est basse par rapport aux régions avoisinantes; le vent y souffle dans le sens contraire aux aiguilles d'une montre dans l'hémisphère Nord et dans le sens des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère Sud.

**Front chaud**: Zone de transition où une masse d'air chaud prend la place d'une masse d'air froid.

**Front froid**: Zone de transition où une masse d'air froid prend la place d'une masse d'air chaud.

**Grêle**: Précipitation prenant la forme de globules ou de morceaux de glace (grêlons) dont le

diamètre varie de 5 à 50 mm, parfois plus, qui tombent séparément ou agglutinés en blocs irréguliers.

**Haute pression atmosphérique (anticyclone):**Région de l'atmosphère où la pression est élevée par rapport aux régions avoisinantes; le vent y souffle dans le sens des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère Nord et dans le sens contraire aux aiguilles d'une montre dans l'hémisphère Sud.

**Humidité:** Terme général qui désigne le contenu de l'air en vapeur d'eau

**Humidité relative :** Rapport entre la quantité d'humidité présente dans l'air et la teneur maximale en humidité de l'air à une température et à une pression données. Pourcentage de la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air par rapport au maximum contenu à saturation à la même température.

**Isobare:** Sur une carte météorologique, courbe joignant les points d'égale pression atmosphérique.

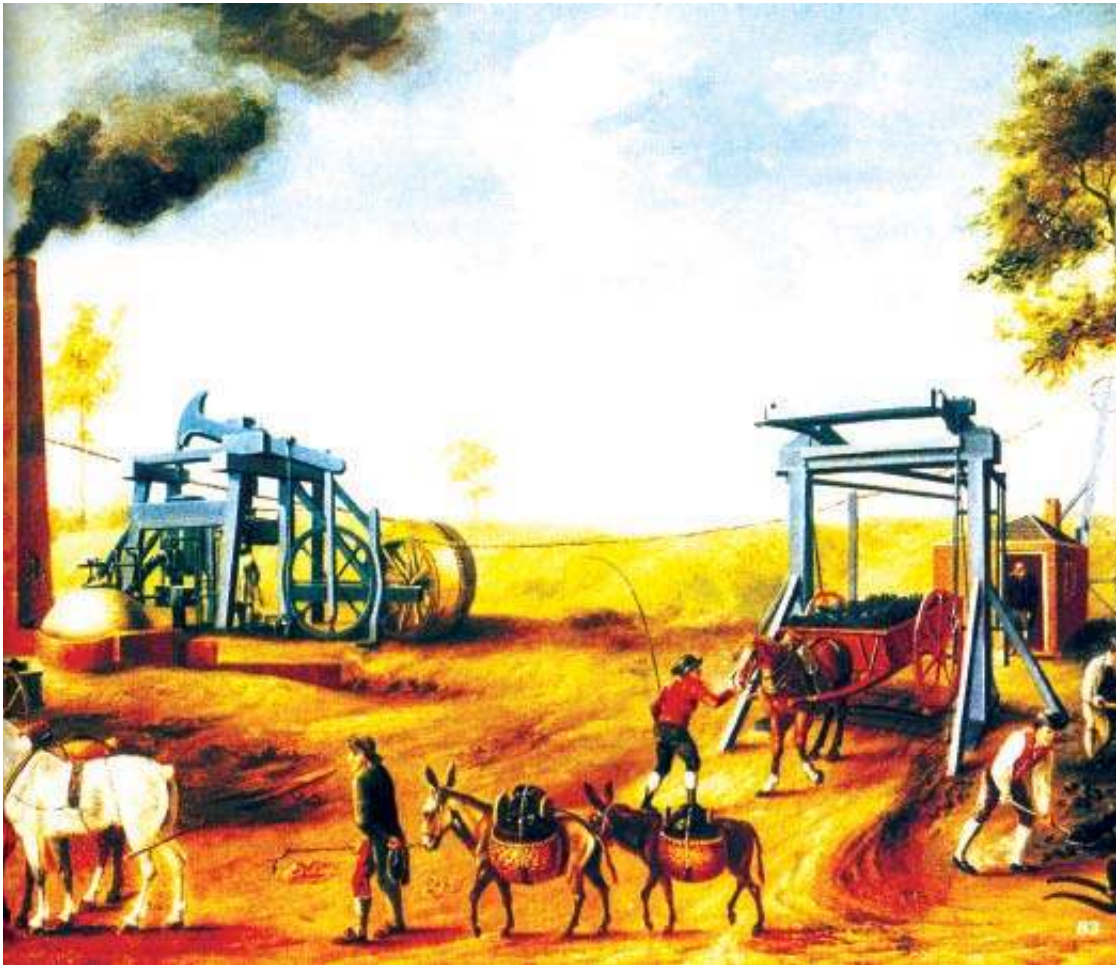
**Température maximale normale :** Moyenne des températures maximales mesurées un jour particulier de l'année.

**Température minimale normale :** Moyenne des températures minimales mesurées un jour particulier de l'année.

### Quelques symboles utilisés de météorologie

Pluie	•
Bruine	∩
A verse (de pluie)	▽
Neige	✱
Grêle	▲
Eclair	⚡
Orage	⚡
Orage avec pluie	⚡
Orage avec grêle	⚡
Sirocco	S
Vent de sable	☞
Vent fort	⚡

# ENERGIE ET CONTRÔLE



*T  
r  
o  
i  
s  
i  
è  
m  
e  
  
t  
h  
è  
m  
e*

# Contenu du thème

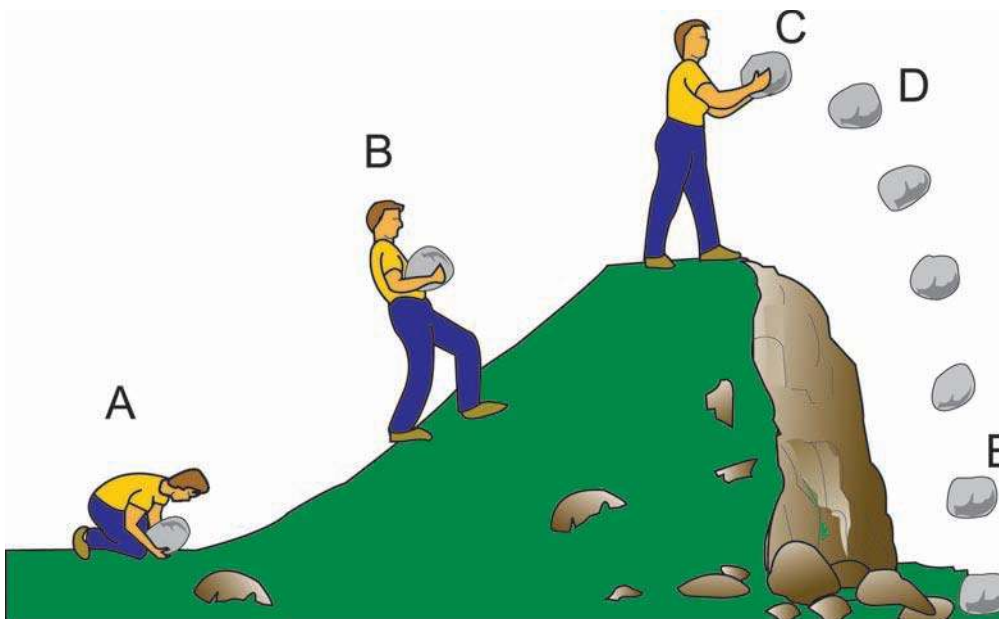
3

**Chapitre 1 : Energie cinétique.  
Energies potentielles  
(de pesanteur et élastique).  
Energie thermique.**

**Chapitre 2 : Le travail : autre mode de transfert  
d'énergie.  
Puissance et rendement.**

# Chapitre 1

## Energie cinétique - Energies potentielles Energie thermique



# Contenu du chapitre 1

- ◆ Energie cinétique et facteurs dont elle dépend.
- ◆ Energie potentielle de pesanteur et facteurs dont elle dépend.
- ◆ Energie potentielle élastique et facteurs dont elle dépend.
- ◆ Energie thermique : effets et modes de propagation.

# Energie cinétique et énergies potentielles

## Je dois être capable :

- ❖ de reconnaître les facteurs dont dépend l'énergie cinétique.
- ❖ de reconnaître les facteurs dont dépend l'énergie potentielle de pesanteur.
- ❖ de reconnaître les facteurs dont dépend l'énergie potentielle élastique.

## Je dois d'abord tester mes acquis :

- 1- Citer quelques formes d'énergie.
- 2- Citer quelques sources d'énergie.
- 3- Donner quelques exemples de sources d'énergie renouvelables et quelques exemples de sources d'énergie non renouvelables.
- 4- Peut-on créer de l'énergie ?
- 5- Expliquer le transfert d'énergie d'un milieu à un autre.
- 6- Décrire les différentes utilisations d'énergie à la maison.
- 7- L'énergie dans l'univers est elle conservée ?
- 8- a- Quelle est l'unité de l'énergie dans le système international ?  
b- Compléter :  $1\text{ eV} = \dots \text{ J}$ ,  $1\text{ MeV} = \dots \text{ eV}$ ,  $1\text{ MeV} = \dots \text{ J}$

## Je construis mes savoirs :

L'énergie est un "concept" fondamental en physique. Elle permet de comprendre plusieurs phénomènes physiques et naturels. Elle peut avoir plusieurs origines :

**chimique, hydraulique, éolienne, solaire, électrique, nucléaire...**

on se propose dans ce chapitre d'étudier deux formes d'énergie : **l'énergie cinétique** et **l'énergie potentielle**.

Il faut aussi avoir à l'esprit que l'énergie est une quantité qui se conserve : malgré les apparences, elle n'est jamais perdue. Une énergie qui disparaît sous une certaine forme réapparaît toujours sous une autre !

### 1 Qu'est ce que l'énergie cinétique ?

#### Situation :

Comment expliquer les dégâts résultant d'un accident de voitures ?



Lancer un ballon.



Le ballon se met en mouvement.



- Quand on lance le ballon, on dépense de l'énergie, plus exactement, on la communique au ballon sous forme d'énergie de mouvement.
- L'énergie « en réserve » dans nos muscles, s'est transformée en énergie de mouvement.

Donc il existe une forme d'énergie " associée au mouvement". On appelle cette énergie : **l'énergie cinétique**.

On a donc transformé l'énergie stockée dans nos muscles en énergie cinétique, communiquée au ballon.

#### Exemples :

- L'eau en chute possède de l'énergie cinétique.
- Les molécules des gaz qui constituent l'air sont en mouvement, elles possèdent de l'énergie cinétique.
- Le choc d'une pierre sur une vitre qui se brise est une manifestation de l'énergie cinétique de la pierre.
- Les dégâts sur la carrosserie d'une voiture au cours d'une collision mettent en évidence l'énergie cinétique de la voiture.

L'énergie que possède un objet, du fait de son mouvement, est appelée énergie cinétique. On la note  $E_c$ .

ENERGIE CINÉTIQUE ↔ MOUVEMENT

Dans le système international, l'énergie cinétique s'exprime en **Joule (J)**.

**Le Joule** est, à peu près, l'énergie cinétique acquise par une masse de 100g qui tombe d'une hauteur de 1 m, en chute libre.

Elle peut s'exprimer aussi en eV, Mev et en Gev.

Un électron-volt :  $1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$  ;

Un méga – électron-volt :  $1\text{Mev} = 10^6\text{eV}$

Un géga – électron-volt :  $1\text{Gev} = 10^3 \text{ Mev}$ .

### De quoi dépend l'énergie cinétique d'un objet ?



Lancer deux objets identiques avec des vitesses nettement différentes.



On fournit plus d'énergie pour lancer l'objet qui a la plus grande vitesse.



L'objet le plus rapide a donc la plus grande énergie cinétique.

**Exemple :** pour une voiture, au cours d'un accident, elle subit et elle cause plus de dégâts lorsqu'elle roule à 200 km.h<sup>-1</sup>, que lorsqu'elle roule à 30 km.h<sup>-1</sup>.

L'énergie cinétique d'un objet augmente avec sa vitesse.



Lancer, avec environ la même vitesse, deux objets de masses nettement différentes.



Pour lancer les deux objets à la même vitesse, on fournit plus d'énergie pour lancer l'objet le plus lourd.



A vitesses égales, l'objet le plus lourd a la plus grande énergie cinétique.

**Exemple :** l'importance du dégât subit par une automobile en mouvement lors d'un choc frontal avec un camion animé de la même vitesse s'explique par la différence des énergies cinétiques.

L'énergie cinétique d'un objet dépend de sa masse  $M$  et de sa vitesse  $V$  :

- plus la vitesse  $V$  est grande, plus l'énergie cinétique est grande;
- plus la masse  $M$  est grande, plus l'énergie cinétique est grande.

**Exemple :** Pour enfoncer un pieu dans le sol, au moment où la percussion va avoir lieu, le mouton possède une énergie cinétique d'autant plus grande qu'il est plus lourd et que sa vitesse est plus élevée.

### Remarque :

La vitesse d'un objet dépend du repère choisi, son énergie cinétique en dépendra aussi .

## Ordres de grandeurs de quelques énergies cinétiques :

Corps	$E_c$ (J)
pomme tombant d'une table	1
balle de fusil	$10^3$
coureur à pied à $10 \text{ m.s}^{-1}$	$3 \cdot 10^3$
voiture à $100 \text{ km.h}^{-1}$	$5 \cdot 10^5$
navette Columbia	$10^{12}$
météorite responsable du cratère Barringer (Arizona)	$10^{16}$

On peut se représenter un objet comme étant muni d'un réservoir d'énergie qui, au fil de sa trajectoire, se vide ou se remplit d'énergie cinétique et ce en fonction des forces qui lui sont appliquées. Du point de vue énergie cinétique :

- ce réservoir est vide lorsque l'objet est à l'arrêt (la valeur  $v$  de la vitesse est nulle).
- il se remplit d'autant plus vite que l'objet est lourd et que sa vitesse croît.
- il se vide progressivement lorsque sa vitesse décroît.

## 2 Que signifie énergie potentielle d'un système ?

### ❖ Energie potentielle de pesanteur

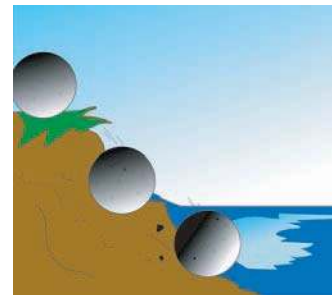
#### ■ Mise en évidence



Placer une bille en haut d'une descente et lui communiquer une petite vitesse.



La bille va s'engager dans la pente, en gagnant de plus en plus de vitesse donc d'énergie cinétique.



### D'où provient l'énergie cinétique acquise par la bille ?



- La bille descend la pente sous l'effet de son poids qui l'attire vers le bas et lui communique de l'énergie cinétique.
- En haut de la pente, la bille a une certaine énergie « en réserve », appelée **énergie potentielle**.
- L'attraction de la Terre est à l'origine de cette forme d'énergie, appelée « **énergie potentielle de pesanteur** ».

### Remarques :

- La bille seule ne possède pas de l'énergie potentielle de pesanteur. C'est plutôt le système **déformable** formé par **la bille et la Terre** qui possède cette forme d'énergie.

- Le qualificatif « **potentielle** » signifie que le système {bille, Terre} possède une énergie en réserve susceptible de se manifester suite à une déformation causée par les interactions intérieures.

**Exemples :**

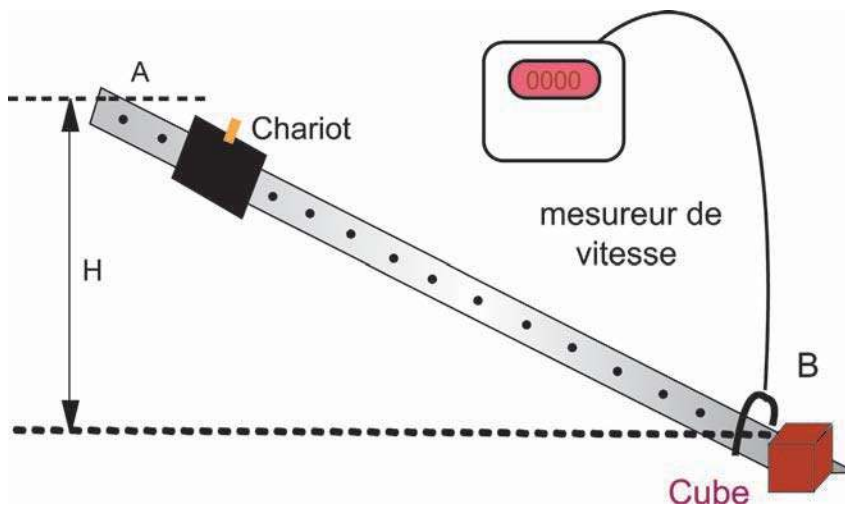
- L'eau retenue dans un barrage peut faire tourner la turbine d'une centrale hydraulique : le système { eau, Terre } possède de l'énergie potentielle de pesanteur.
- Une avalanche au niveau d'une route montagneuse peut provoquer d'énormes dégâts.

L'énergie potentielle de pesanteur d'un système est l'énergie liée aux interactions entre un objet ou éventuellement plusieurs objets qui constituent ce système et la Terre. On la note  $E_{pp}$ .

■ **De quoi dépend l'énergie potentielle de pesanteur ?**



- Préparer des cubes identiques de pâte à modeler.
- Pour une hauteur  $H$ , après avoir placé en B l'un des cubes de pâte à modeler, lâcher le chariot du point A sans vitesse initiale.
- Déterminer expérimentalement, la valeur de sa vitesse au point B et observer la déformation subie par le cube.
- Refaire la même opération pour différentes valeurs de la hauteur  $H$  ( la distance AB est maintenue constante) en remplaçant à chaque fois le cube de pâte à modeler par un nouveau.



- Les résultats obtenus sont groupés dans le tableau suivant :

H (m)	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5
V (m.s <sup>-1</sup> )							



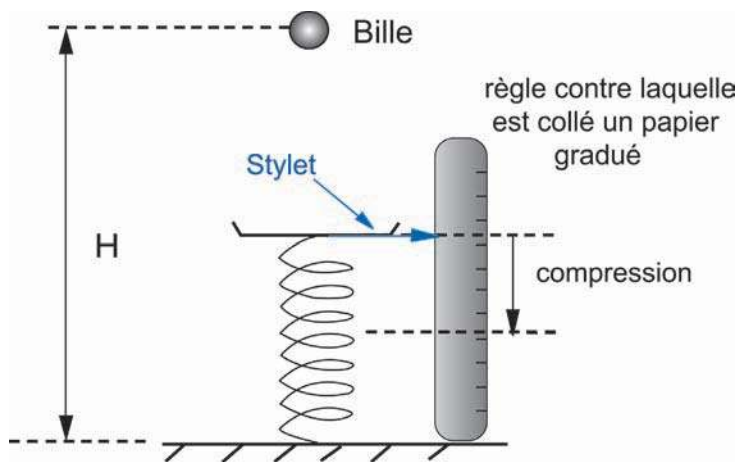
- La déformation du cube de pâte à modeler causée par le système {chariot, Terre} est d'autant plus importante que H est grande.
- La vitesse du chariot en B augmente avec la hauteur H.



- Plus que la hauteur H est grande plus l'énergie cinétique reçue par le chariot jusqu'à son arrivée en B est grande.
- En A ainsi qu'en B, après déformation du cube de pâte à modeler, l'énergie cinétique du système {chariot, Terre} est nulle.
- L'énergie potentielle de pesanteur est à l'origine de la déformation de la pâte à modeler.
- Plus haut est le chariot, plus grande est l'énergie potentielle de pesanteur du système {chariot, Terre.}



- Lâcher, sans vitesse initiale, de la même hauteur H des billes de masses différentes.
- Déterminer la déformation du ressort en mesurant à chaque fois le déplacement x du stylet.



- Pour une hauteur  $h = 10\text{cm}$  (distance séparant la bille au plateau) et un ressort de raideur  $k = 20\text{N.m}^{-1}$ , les résultats obtenus sont groupés dans le tableau suivant :

m (g)	20	30	40	50
X (cm)	5,5	7,1	8,6	10



- La déformation est d'autant plus importante que l'objet est plus lourd (plus pesant).



- L'augmentation de la déformation est due à l'augmentation de l'énergie reçue par le ressort.
- Au départ, ainsi qu'au moment de la déformation maximale du ressort, l'énergie cinétique du système {bille, Terre} est nulle.

- L'énergie reçue par le ressort provient d'un transfert de l'énergie potentielle de pesanteur du système {bille, Terre} au ressort.
- L'énergie potentielle de pesanteur du système {bille, Terre} augmente avec la masse.

L'énergie potentielle de pesanteur d'un système formé par un objet et la Terre augmente avec :

- l'altitude.
- la masse de l'objet.

### Remarques :

- A une altitude donnée, l'énergie potentielle de pesanteur du système {objet, Terre} est la même que l'objet soit au repos ou en mouvement.
- Un objet sur la Lune ou sur un autre astre peut également avoir de l'énergie potentielle. Celle-ci est liée à sa position par rapport à l'astre.

### ❖ **Energie potentielle élastique.**

#### **Situations :**

1- Vous avez probablement joué un jour avec un pistolet à fléchettes.

Expliquer pourquoi le pistolet est capable d'envoyer une fléchette à quelques mètres ?

2- Dans un saut à la perche, pourquoi un athlète réussit certains essais et rate d'autres ?



Enfoncer une fléchette dans le canon d'un pistolet à enfant.



Le ressort se comprime.



Tirer la gâchette du pistolet.



Le ressort se détend et lance la fléchette.



- Le mouvement de la fléchette s'interprète par le fait que cette dernière a reçu de l'énergie de la part du ressort comprimé.
- Le ressort comprimé possède de l'énergie « en réserve », cette forme d'énergie est appelée **énergie potentielle**.
- Au cours de la compression le ressort emmagasine de l'énergie potentielle. Cette énergie sera restituée lors de la détente. Elle est liée à la déformation élastique du ressort : on l'appelle **énergie potentielle élastique**.

Un ressort déformé (allongé ou comprimé) possède de l'énergie potentielle élastique. On la note  $E_{pe}$ .

Cette forme d'énergie peut être emmagasinée dans un ressort hélicoïdal, un fil de torsion, un arc à tirer des flèches...

### De quoi dépend l'énergie potentielle élastique ?



- Prenons le cas d'un pistolet à ressort, la propulsion de la flèche n'aura lieu que lorsque le ressort se déforme, c'est-à-dire lorsque ce dernier cède de l'énergie potentielle élastique.
- Pour une petite déformation du ressort, la flèche n'ira pas très loin. Elle ira d'autant plus loin que le ressort est plus déformé.



Le déplacement de la flèche dépend de l'énergie potentielle élastique que le ressort lui communique, donc, l'énergie potentielle élastique est liée à la déformation.

L'énergie potentielle élastique d'un ressort déformé croît avec sa déformation.



Un chariot pouvant se déplacer sur un plan horizontal, est placé contre l'extrémité d'un ressort ( $R_1$ ) à spires non jointives et de raideur  $k_1$ . Pousser le chariot de façon à ce que le ressort soit comprimé de  $\Delta l_1$  et le libérer.



Le chariot parcourt une distance  $d_1$  avant de s'arrêter sous l'action des forces de frottement.



Reprendre la même expérience avec un ressort ( $R_2$ ) de raideur  $k_2$  ( $k_2 > k_1$ ).



Pour une déformation  $\Delta l_2 = \Delta l_1$ , la distance du parcours augmente.



L'augmentation du parcours du chariot est due à une augmentation de l'énergie potentielle élastique du ressort transmise au chariot.

L'énergie potentielle élastique d'un ressort déformé croît avec sa raideur  $k$

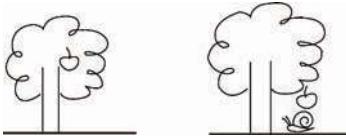
D'une manière générale, l'énergie potentielle élastique d'un corps est une énergie liée à la déformation du matériau et à son coefficient de rappel responsable de son retour à sa forme initiale.

**Exemple :** Au saut à la perche, l'énergie potentielle élastique accumulée par la perche dépend de sa déformation et du degré d'élasticité du matériau.

### Remarque :

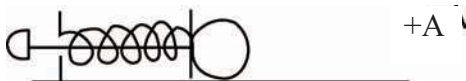
L'énergie potentielle d'un système est en réserve. Elle se manifeste quand elle se transforme en énergie cinétique.

- Exemple 1 :



La pomme dans l'arbre a de l'énergie potentielle de pesanteur.  
Elle tombe : transformation en énergie cinétique.  
L'escargot en témoignera !!!

- Exemple 2



Dans l'exemple ci-dessus, le ressort est comprimé : la bille située à droite peut être lancée par ce dispositif (exemple : lanceur de billes du flipper).

Et si on mettait l'escargot en A ? Témoignerait-il de l'existence de l'énergie potentielle élastique du ressort et de sa transformation en énergie cinétique ?

#### ❖ Autre énergie potentielle : Énergie potentielle électrique



Alimenter avec une batterie chargée, un circuit électrique comportant une lampe et un moteur électrique.



La lampe s'allume et le moteur tourne en s'échauffant.



Les formes d'énergies qui apparaissent au niveau de la lampe et du moteur proviennent d'une transformation de l'énergie stockée par la batterie appelée énergie potentielle électrique.

3

### Distinguer entre l'énergie mécanique et l'énergie totale d'un système

**Exemple :** Lorsqu'un objet est abandonné d'une altitude  $H$ , il acquiert une vitesse et par conséquent, il possède de l'énergie cinétique  $E_c$ .

D'autre part, au cours de la chute de l'objet, la distance qui le sépare de la Terre diminue, le système déformable {objet, Terre} perd de l'énergie potentielle de pesanteur  $E_{pp}$ .

Ces énergies, liées à la vitesse et à l'altitude de l'objet, sont des grandeurs dont les variations sont mesurables. Elles sont dites **macroscopiques**.

La somme de ces deux énergies macroscopiques est appelée **énergie mécanique** du système..

La somme des énergies cinétique et potentielle macroscopiques d'un système est appelée énergie mécanique. On la note  $E_m$ .

$$E_m = E_c + E_p$$

## L'énergie mécanique d'un système peut varier.

### Exemple 1 : Freinage

Pour arrêter un mobile (un véhicule), on utilise couramment des freins.

Ceux-ci fonctionnent le plus souvent en utilisant des forces de frottement entre solides.

Après freinage prolongé, on peut se rendre compte (par le toucher) **d'une augmentation de la température** au niveau des freins. Il y a diminution de l'énergie mécanique du mobile

### Exemple 2 :



Placer un tube à essais contenant un peu d'éther et obturé par un bouchon dans un récipient d'eau chaude.



Le bouchon saute.



- L'éther dont la température d'ébullition est environ 35°C, passe rapidement à l'état de vapeur, la pression augmente et finit par éjecter le bouchon.
- Dans cette expérience une énergie cinétique est apparue. Il y a donc augmentation de l'énergie mécanique du système {tube, éther, bouchon}

Les exemples précédents montrent qu'une variation d'énergie mécanique d'un système s'accompagne **d'une transformation interne**, c'est-à-dire d'une modification qui ne peut pas se décrire par une variation des paramètres mécaniques du système (position, vitesse).

Les phénomènes résultants de la variation de l'énergie mécanique d'un système s'interprètent si l'on admet l'existence d'une énergie en réserve à l'intérieur des constituants du système, appelée **énergie interne** ou **énergie microscopique**.

L'énergie interne ou microscopique d'un système comprend :

- **l'énergie cinétique microscopique** ( $E_{cm}$ ) résultant de l'agitation des particules (atomes, molécules, ions) qui constituent le système. Elle est appelée énergie thermique ( $E_{th}$ );
- **l'énergie potentielle d'interaction microscopique** ( $E_{pm}$ ) liée aux interactions entre les particules constituant la matière. Cette énergie varie lors :
  - d'un changement d'état ;
  - d'une réaction chimique ;
  - une réaction nucléaire.

L'énergie interne ou énergie microscopique notée ( $U$ ) est la somme de l'énergie potentielle d'interaction microscopique et de l'énergie cinétique microscopique.

$$U = E_{cm} \text{ ( agitation )} + E_{pm} \text{ ( interaction )}$$

L'énergie totale  $E$  d'un système est la somme de son énergie mécanique  $E_m$  et de son énergie interne  $U$ .

$$E = E_m + U$$

### Remarques :

- Un système qui n'échange pas d'énergie avec l'extérieur est dit système **énergétiquement isolé**.
- L'énergie totale d'un système énergétiquement isolé est constante au cours du temps.
$$E = E_m + U = \text{constante.}$$
- Pour un système énergétiquement isolé, lorsqu'il apparaît de l'énergie mécanique, il disparaît de l'énergie interne et inversement.

## *L' ESSENTIEL*

L'énergie cinétique est l'énergie que possède un objet du fait de son mouvement.

L'énergie cinétique d'un corps augmente avec sa masse  $M$  et sa vitesse  $V$ .

L'énergie potentielle de pesanteur est l'énergie liée à la position d'un objet par rapport à la Terre.

L'énergie potentielle de pesanteur croît avec la masse  $M$  et l'altitude  $H$  du corps dans le champ de pesanteur.

On appelle énergie potentielle élastique, l'énergie que possède un système élastique déformé.

L'énergie potentielle élastique croît avec la constante d'élasticité et la déformation du système élastique qui la possède.

L'énergie cinétique et les énergies potentielles de pesanteur et élastique sont des grandeurs dont les variations sont mesurables, elles sont dites macroscopiques.

La somme des énergies cinétique et potentielle macroscopiques d'un système est appelée énergie mécanique. On la note  $E_m$ .

$$E_m = E_c + E_p$$

L'énergie interne ou (microscopique)  $U$  d'un système comprend :

- l'énergie cinétique microscopique des particules du système (agitation thermique). Elle augmente avec la température ;

- l'énergie potentielle d'interaction microscopique liée aux interactions entre les particules constituant la matière.

$$U = E_{cm} \text{ ( agitation) } + E_{pm} \text{ ( interaction) }$$

L'énergie totale  $E$  d'un système est la somme de son énergie mécanique  $E_m$  et de son énergie interne ou (microscopique)  $U$ .

$$E = E_m + U$$

Un système énergétiquement isolé n'échange pas d'énergie avec l'extérieur.

L'énergie totale d'un système énergétiquement isolé reste constante au cours du temps.



<http://perso.wanadoo.fr/pierre.sauvecanne/enercin1.html>

[http://hippocampus.ileps.org/deug/biomeca\\_sem2/d2/d2sem2.html](http://hippocampus.ileps.org/deug/biomeca_sem2/d2/d2sem2.html)

<http://grilles.winttmer.free.fr/1ere%20partie.htm>

<http://www.cyberprofs.fr/sciences2/schowquestion.asp?faq=20&fldAuto=120>

<http://semsci.u-strasbg.fr/gravitat.htm>

[www.sud-dauphine.com/edf/particul.htm](http://www.sud-dauphine.com/edf/particul.htm)

# EXERCICES EXERCICES

## Est-ce que je connais ?

- 1** Définir l'énergie cinétique d'un solide.
- 2** De quoi dépend l'énergie cinétique d'un objet ?
- 3** Citer quelques énergies potentielles ?
- 4** Recopier en mettant une croix dans la case correspondante à la réponse correcte.
  - a-** Un camion et une voiture roulent à la même vitesse. L'énergie cinétique du camion est :
    - inférieure à celle de la voiture.
    - égale à celle de la voiture.
    - supérieure à celle de la voiture.
  - b-** On lâche une bille sans vitesse initiale d'une altitude  $h$ . Au cours de son mouvement, l'énergie potentielle de pesanteur du système {bille + Terre} :
    - reste constante.
    - diminue.
    - augmente.
  - c-** L'énergie mécanique d'un système est :
    - la somme des énergies cinétique et potentielle macroscopiques
    - la somme des énergies cinétique et potentielle microscopiques
  - d-** L'énergie interne est :
    - la somme des énergies cinétique et potentielle microscopiques.
    - la somme des énergies cinétique et potentielle macroscopiques.
  - e-** Une masse d'eau au repos à une altitude  $H$  possède :
    - une énergie mécanique non nulle.
    - une énergie cinétique microscopique nulle.
    - une énergie interne nulle.
  - f-** Lorsqu'un système est énergétiquement isolé :
    - son énergie mécanique est constante.
    - son énergie totale est constante.

## Est-ce que je sais appliquer ?

L'aplatissement d'une pièce de fer, portée au rouge, exige une énergie égale à 6,4 J.

Le forgeron réalise l'opération en utilisant un marteau avec lequel il porte à la pièce une série de coup identiques. A son arrivée chaque fois sur la pièce de fer, le marteau possède une énergie cinétique égale à 1 joule.

Sachant qu'à chaque coup 32 % de l'énergie cinétique du marteau est utilisée pour le travail du métal. Combien de fois, le forgeron doit-t-il frapper sa pièce afin qu'elle prenne l'aplatissement voulu ?

## Est-ce que je sais raisonner ?

**1** Préciser les formes d'énergie intervenant dans le fonctionnement d'une montre à aiguilles et à remontage manuel.

**2** Un glaçon fond au contact de l'air ambiant. L'énergie interne de l'eau qui le constitue est – elle plus grande avant, ou après la fusion ?

**3** Un avion en vol horizontal à l'altitude  $h$ , laisse tomber une bombe.

a- Quelle(s) forme(s) d'énergie possède la bombe ?

- lors de son abandon ;
- au cours de sa chute ;
- à son arrivée au sol.

b- Au cours de la chute, comment varient les diverses formes d'énergie ?

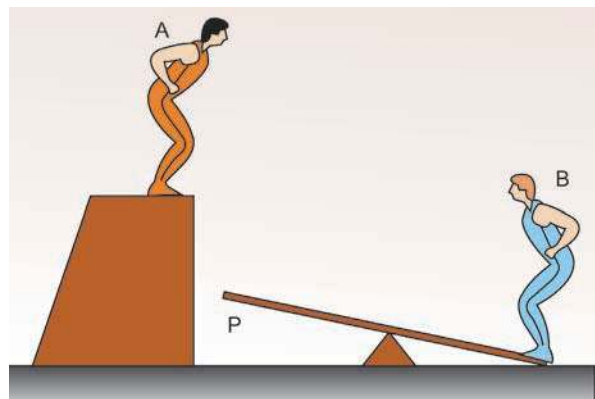
**4** On a schématisé un exercice de cirque.

a- Quelle(s) forme(s) d'énergie(s) possède le système {Terre – acrobate A} ?

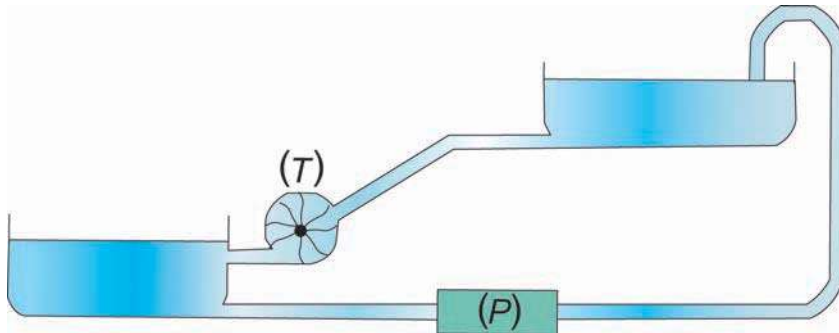
b- Sous quelle forme se trouve l'énergie de ce système lorsque l'acrobate A arrive au contact de la planche P ?

c- Quelle est la forme d'énergie possédée par l'acrobate B lorsqu'il décolle de la planche ?

d- Quelle est la forme d'énergie possédée par le système {Terre – acrobate B} lorsque l'acrobate B atteint le sommet de sa trajectoire ?



**5** Le schéma ci-dessous représente un type d'usine hydro-électrique, dit « de pompage », comportant deux réservoirs d'eau: l'un supérieur, l'autre inférieur.



Aux heures de grande demande en électricité sur le réseau, l'eau accumulée dans le bassin supérieur s'écoule vers le bassin inférieur et actionne la turbine { T } couplée à un alternateur produisant de l'électricité. En heures creuses (la nuit), des pompes électriques { P } alimentées par le réseau font remonter l'eau dans le bassin supérieur.

- a- Sous quelle forme l'énergie est-elle mise en réserve dans le bassin supérieur ?
- b- Quelle est la forme d'énergie acquise par l'eau arrivant sur la turbine ?
- c- Globalement, une telle usine fournit-elle de l'énergie au réseau électrique ? Quel est son intérêt ?

**6** Un pendule élastique est constitué d'un ressort de raideur  $k$  auquel est attachée un solide (S) de masse  $m$ . Ce pendule est disposé verticalement comme l'indique le schéma ci-dessous. On donne  $m = 100\text{g}$ ,  $k = 20\text{ N.m}^{-1}$ .

- 1- Représenter les forces s'exerçant sur le solide (S) à l'équilibre.
- 2- Ecrire la relation entre les valeurs de ces forces.
- 3- Déduire la valeur de la déformation  $a_0$  du ressort.
- 4- A l'équilibre, préciser les différent(s) forme(s) d'énergie que possède le solide (S).
- 5- Le solide (S) est écarté de sa position d'équilibre vers le bas d'une distance " a " et

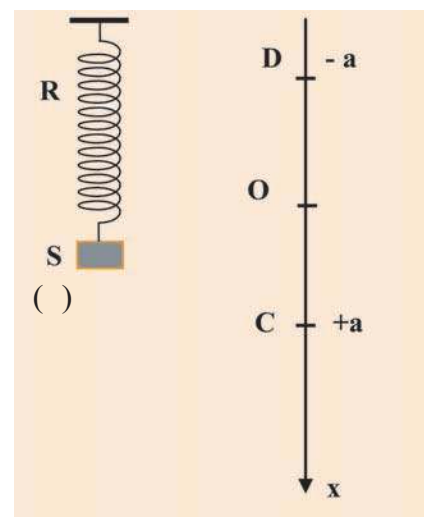
abandonné à lui-même. Il effectue un mouvement de va et vient entre les points C et D.

a- Que vaut l'énergie cinétique au point C ?  
Au point D ?

b- En quelle(s) position(s) ( O , C , D ), l'énergie potentielle élastique est maximale ?

c- En quelle(s) position(s), l'énergie potentielle élastique est minimale ?

d- En passant de O vers D, comment varient les diverses formes d'énergies du pendule ?



# SAVOIR PLUS

## Energie Cinétique et Prévention routière

L'énergie cinétique d'un objet augmente avec sa vitesse, c'est évident. En fait, elle est même proportionnelle au carré de sa vitesse. Cela signifie qu'il faut 4 fois plus d'énergie pour lancer un objet à 2 km.h<sup>-1</sup> qu'à 1 km.h<sup>-1</sup>. Or dans un accident, ce qui compte énormément, c'est bien l'énergie cinétique des véhicules. C'est aussi ce qui contrôle la distance de freinage, puisque freiner, c'est dissiper cette énergie dans les freins. ***Donc réduire sa vitesse de moitié, c'est diviser par quatre son énergie cinétique c'est donc réduire la gravité d'un accident éventuel par quatre !***

Ce qu'il faut en déduire, c'est qu'en ville, entre rouler à 30 km.h<sup>-1</sup> là où c'est effectivement nécessaire (à cause des piétons, etc...), il est assez criminel de rouler à 60 km.h<sup>-1</sup>. Vous multipliez par 4 la gravité des blessures que vous risquez d'infliger. Sans compter que vous avez moins le temps de réagir.

Il est donc aussi moins grave de dépasser de 20 km.h<sup>-1</sup> la limite de vitesse sur autoroute qu'en ville. En effet, en ville rouler à 70 km.h<sup>-1</sup> plutôt qu'à 50 km.h<sup>-1</sup> multiplie la gravité des accidents par 2. Sur autoroute, rouler à 140 km.h<sup>-1</sup> au lieu de 120 km.h<sup>-1</sup> ne fait que multiplier la gravité par 1,3. Rouler à 70 km.h<sup>-1</sup> plutôt qu'à 50 km.h<sup>-1</sup> en ville, c'est comme rouler à 180 km.h<sup>-1</sup> plutôt qu'à 140 km.h<sup>-1</sup> sur l'autoroute.

# Comment ça marche ?

## Fonctionnement schématique d'un aménagement hydroélectrique

### Comment ça marche ?

Il s'agit de convertir l'énergie potentielle ou cinétique en "électricité" :

- Energie stockée dans une eau en altitude (énergie potentielle).
- Energie d'un courant au fil d'une rivière (énergie cinétique).
- Energie des marées (énergies cinétique et potentielle).

A titre d'exemple :

1 m<sup>3</sup> d'eau qui tombe de 450 mètres de haut produit une énergie d'environ 1,25 kWh. Cette énergie peut faire fonctionner un radiateur électrique de taille moyenne pendant 1 heure.

L'hydroélectricité est produite dans des usines appelées **centrales hydrauliques** qui fonctionnent le plus souvent en association avec **les barrages**.

En s'opposant à l'écoulement naturel de l'eau et en la dérivant, barrages et aménagements hydrauliques assurent deux fonctions différentes :

- permettre la production d'électricité grâce à la dérivation de l'eau et à la chute ;
- créer une réserve d'eau, le **lac de retenue**, véritable réserve d'énergie.

### Les étapes de production de l'électricité :

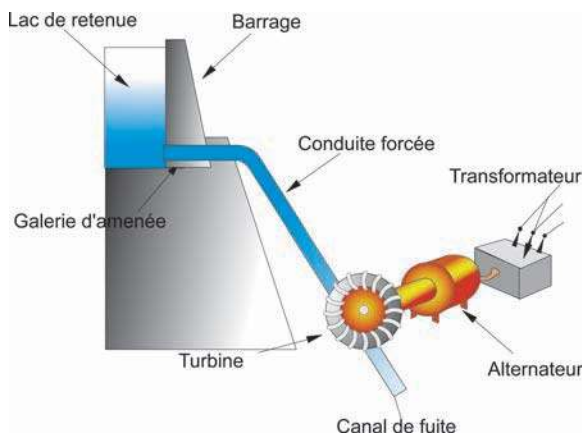
Entre la prise d'eau et la centrale, l'eau circule dans des **galeries**, des **conduites forcées** ou des **canaux d'amenée**.

Dans la centrale hydraulique, l'eau canalisée actionne **la turbine**.

Une turbine est constituée d'un arbre (axe rotatif) solidaire de pales ou (aubes). L'ensemble est mis en mouvement suite à un transfert de l'énergie cinétique de l'eau à la turbine qui la convertit en énergie cinétique dans l'alternateur.

La turbine entraîne **l'alternateur** (sorte de moteur fonctionnant à l'envers, constitué d'un rotor et d'un stator) qui produit de **l'électricité**.

Un poste de transformation (**transformateur**) élève ensuite la tension produite par l'alternateur (de 5 000 à 15 000 volts, moyenne tension) en courant à haute et très haute tension (de 63 000 volts à 400 000 volts) plus facilement transportable dans les **lignes à haute et très haute tension**.



Origine du texte :

[www.suddauphine.com/edf/particul.htm](http://www.suddauphine.com/edf/particul.htm)

# Energie thermique

## Je dois être capable :

- ❖ de distinguer les différents effets de transfert d'énergie par chaleur d'un système à un autre
- ❖ de distinguer entre énergie thermique et température

## Je dois d'abord tester mes acquis :

- 1- Préciser la signification des mots suivants :
  - température ;
  - chaleur ;
  - énergie thermique.
- 2- Pourquoi a – t – on la sensation de brûlure quand on touche un corps très chaud?
- 3- Lors du chauffage de l'eau pure, la température augmente progressivement puis se stabilise à 100°C ( sous la pression atmosphérique). Expliquer le rôle de l'énergie transférée par chaleur au système { flacon et eau }.

## Je construis mes savoirs :

### Situations :

- 1- Pour se réchauffer, on se frotte les mains. Pourquoi ?
- 2- Lorsqu'on moule du café dans un moulin électrique, on constate que la poudre obtenue est chaude. En donner une interprétation énergétique.

## 1 Qu'est ce que l'énergie thermique ?

### a- Mise en évidence



- En freinant, une bicyclette en mouvement ralentit et s'arrête.
- Les jantes de la roue deviennent chaudes.



- L'élévation de la température au niveau des jantes est attribuée à **l'énergie thermique**. reçue par les jantes.
- L'énergie cinétique **''a disparu''** de la bicyclette pour **''apparaître''** sous forme d'énergie thermique au niveau des jantes.



Lorsque le châssis d'une voiture frotte contre une piste, des étincelles prennent naissance : il y a apparition de l'énergie thermique.



Chauffer un récipient contenant de l'eau.



La température du système {eau, récipient} augmente.



De l'énergie est transférée de la flamme du brûleur à gaz au système {eau, récipient}.

Cette énergie reçue par le système a pour effet l'augmentation de son énergie thermique.

Comme pour les mouvements où interviennent des frottements, certains chocs entre des ou tous les constituants d'un système s'accompagnent d'une variation (augmentation) de l'énergie thermique.

## b- Apparition de l'énergie thermique

Dans les exemples traités :



- les freins exercent des forces de frottement sur le mobile.  
Ces forces tendent à ralentir son mouvement qui s'accompagne d'une diminution de son énergie mécanique (cinétique ou potentielle ou les deux formes à la fois) et d'une augmentation de son **énergie cinétique microscopique (énergie thermique  $E_{th}$ )** et par conséquent une augmentation de son énergie microscopique (énergie interne  $U$ ).
- L'augmentation de l'agitation des particules qui constituent un système, donc une augmentation de son énergie cinétique microscopique (énergie interne) est indiquée par une élévation de sa température.

Une variation de température indique une variation de l'énergie interne  $U$  d'un système et plus précisément une variation de son énergie cinétique microscopique (énergie thermique).

2

## La chaleur, un mode de transfert de l'énergie.



Placer dans un récipient de l'eau et des glaçons à  $0^{\circ}\text{C}$ .



- Tant que le glaçon fond, la température reste constante.
- Lorsque la glace fond complètement, la température de l'eau augmente, puis se stabilise à la température de l'air ambiant.



La fusion de la glace et l'élévation de la température de l'eau correspondent à une augmentation de l'énergie microscopique (énergie potentielle d'interaction intermoléculaire et énergie cinétique microscopique des molécules) du système {eau - glace}.

Il y a un transfert d'énergie qui n'est pas dû aux forces de frottement.

De l'énergie microscopique a été transférée de l'air environnant (**corps chaud**) au système {eau - glace} (**corps froid**) : c'est **un transfert d'énergie par chaleur**.



Chauffer à l'aide d'un brûleur à gaz, un récipient contenant de l'eau.



La température de l'eau augmente.



Puisque la température est une grandeur qui renseigne sur la plus ou moins grande agitation des particules constituant le système {eau}, son élévation indique que l'énergie microscopique de l'eau augmente.

Il y a transfert de l'énergie microscopique du brûleur vers l'eau : c'est un transfert d'énergie par chaleur.

La chaleur est un mode de transfert de l'énergie microscopique entre deux systèmes en contact. Ce transfert s'effectue spontanément toujours du corps chaud vers le corps froid.

### Autres phénomènes mettant en jeu un transfert d'énergie par chaleur.

#### ■ Certaines réactions chimiques :

➤ celles qui sont **exothermiques**, font augmenter l'énergie thermique du milieu extérieur.

Une partie de l'énergie microscopique des constituants est transférée par chaleur au milieu extérieur;

➤ celles qui sont **endothermiques** la font diminuer.

#### ■ Le passage de courant électrique dans un conducteur :

Une partie ou la totalité de l'énergie potentielle électrique est transférée par chaleur aux conducteurs et au milieu extérieur. Le phénomène porte le nom **effet Joule**.

#### ■ Certains phénomènes physiques :

la fusion, la solidification, la vaporisation.. sont des transformations qui s'accompagnent d'un transfert d'énergie par chaleur du ou vers le milieu extérieur.

### Remarques :

**a-** La chaleur n'est donc pas une énergie : c'est un mode de transfert d'énergie.

**b-** Lorsqu'un corps acquiert de l'énergie thermique, on dit qu'il reçoit de la « chaleur ». Le terme est évidemment impropre puisqu'on a affaire à un transfert d'**énergie par chaleur** qui s'effectue d'un système ( $S_1$ ) à un système ( $S_2$ ).

**c-** De même lorsque le corps reçoit de l'énergie thermique, on donne à la quantité d'énergie thermique transférée le nom de **quantité de chaleur** et on la note **Q**. Cette expression (qui est, en principe, incorrecte), reste utilisable dans le langage de la Physique.

Q s'exprime en joule ou en calorie :  $1\text{cal} = 4,18\text{ J}$ .

### Exemples :

- En serrant les freins, pour arrêter une voiture en mouvement, le disque et les patins chauffent . On utilise le langage, freins et patins reçoivent une quantité de chaleur pour dire que leur énergie thermique augmente de  $\Delta E_{th}$  suite à un transfert d'énergie  $\Delta E$  de la voiture aux freins et patins par chaleur.
- De même lors du chauffage d'un récipient renfermant de l'eau, on dit que le

**3**

### Quand dit-on qu'un système est en équilibre thermique ?

Entre deux corps à températures différentes, mis en contact, un transfert d'énergie par chaleur s'effectue du corps le plus chaud vers le corps le plus froid. Ce transfert a pour effet d'abaisser la température du corps le plus chaud et d'augmenter celle du corps le plus froid. Le transfert cesse quand les deux corps sont à la même température : ils sont alors en équilibre thermique.

Un système est en équilibre thermique quand, en tous ses points, la température est la même.

**4**

### Que se passe-t-il lorsqu'il se produit un transfert d'énergie par chaleur d'un système vers un autre ?



Chauffer de l'eau pure contenue dans une casserole à l'aide d'un réchaud à gaz.



La température de l'eau augmente.



Un transfert d'énergie par chaleur se produit du brûleur vers la casserole et son contenu et entraîne une augmentation de la température du système.



Continuer à chauffer,



la température reste constante, égale à 100°C pendant toute la durée de l'ébullition (à la pression atmosphérique).



Le transfert d'énergie par chaleur a pour effet un changement d'état physique du corps pur(eau) à température constante.



Refaire la même expérience avec de l'eau salée.



La température de l'eau augmente même au cours de l'ébullition.



Le transfert d'énergie par chaleur a pour effet au départ d'augmenter la température de l'eau salée puis à la fois, de changer son état physique et d'augmenter sa température

L'apport d'énergie à un corps suivant le mode de transfert d'énergie par chaleur peut avoir pour effet :

- une augmentation de la température du corps sans changer son état physique.
- un changement d'état du corps sans changement de sa température, s'il est pur.
- un changement d'état du corps et une élévation de sa température, à la fois s'il n'est pas pur.

## 5 Qu'est ce que la température ?

On confond souvent énergie thermique et température.

Le plus simple à comprendre, c'est la température. Les particules (molécules, atomes, ions) d'un objet ne sont pas immobiles. Au contraire, elles se déplacent, d'une façon désordonnée dans le milieu.

Cette agitation désordonnée des particules de l'objet est appelée agitation thermique. La température **mesure le degré d'agitation des particules**. Plus les particules d'un objet sont agitées, plus il est chaud. Moins elles bougent, plus il est froid. On mesure la température en degrés Celsius ou en Kelvin.

Il existe une température minimale, appelée le zéro absolu. Les particules d'un objet au zéro absolu ne bougent plus du tout. Elles sont immobiles. On ne peut donc pas descendre au dessous de cette température. Cette température est de -273 degrés Celsius ou 0 Kelvin.

Ce que nous ressentons quand nous touchons un objet, ce n'est pas la température, mais l'énergie thermique que cet objet nous donne ou nous prend.

## 6 Quelles sont les modes de propagation de la chaleur ?

### Situations :

- 1- Pourquoi les ustensiles de cuisson des aliments comportent-ils des manches en plastiques ?
- 2- Comment expliquer le fait qu'une source d'énergie placée dans un coin chauffe la salle ?



Placer la pointe d'un long clou sur la flamme d'un bec bunsen.



Très rapidement, l'autre extrémité (la tête du clou) devient très chaude.



- De la chaleur s'est propagée d'une extrémité du clou à l'autre.
- Les particules constituant les gaz de la flamme (corps chaud) communiquent une partie de leur énergie cinétique microscopique (énergie thermique) aux particules constituant le métal (corps froid). Cette énergie se transmet de proche en proche dans le métal, des zones chaudes vers les zones froides : c'est le **phénomène de conduction**.

La conduction est un mode de propagation de la chaleur qui s'effectue sans transport de matière.

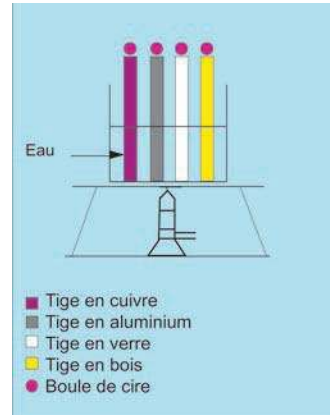
## Est-ce que la propagation de la chaleur par conduction est la même pour tous les corps ?



- Introduire des tiges en cuivre, en aluminium, en verre et en bois, de même longueur et de même section dans un b cher contenant de l'eau.
- Placer une petite boule de cire sur l'extrémité supérieure de chaque tige.
- Chauffer l'eau en vue de chauffer les tiges.



- La boule de cire placée sur l'extrémité de la tige en cuivre commence à fondre avant celle placée sur l'extrémité de la tige d'aluminium.
- La boule de cire placée sur l'extrémité de la tige en verre ne commence à son tour à fondre qu'après une longue durée.
- La boule de cire placée sur l'extrémité de la tige en bois ne fond pas.



- Il y a transfert d'énergie thermique par chaleur de l'eau vers les tiges.
- Le phénomène de propagation de la chaleur par conduction est meilleur pour les métaux et mauvais pour certaines matières ( le bois, le verre, le plastique, une brique, du liège..).
- La conductivité thermique d'un corps dépend de la nature de la matière qui le constitue.



La propagation de la chaleur par conduction dans le cuivre est meilleure que celle dans l'aluminium, qui à son tour permet une conduction beaucoup mieux que le verre.



### Remarques :

- Les solides bons conducteurs d'électricité sont généralement de bons conducteurs de la chaleur.
- Les solides isolants électriques sont généralement de mauvais conducteurs de la chaleur.



Chauffer un b cher contenant de l'eau et de la sciure de bois.



La sciure de bois se met en mouvement de rotation dans l'eau, allant du bas vers le haut à proximité des parois du b cher puis revenant vers le bas près de son centre.



Ce mouvement est dû à des courants d'eau qui transportent continuellement les parties les plus chaudes de la masse d'eau situées à proximité du brûleur pour les mettre en contact avec les parties les plus froides situées loin du brûleur.

Il y a propagation de la chaleur des parties chaudes vers les parties froides par déplacement de la matière. Un tel mode de propagation de la chaleur est appelée **convection**.

La convection est un mode de propagation de la chaleur qui s'effectue avec déplacement de matière.

Exemples de propagation par convection de la chaleur:

- les courants marins à travers les océans ;
- L'air au dessus d'une plaque chauffante ou d'un radiateur s'échauffe et monte vers le plafond de la salle.

## **7** Le travail rayonnant : un autre mode de transfert d'énergie microscopique

**Comment l'énergie libérée par le Soleil parvient – elle à la Terre ?**

Une grande quantité d'énergie du Soleil est transférée à la Terre.

Un rayonnement visible et invisible, se propage dans le "vide" ainsi que dans l'atmosphère entre le Soleil et la Terre. Ce rayonnement transfère de l'énergie du système {Soleil} au système {Terre}, on dit qu'il y a transfert d'énergie par **rayonnement**.

Le mode de transfert d'énergie par rayonnement est appelé travail rayonnant, communément appelé énergie rayonnante.

### **Remarques :**

- Le transfert d'énergie par rayonnement peut se faire sur de très grandes distances, alors que celui par chaleur ne peut se faire que sur des petites distances et jamais dans le vide.
- La quantité d'énergie transférée du Soleil à la Terre sous forme de rayonnement est très importante : la puissance correspondante est de l'ordre de  $1 \text{ kW.m}^{-2}$ . Ce ci explique l'intérêt des capteurs solaires qui permettent de chauffer un local ou d'obtenir de l'eau chaude.

### **Applications :**

- Les cellules photovoltaïques fournissent à un circuit de l'énergie transférée par travail électrique.
- Les plantes grâce à la chlorophylle, emmagasinent de l'énergie chimique à partir du dioxyde de carbone et de l'eau.



*Cellules photovoltaïques alimentant un ventilateur*

## *L' ESSENTIEL*

La chaleur est un **mode de transfert** d'énergie.

La chaleur est un transfert d'énergie microscopique entre deux réservoirs.  
Ce transfert s'effectue spontanément toujours du corps chaud vers le corps froid.

L'apport d'énergie à un corps suivant le mode de transfert d'énergie par chaleur peut avoir pour effet :

- une augmentation de la température du corps sans changer son état physique;
- un changement d'état du corps sans changement de sa température s'il est pur;
- un changement d'état du corps et une élévation de sa température s'il n'est pas pur.

Energie thermique et température sont deux grandeurs physiques différentes.

L'énergie thermique est la somme des énergies cinétiques d'agitation des particules qui constituent un système.

La température renseigne sur le degré d'agitation thermique des particules.

Une variation de température indique une variation d'énergie microscopique d'un système.

Il y a deux modes de propagation de la chaleur :

- par conduction. Il est assuré sans déplacement de matière ;
- par convection. Il est assuré par un déplacement de la matière.

Le transfert d'énergie du Soleil (ou des corps très chauds) vers les objets qui l'entourent se produit par rayonnement. On dit aussi le transfert d'énergie s'effectue par travail rayonnant.



File://A:\Nouveau%20dossier\1 S Physique 8 LE TRANSFERT  
THERMIQUE .htm

# EXERCICES EXERCICES

## Est-ce que je connais ?

- 1 Lorsque la voiture est ralentie ou s'immobilise par freinage, comment se dissipe son énergie cinétique ?
- 2 Je recopie et je mets une croix dans la case correspondante à la réponse correcte.  
L'énergie thermique reçue par un corps provoque :  
 un abaissement de température du corps.       une augmentation de température du corps.
- 3 Citer tous les moyens de chauffage que tu connais et indiquer avec quelle forme d'énergie ils fonctionnent.

## Est-ce que je sais appliquer ?

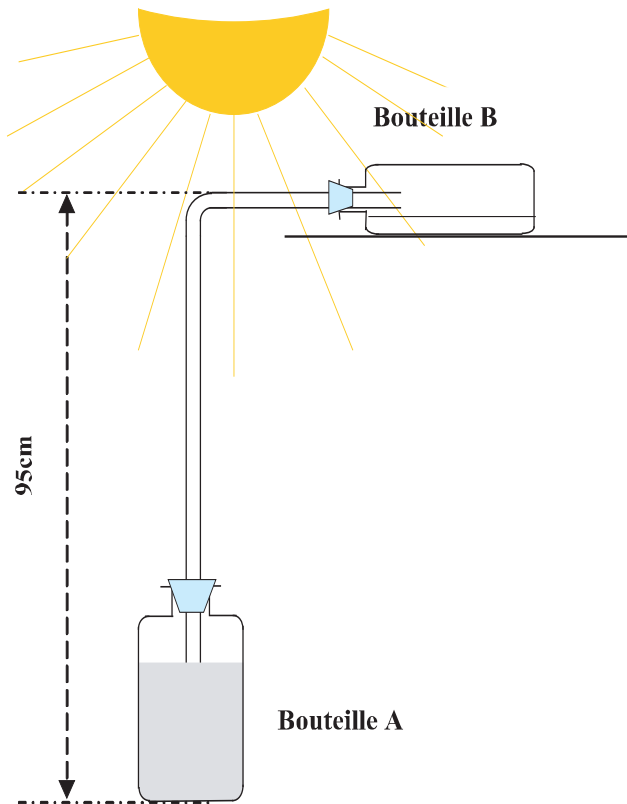
- 1 La consommation moyenne d'une voiture roulant à 100 Km par heure est de 7,5 litres pour 100 km. Sachant que la combustion d'un litre d'essence transfère à la voiture une énergie thermique de 35 millions de joules.  
Calculer l'énergie thermique fournie par seconde à cette voiture.
- 2 Un module de cellules photovoltaïques (ou photopiles) alimente une batterie d'accumulateurs. Cette batterie fournit de l'énergie électrique à un moteur qui actionne une pompe remontant de l'eau d'un puits.  
A l'aide d'un schéma, analyser les différentes formes d'énergie et les transferts mis en jeu dans cette chaîne énergétique.

## Est-ce que je sais raisonner ?

- 1 Préciser dans chacun des cas suivants les modes de propagation de la chaleur mis en jeu.  
a- Un glaçon sorti du congélateur fond en contact de l'air ambiant.  
b- Une quantité d'eau est chauffée par un bec bunsen.
- 2 Préciser les effets de transfert thermique dans les cas suivants :  
a- Une source de chaleur dans une chambre fermée.  
b- Un morceau de glace exposé à l'air ambiant.
- 3 Un poulet peut être cuit :  
- dans une cocotte avec de la sauce,  
- à la broche devant un gril vertical.  
Quels sont, dans chaque cas, les transferts d'énergie responsables de la cuisson ?
- 4 Une voiture roule dans la neige fraîchement tombée.  
Pourquoi la neige fond – elle dans son sillage ?
- 5 Le météorite pénètre dans l'atmosphère à la vitesse de 30000 Km par heure et s'y trouve ralenti presque instantanément jusqu'à la vitesse de 1800 Km par heure. Il y a dégagement d'une quantité de chaleur. Expliquer. Citer une manifestation de ce phénomène.
- 6 Chauffe – eau électrique. Un chauffe – eau porte les indications suivantes : 220V ; 2400W ; 200L.  
a- Calculer l'énergie électrique fournie en 285 min par le courant du secteur.  
b- En admettant que cette énergie électrique est transférée avec un rendement de 95 % sous forme d'énergie thermique à l'eau, évaluer les pertes d'énergie.  
Sous quelles formes sont – elles transférées à l'environnement ?

## Suis-je capable de?

- construire un chauffe – eau
- construire une pompe solaire



### Chauffe-eau

L'installation permet de faire monter de l'eau de la bouteille A, qui joue le rôle d'un puits, jusqu'à la bouteille B, sans autre source d'énergie que celle du soleil !

Regarder attentivement le dessin et construire l'installation.

La bouteille B doit contenir au début environ 250 cm<sup>3</sup> d'eau.

Observer ce qui se passe dans la bouteille A quand le soleil chauffe fort, puis dans la bouteille B, quand il disparaît :

Expliquer ce que tu as vu.

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

### Pompe solaire

#### **Matériel**

Un grand seau avec son couvercle (bidon de peinture par exemple), 3 ou 4 mètres de tuyau de plastique, un entonnoir et... du gazon !

#### **Fonctionnement :**

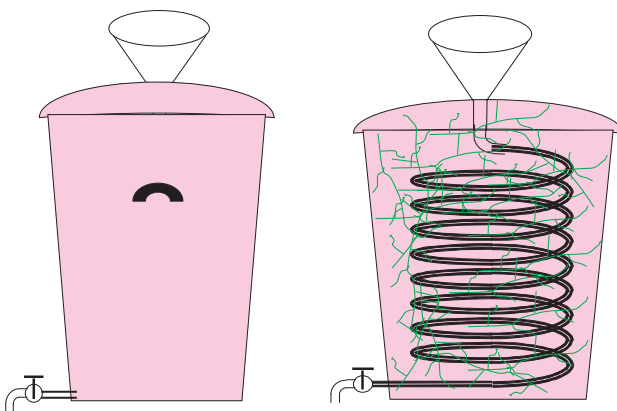
Enrouler le tuyau à l'intérieur du gazon bien tassé, et fermer hermétiquement le seau...

Au bout d'une semaine, le chauffe-eau est prêt à fonctionner.

Il suffit de remplir le serpentin avec de l'eau, pour que celle-ci s'échauffe assez rapidement.

Expliquer le principe de ce chauffe-eau :

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



# *SAVOIR PLUS*

## La production d'électricité à partir de l'énergie thermique stockée dans l'eau est elle possible ?

Plusieurs pays pensent qu'on peut récupérer de l'énergie grâce à la différence de variation de température de l'océan. Ils ont étudié l'utilisation des grandes différences thermiques des océans tropicaux pour la production d'électricité.

Grâce à l'énergie thermique de l'eau ils veulent produire de la vapeur qui pourra actionner des turbines pour la production d'électricité.

L'énergie thermique des océans serait convertie dans des usines de conversion qui seraient ancrées au fond des océans.

Cette technologie est encore à l'état de recherche, et les analystes pensent que cette technologie n'a pas assez de valeur économique pour être compétitive avec les autres technologies de production d'énergie.

Une alternative qui pourrait être plus valable économiquement est la capture de l'énergie thermique fournie par les rayons du soleil dans des étang d'eau douce. L'eau se réchauffe, alors on peut produire de la vapeur. Cette vapeur est récupérée et utilisée sur des turbines pour produire de l'électricité. Le principe est le même que précédemment, mais la technologie est plus simple et les coûts de construction sont moins importants.

# Activité documentaire

## Pourquoi le carrelage est - il froid ?

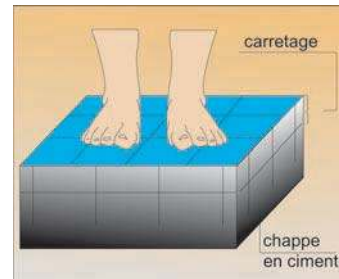
Dans une salle de bain à 20°C, lorsqu'on pose le pied sur la moquette on a une impression de chaud, alors que si on le pose sur le carrelage, on a une impression de froid, pourtant, moquette et carrelage sont à la même température : 20°C. Pourquoi nos sens nous trompent - ils ?



Salle de bain



*Seule une faible épaisseur de la moquette s'échauffe. Sa température s'élève rapidement à 37°C.*



*L'énergie thermique se propage mieux dans le carrelage dont la température s'élève lentement*

Si nous plaçons l'extrémité d'une tige dans une flamme, toute la tige devient rapidement brûlante...ce n'est pas le cas avec une tige en verre.

Tous les corps ne conduisent pas l'énergie thermique de la même manière ! Certains sont de bons conducteurs thermiques et propagent rapidement l'énergie thermique, d'autres sont des isolants thermiques et propagent mal l'énergie thermique. Lorsqu'on pose le pied sur la moquette, il y a transfert d'énergie thermique du pied (37°C) vers la moquette (20°C). L'énergie thermique se propage mal dans la moquette qui est un isolant thermique ; ainsi la partie de la moquette au contact du pied atteint rapidement 37°C.

Comme les cellules de l'épiderme, sensibles à la température, réagissent lentement, elles ne détectent rien...on a l'impression que la moquette est à la température du corps humain.

Il n'en est pas de même avec du carrelage, meilleur conducteur thermique. Le transfert de l'énergie thermique par chaleur du pied vers le carrelage va durer beaucoup plus longtemps, car le pied va chauffer un volume important du carrelage, l'énergie thermique se propageant rapidement dans le carrelage. La température de ce dernier au contact du pied va augmenter lentement. Les cellules de l'épiderme ont le temps de détecter une température inférieure à 37°C et vont communiquer au cerveau une sensation du froid. Le carrelage paraît froid.

Pour un métal, encore meilleur conducteur thermique, le phénomène est accentué.

## Questions

- 1- L'air est - il un bon ou un mauvais conducteur thermique? Justifier votre réponse sur un exemple.
- 2- Pourquoi la moquette est un isolant thermique ?
- 3- Les métaux, bons conducteurs électriques, sont aussi de bons conducteurs thermiques. Quelle est l'origine de ce phénomène ?

(D'après Sciences et Avenir, n°589 Mars 1996.)

## Chapitre 2

### Travail et puissance



## Contenu du chapitre 2

- ◆ Le travail : autre mode de transfert d'énergie
  - Définition du travail, unité: le joule (J).
  - Travail d'une force constante.
  
- ◆ Puissance et rendement
  - Définition de la puissance moyenne, unité : le watt (W).
  - Puissance des machines simples et rendement.

# Travail et puissance

## Je dois être capable :

- ❖ de calculer le travail d'une force constante au cours d'un déplacement linéaire et au cours d'un déplacement quelconque.
- ❖ de distinguer un travail moteur d'un travail résistant.
- ❖ d'appliquer la formule de la puissance moyenne  $P = \frac{W}{\Delta t}$ .
- ❖ de calculer le rendement de machines simples.

## Je dois d'abord tester mes acquis :

- 1- Qu'entend-on par force constante au bout d'une durée  $\Delta t$  ?
- 2- Citer les facteurs dont dépend l'énergie cinétique d'un système matériel.
- 3- Rappeler les différentes formes d'énergie potentielle.
- 4- De quoi dépend l'énergie potentielle de pesanteur d'un système formé par un objet et la Terre ?
- 5- On lâche un objet (C) de masse  $M$  d'une hauteur  $H = 20$  m sans vitesse initiale, à  $t = 0$  s. A l'instant de date  $t$  l'objet se trouve à une altitude  $h = 10$  m et animé d'une vitesse  $V$ .  
Quelle (s) forme(s) d'énergie possède chacun des systèmes suivants à l'instant de date  $t$  :
  - Le système  $S_1$  formé par l'objet (C) ?
  - Le système  $S_2$  formé par l'objet (C) et la Terre ?
- 6- Décrire les effets qui se manifestent dans un système lorsqu'il reçoit de l'énergie transférée par chaleur.

## Je construis mes savoirs :

### 1 Qu'est ce que le travail ?



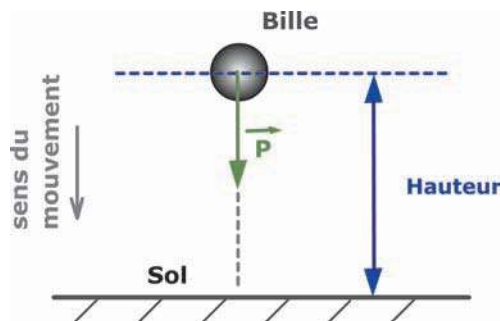
Lâcher sans vitesse initiale une bille (B).



La bille se met en mouvement.



- L'énergie cinétique initiale de la bille est nulle.
- Au cours de son mouvement la bille acquiert de plus en plus de l'énergie cinétique puisque la valeur de sa vitesse croît au fur et à mesure qu'elle se rapproche du sol.



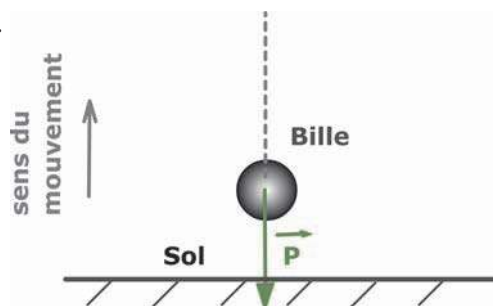
Lancer verticalement vers le haut une bille.



Après un certain parcours, la bille s'arrête puis rebrousse chemin.



L'énergie cinétique de la bille diminue au cours de la montée et augmente au cours de la descente.



### A quoi est due la variation de l'énergie cinétique de la bille dans ces deux exemples ?



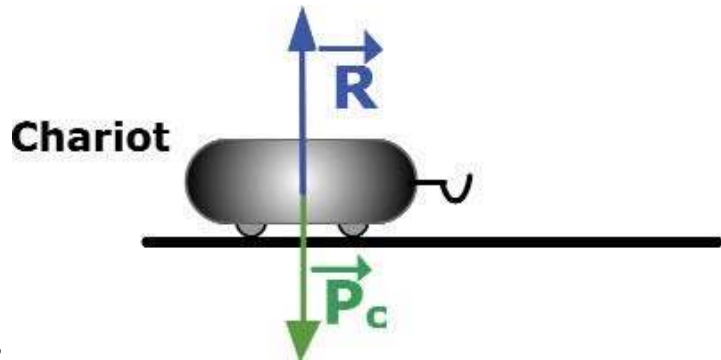
- La seule force qui s'exerce sur la bille est son poids  $P$ .
- Cette force  $P$  influe sur le déplacement de la bille. Elle est la cause de la variation de son énergie cinétique.
  - Au cours de la descente, la force  $P$  aide la bille dans son mouvement : l'énergie cinétique de celle-ci augmente. La bille a reçu de l'énergie qui lui est transférée du milieu extérieur .
  - Au cours de la montée, la force  $P$  s'oppose au mouvement de la bille : l'énergie cinétique de celle-ci diminue. La bille a cédé de l'énergie.
- Il y a transfert d'énergie entre le solide (système 1) et le milieu extérieur (système 2).
- Ce transfert s'effectue par travail de la force  $P$ .
- La différence entre l'énergie cinétique finale de la bille et son énergie cinétique initiale, mesurée en joules, renseigne sur le **travail de la force  $P$** . Le travail est symbolisé par la lettre  $W$  et a pour unité le joule (J).



Poser un chariot sur un plan parfaitement horizontal.



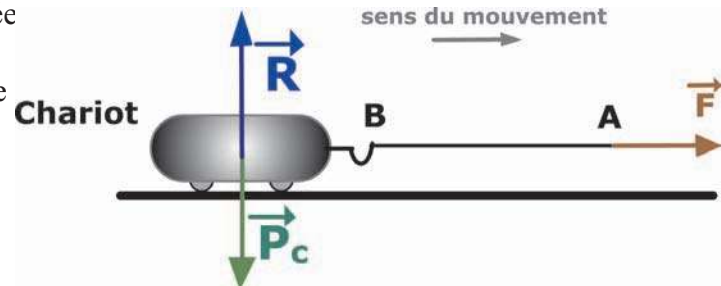
Le chariot reste en équilibre.



A l'aide d'une ficelle AB, tirer le chariot horizontalement.



- Le chariot se met en mouvement.  
→
- Tant que  $F$  est appliquée et lorsque son point d'application se déplace l'énergie cinétique du chariot augmente.



- La cause du déplacement du chariot est la force  $F$ . Elle permet la variation de son énergie cinétique.  
→
- L'énergie est transférée de l'expérimentateur au chariot par **travail de la force  $F$** .  
→
- Cette variation d'énergie cinétique renseigne sur le travail de la force  $F$ .  
→

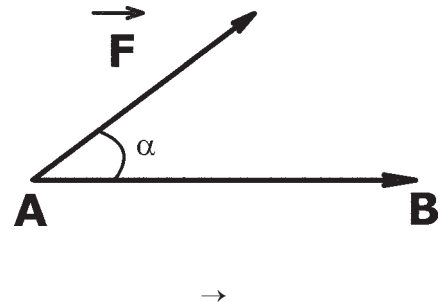
Le travail est un mode de transfert d'énergie

## 2) Quels sont les facteurs dont dépend le travail d'une force ?

### Etude quantitative

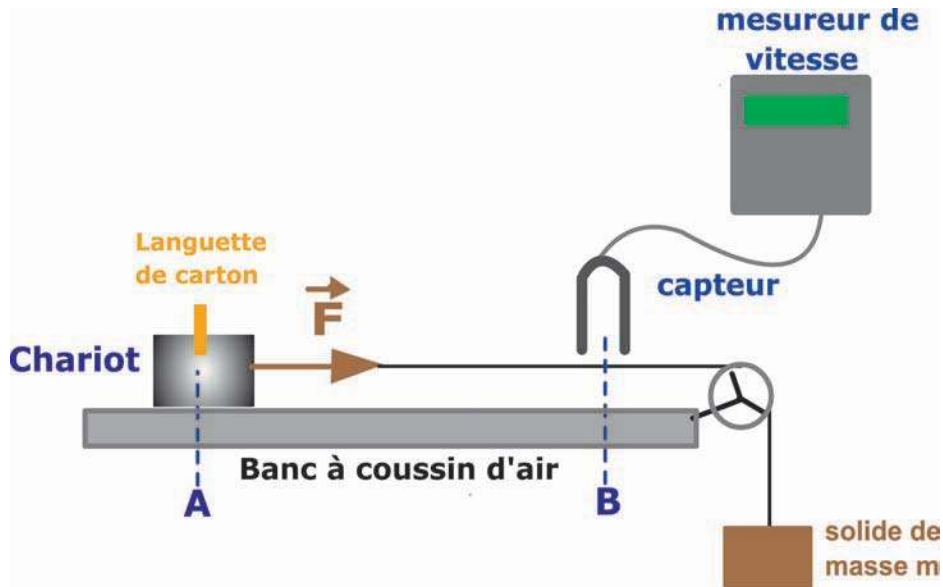
Soient :

- 
- $F$  : vecteur force de point d'application initialement en A  
→
- $AB$  : vecteur déplacement (d'origine A le point de départ du mobile et d'extrémité B son point d'arrivée)  
→
- $\alpha$  : angle entre le vecteur force  $F$  et le vecteur déplacement,  $AB$ .  
→



**a) Cas où le vecteur force et le vecteur déplacement sont colinéaires et de même sens.**

Un chariot de masse  $M$ , pouvant se déplacer sans frottement sur un banc à coussin d'air, est mis en mouvement à l'aide d'un solide de masse  $m$  réglable.



Pour une masse  $m$  du solide.



- Faire varier la distance  $d$  séparant le point de départ du chariot et le capteur.
- Mesurer la valeur  $V$  de la vitesse du chariot.
- Refaire la même expérience en faisant varier la masse  $m$  du solide.

**1<sup>er</sup> cas** : masse du solide  $m = m_1$ .

$d$ (m)	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
$V$ (m.s <sup>-1</sup> )					

**2<sup>ème</sup> cas** : masse du solide  $m = m_2$ .

$d$ (m)	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
$V$ (m.s <sup>-1</sup> )					

**3<sup>ème</sup> cas** : masse du solide  $m = m_3$ .

$d$ (m)	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
$V$ (m.s <sup>-1</sup> )					

Plus  $m$  est grande plus  $\|\vec{F}\|$  est grande.

La croissance de la vitesse  $V$  signifie la croissance de l'énergie cinétique  $\mathcal{E}_c$  du chariot. Donc l'énergie transférée par travail de  $\vec{F}$  est d'autant plus grande que la distance  $d$  est grande.



- Pour la même valeur de la force  $\vec{F}$ , la valeur  $V$  de la vitesse et la distance  $d$  varient dans le même sens. L'énergie cinétique reçue par le chariot augmente avec la distance.
- Pour la même distance  $d$ , la valeur de la force  $\vec{F}$  et la valeur  $V$  de la vitesse varient dans le même sens. L'énergie cinétique reçue par le chariot augmente avec la valeur de la force  $\vec{F}$ .



- Le travail d'une force  $\vec{F}$  augmente avec la distance  $d$ .
- Le travail de cette force augmente avec sa valeur.

### b) Cas où le vecteur force et le vecteur déplacement ne sont pas colinéaires

#### Que se passe-t-il lorsque la direction de la force est perpendiculaire à celle du mouvement ?



Mettre le sèche-cheveux perpendiculairement aux glissières.



Le chariot ne se déplace pas.

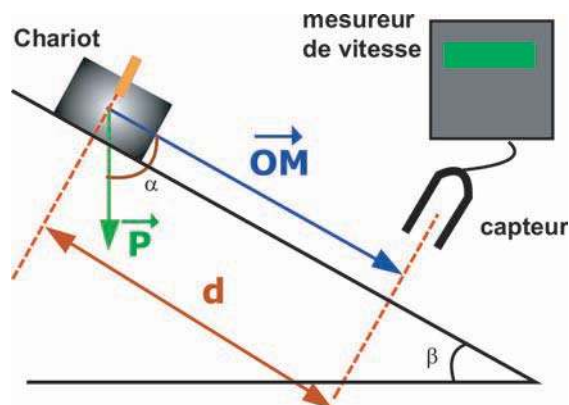


La force exercée par le sèche-cheveux ne permet pas le déplacement du chariot : Son travail est nul.



#### Que se passe-t-il lorsque la direction de la force n'est pas perpendiculaire à celle du mouvement ?

Etude du mouvement de glissement d'un chariot de masse  $M$  sur un plan incliné d'angle réglable.



Soit  $\alpha$  l'angle entre le vecteur  $\vec{P}$  et le vecteur déplacement  $\vec{OM}$ .



Pour un angle  $\beta$  du plan incliné :

- abandonner sans vitesse initiale le chariot du point O;
- faire varier la distance d;
- mesurer la valeur V de la vitesse du chariot au point M.;
- refaire la même expérience en faisant varier l'angle  $\beta$ .

Pour  $\beta = \beta_1$

d (m)	0,2	0,3	0,4	0,5
V (m.s <sup>-1</sup> )				

Pour  $\beta = \beta_2$

d (m)	0,2	0,3	0,4	0,5
V (m.s <sup>-1</sup> )				

Pour  $\beta = \beta_3$

d (m)	0,2	0,3	0,4	0,5
V (m.s <sup>-1</sup> )				



Pour le même déplacement, la valeur V de la vitesse dépend de l'angle  $\beta$ .



Pour une même force  $\vec{F}$  ( $= \vec{P}$ ) et un même déplacement d de son point d'application, l'énergie cinétique reçue par le chariot varie avec l'angle  $\alpha$  ( $\alpha = \frac{\pi}{2} - \beta$ ). Le travail de  $\vec{R}$  est nul ( $\vec{R}$  perpendiculaire à  $\vec{AB}$ ), donc le transfert d'énergie du milieu extérieur vers le chariot est assuré par le travail de  $\vec{P}$ .

Le travail de cette force  $\vec{P}$  dépend de l'angle  $\alpha$  formé entre le vecteur  $\vec{P}$  et le vecteur déplacement. Il est d'autant plus grand que  $\alpha$  est petit.



Le travail d'une force  $\vec{F}$  au cours d'un déplacement rectiligne AB dépend :

- de la valeur de la force  $\vec{F}$ ;
- du déplacement AB.
- de l'angle  $\alpha$  entre le vecteur force  $\vec{F}$  et le vecteur déplacement  $\vec{AB}$ .

Le travail met en jeu deux facteurs qui sont la force et le déplacement. Le travail d'une force perpendiculaire au déplacement est nul.

### 3 Quelle est l'expression du travail d'une force constante ?

Une force est dite constante si elle garde ses mêmes caractéristiques.



Reprendre l'étude quantitative relative au cas où le vecteur force et le vecteur déplacement sont colinéaires et de même sens.

**Exemple :** Pour atteindre une vitesse  $V$  presque égale à  $1,9 \text{ m.s}^{-1}$  du chariot, on trouve pour  $M = 120 \text{ g}$  :

$\ \vec{F}\  \text{ (N)}$	0,346	0,452	0,534
$d \text{ (m)}$	0,6	0,5	0,4
$\ \vec{F}\ .d \text{ (J)}$	0,207	0,22	0,21

L'énergie cinétique reçue par le chariot est la même car sa vitesse est la même.

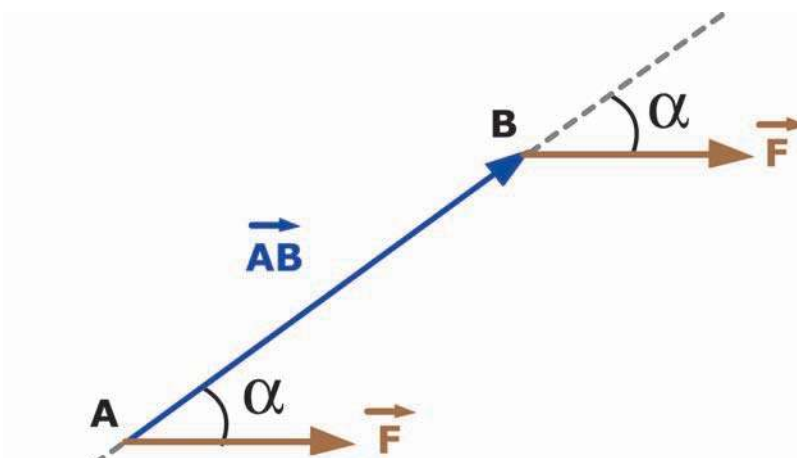
Le produit  $\|\vec{F}\|.d = \text{constante}$ . C'est le travail de la force  $\vec{F}$  qui permet au chariot d'atteindre la vitesse de  $1,9 \text{ m.s}^{-1}$ .

■ On admet que  $\|\vec{P}\|. \|\vec{AB}\|. \cos \alpha$  qui rend compte des résultats déduits des expériences précédentes exprime la valeur du travail de  $\vec{P}$  lorsque son point d'application se déplace de A à B.

On écrira  $W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = \|\vec{P}\|. \|\vec{AB}\| \cos \alpha$

#### Généralisation :

Un corps (C) soumis à une force  $\vec{F}$  constante se déplace d'un point A à un point B suivant une direction faisant un angle  $\alpha$  avec la force  $\vec{F}$



Le vecteur force  $\vec{F}$  forme un angle  $\alpha$  avec le vecteur déplacement  $\vec{AB}$ .

Le travail d'une force  $\vec{F}$  constante au cours d'un déplacement rectiligne  $\vec{AB}$  est modélisé par la relation suivante :

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \|\vec{F}\| \cdot \|\vec{AB}\| \cos \alpha$$

Unités :  $\|\vec{F}\|$  en newton (N)

$\|\vec{AB}\|$  en mètres (m)

W en joules (J)

#### 4 Le travail d'une force est-il toujours positif ?

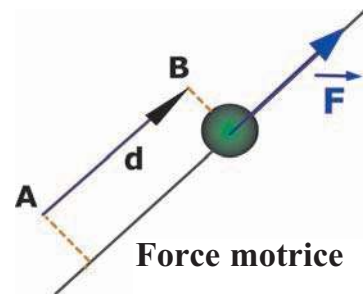
■ Si la force  $\vec{F}$  est parallèle au déplacement  $\vec{AB}$

et orientée dans le même sens que  $\vec{AB}$  ( $\alpha = 0$  donc  $\cos \alpha = 1$ ),

le travail  $W = \|\vec{F}\| \cdot \|\vec{AB}\| \cos \alpha$  effectué par la force est **positif** :

la force a augmenté l'énergie cinétique du système, celui-ci se déplace donc plus rapidement.

Ce travail est dit **moteur** et la force est dite **motrice**.



■ Si  $\vec{F}$  et  $\vec{AB}$  sont tels que

$\alpha = (\vec{F}, \vec{AB})$  est aigu ( $0 \leq \alpha < \frac{\pi}{2}$ ) ;

le travail de  $\vec{F}$  est positif (il est dit moteur).

■ Si la force  $\vec{F}$  est parallèle au déplacement

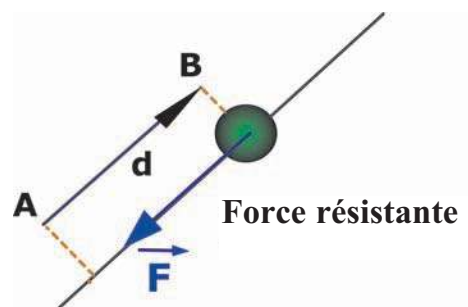
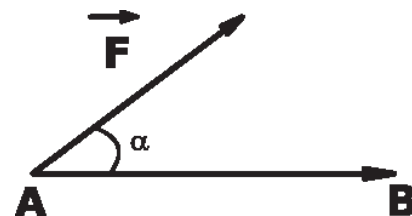
$\vec{AB}$  mais orientée dans le sens opposé

( $\alpha = \pi$  et  $\cos \alpha = -1$ ). Dans ce cas,

le travail  $W = \|\vec{F}\| \cdot \|\vec{AB}\| \cdot \cos \alpha$  effectué par la force est **négligé** :

la force a diminué l'énergie cinétique du système, celui-ci se déplace donc de plus en plus lentement.

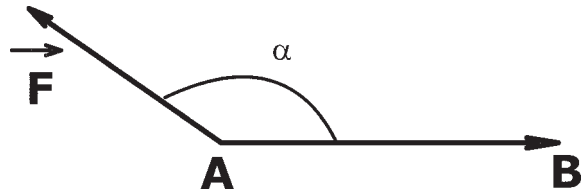
Ce travail est dit **résistant** et la force est dite **résistante**.





- Si  $\vec{F}$  et  $\vec{AB}$  sont tels que  $\alpha = (\vec{F}, \vec{AB})$  est obtus ( $\frac{\pi}{2} < \alpha \leq \pi$ );

le travail de  $\vec{F}$  est négatif (il est dit résistant).



D'autre part :  $-1 \leq \cos \alpha \leq +1$   
Alors le travail est une grandeur algébrique.

- Si  $\alpha = 0$  ;  $\cos \alpha = 1 \Rightarrow$  le travail est positif. C'est le cas aussi si  $0 \leq \alpha < \frac{\pi}{2}$ .
- Si  $\alpha = 90^\circ$  ;  $\cos \alpha = 0 \Rightarrow$  le travail est nul.
- Si  $\alpha = 180^\circ$  ;  $\cos \alpha = -1 \Rightarrow$  le travail est négatif. C'est le cas aussi si  $\frac{\pi}{2} < \alpha \leq \pi$ .

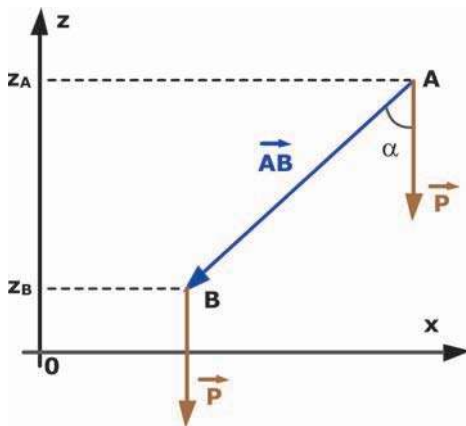
### 5 Quelle est l'expression du travail du poids d'un corps ?

A l'échelle du laboratoire, le poids  $\vec{P}$  d'un corps est supposé constant.

#### Déplacement rectiligne

Un corps de masse  $m$ , se déplace d'un point A à un point B comme l'indique la figure suivante.

Cherchons le travail du poids de ce corps au cours du déplacement  $\vec{AB}$ .



$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = \|\vec{P}\| \cdot \|\vec{AB}\| \cdot \cos \alpha$$

$$\text{or } \cos \alpha = \frac{(z_A - z_B)}{\|\vec{AB}\|}$$

alors :

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = m \cdot \|\vec{g}\| \cdot (z_A - z_B)$$

#### Remarque :

Soit  $H$  la distance qui sépare les deux plans horizontaux passant par les deux positions A et B.

❖ Pour un mouvement ascendant : le point B est plus haut que A ;  $z_A$  est plus faible

que  $z_B$  :  $(z_A - z_B) < 0$

Le travail du poids est négatif. D'où  $W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = -m \cdot \|\vec{g}\| \cdot H$

❖ Pour un mouvement descendant : le point A est plus haut que B ;  
 $z_A$  est plus grand que  $z_B$  :  $(z_A - z_B) > 0$

Le travail du poids est positif. D'où  $W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = +m \cdot \|\vec{g}\| \cdot H$

❖ Pour un mouvement horizontal : le point B est au même niveau que A ;  
 $z_A$  est égale à  $z_B$  :  $(z_A - z_B) = 0$

Le travail du poids est nul. D'où  $W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = 0$

**L'expression du travail du poids reste t-elle la même pour un déplacement quelconque ?**

**Exemple d'un objet de masse m qui gravit l'escalier.**

Décomposer le déplacement du point A au point E en déplacements rectilignes : AB, BC, CD et DE.

$$W_{A \rightarrow E}(\vec{P}) = W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) +$$

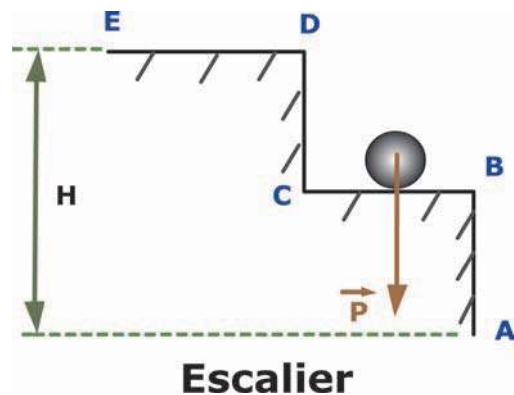
$$W_{B \rightarrow C}(\vec{P}) + W_{C \rightarrow D}(\vec{P}) + W_{D \rightarrow E}(\vec{P})$$

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = -m \cdot \|\vec{g}\| \cdot AB$$

$$W_{C \rightarrow D}(\vec{P}) = -m \cdot \|\vec{g}\| \cdot CD$$

$$W_{B \rightarrow C}(\vec{P}) = W_{D \rightarrow E}(\vec{P}) = 0$$

$$\text{Alors : } W_{A \rightarrow E}(\vec{P}) = -m \|\vec{g}\| \cdot (AB + CD) = -m \|\vec{g}\| \cdot H$$



L'expression du travail du poids est la même que celle obtenue pour un déplacement rectiligne

**Travail du poids dans le cas d'un déplacement curviligne.**

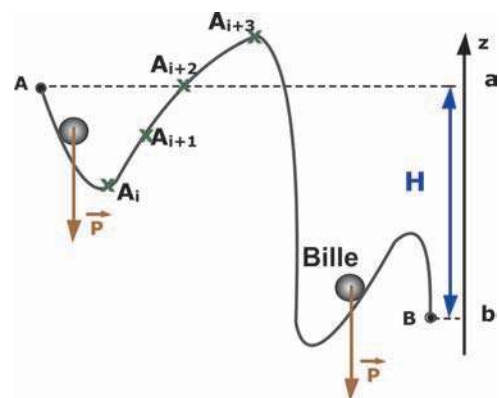
Décomposer le déplacement du point A au point B en de petits déplacements qu'on peut confondre avec des déplacements rectilignes.

Pour chaque déplacement de  $A_i$  à  $A_{i+1}$  on peut écrire

$$W_{A_i \rightarrow A_{i+1}}(\vec{P}) = \|\vec{P}\| \cdot \|\vec{A_i A_{i+1}}\| \cos \alpha_i$$

$$= \|\vec{P}\| \cdot \|\vec{a_{i+1}}\|$$

(avec  $a_i$  et  $a_{i+1}$  les projections orthogonales des points  $A_i$  et  $A_{i+1}$  sur la droite d'action de  $\vec{P}$ ).



Le travail du poids  $\vec{P}$  de la bille, dont le point d'application se déplace du point A au point B est égal à la somme des travaux élémentaires :

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = (\vec{P}) (\|\vec{aa}_1\| + \|\vec{a_1a_2}\| + \dots + \|\vec{a_nb}\|) = \|\vec{P}\| \cdot \|\vec{ab}\|$$

a et b sont respectivement les projections orthogonales de A et B sur la droite d'action de  $\vec{P}$  (l'axe des altitudes z).

$$\text{Alors } W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = m \|\vec{g}\| \cdot (z_A - z_B) = m \|\vec{g}\| \cdot H$$

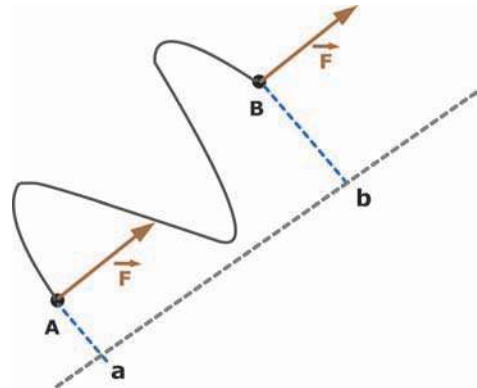
Le travail du poids d'un corps est indépendant du chemin suivi. Il ne dépend que de la différence d'altitude entre la position initiale et la position finale.

### Généralisation :

Le travail d'une force  $\vec{F}$  constante, dont le point d'application décrit une ligne curviligne et se déplace d'un point A à un point B est égal à :

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \pm \|\vec{F}\| \cdot \|\vec{ab}\|$$

a et b sont respectivement les projections orthogonales de A et B sur la droite d'action de  $\vec{F}$



## 6 Un même travail peut il être réalisé plus ou moins rapidement ?



Comparer la durée de la montée du sol jusqu'au 5<sup>ème</sup> étage de deux personnes, l'une utilise les escaliers et l'autre l'ascenseur.



La personne utilisant l'ascenseur met moins de temps pour monter au même étage que celle utilisant les escaliers.



Les deux personnes ont reçu la même énergie potentielle par travail pendant des durées différentes.



Deux moteurs de caractéristiques électriques différentes puisent l'eau d'un puits. Ces deux moteurs fonctionnent pendant la même durée.



L'un des moteurs puise plus d'eau que l'autre.



Le moteur qui puise plus d'eau du puits fournit plus d'énergie que l'autre pendant la même durée. Ce moteur est plus puissant que l'autre.

La puissance dépend du travail et du temps nécessaire à le réaliser.

La puissance moyenne  $P$  développée par une force  $F$  est égale à la valeur moyenne du travail produit par  $F$  durant une seconde.

Soit  $W$  le travail produit pendant la durée  $\Delta t$ , la puissance moyenne s'exprime par :

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

Unités :  $W$  en joules (J) ;  $\Delta t$  en secondes (s) ;  $P$  en watts (W)

### Remarques :

Ordre de grandeurs des puissances :

- Ouvrier : 70 W.
- Cheval : 700 W.
- Moteur d'une voiture : 3000 W
- Réacteur d'un avion : 30000 W

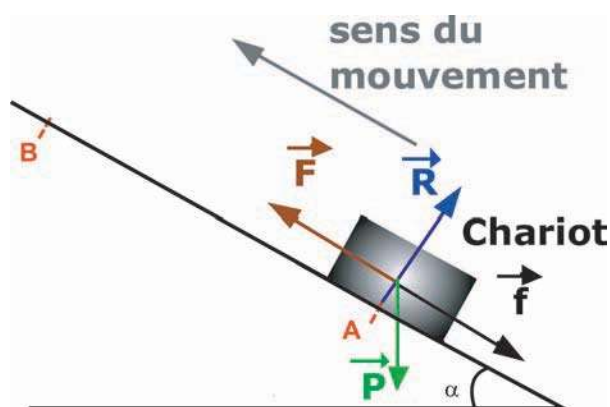
## 7 Qu'appelle t-on rendement d'une machine simple ?

### Exemple :

Un chariot, de masse  $M = 100 \text{ g}$ , se déplace du point A au point B distant de  $d = 0,5 \text{ m}$ , sous l'effet d'une force  $F$  constante sur un plan incliné d'angle  $\alpha = 30^\circ$ .

Ce chariot est soumis à une force de frottement  $f$  supposée constante et de valeur  $0,2 \text{ N}$ .

- a- Déterminer la valeur de  $F$  pour que le mouvement du chariot soit uniforme et lent. On prendra  $\|g\| = 10 \text{ N.kg}^{-1}$ .
- b- Calculer le travail  $W_1$  de cette force  $F$  au cours du déplacement AB.
- c- Calculer le travail  $W_2$  du poids du chariot au cours du même déplacement AB.
- d- Déterminer le rapport des valeurs absolues de ces deux travaux.



a- Le mouvement est uniforme. Donc d'après le principe d'inertie, la somme vectorielle des forces exercées sur le chariot est nulle.

$$\text{On déduit : } \vec{\|F\|} = \vec{\|P\|} \cdot \sin\alpha + \vec{\|f\|} = 0,7 \text{ N}$$

b-  $W_1 = \vec{\|F\|} \cdot \vec{d} = 0,35 \text{ J} > 0$  : le travail est moteur et la force  $F$  est motrice.

c-  $W_2 = -M \cdot \vec{\|g\|} \cdot \vec{H} = -M \vec{\|g\|} \cdot d \cdot \sin\alpha = -0,25 \text{ J} < 0$  :

le travail est résistant et la force  $P$  est résistante.

d- Le rapport est  $R = \frac{|W_2|}{|W_1|} = \frac{0,25}{0,35} = 0,714 = 71,4\%$

Le travail moteur est supérieur à la valeur absolue du travail résistant car il y a des frottements. Le rapport  $R$  est inférieur à 1. Ce rapport est appelé rendement du plan incliné.

### Généralisation :

Au niveau d'une machine simple, il y a deux types de forces :

Forces motrices  $F_M$  et forces résistantes  $f_R$ .

Le rendement d'une machine simple est égal au rapport de la valeur absolue du travail résistant par le travail moteur fourni à la machine.

$$R = \frac{|W_R|}{W_M}$$

Le rendement  $R$  d'une machine simple est toujours inférieur à 1.

## L' ESSENTIEL

Le travail est un mode de transfert d'énergie.

Le travail produit par une force est lié à deux facteurs : la force et le déplacement de son point d'application.

Le travail effectué par une force  $\vec{F}$  constante au cours d'un déplacement rectiligne AB s'exprime par :

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \|\vec{F}\| \cdot \|\vec{AB}\| \cos \alpha$$

Le travail effectué par une force  $\vec{F}$  constante au cours d'un déplacement quelconque s'exprime par :  $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \pm \|\vec{F}\| \cdot \|\vec{ab}\|$

a et b étant les projections orthogonales de A et B sur une droite ayant la direction de  $\vec{F}$ .

Le travail produit par une force est une grandeur algébrique.

Si  $0 \leq \alpha < \frac{\pi}{2}$  :  $W > 0$  ; le travail est moteur.

Si  $\alpha = 90^\circ$  :  $W = 0$ .

Si  $\frac{\pi}{2} < \alpha \leq \pi$  :  $W < 0$  ; le travail est résistant.

Le travail du poids d'un corps entre deux points A et B est donné par :

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = m \cdot \|\vec{g}\| \cdot (z_A - z_B) ;$$

$z_A$  et  $z_B$  sont comptées sur un axe vertical ascendant.

Ce travail est indépendant du chemin suivi pour aller de A vers B.

La puissance moyenne d'une force est égale à la valeur moyenne du travail produit par cette force durant une seconde.

La puissance moyenne s'exprime par :  $P = \frac{W}{\Delta t}$

Le rendement d'une machine simple est égal au rapport de la valeur absolue du travail résistant par le travail moteur fourni à la machine.

$$R = \frac{|W_R|}{W_M}$$

# EXERCICES EXERCICES

## Est-ce que je connais ?

- 1** Reproduire et cocher la case correspondante à l'affirmation correcte :
- Le travail produit par une force constante est toujours non nul.
  - Un système est soumis à une seule force  $F$ . Le travail produit par cette force est positif. Alors l'énergie cinétique du système augmente.
  - Le travail produit par une force peut faire varier l'énergie d'un système matériel.
  - Le travail produit par une force motrice est négatif.
  - Le travail produit par le poids d'un corps est indépendant du chemin suivi.
  - Le travail produit par une force perpendiculaire au déplacement est non nul.

- 2** Quelle est l'expression correcte du travail du poids d'un corps au cours du déplacement d'un point A à un point B ?

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = m \cdot \|\vec{g}\| \cdot (z_A - z_B)$$

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = m \cdot \|\vec{g}\| \cdot (z_B - z_A)$$

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = m \cdot \|\vec{g}\| \cdot (x_A - x_B)$$

Avec  $z$  : altitude et  $x$  : abscisse.

- 3** Recopier l'(les) expression(s) correcte(s) parmi celles données ci-dessous :

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \|\vec{F}\| \cdot \|\vec{AB}\| \cos(\vec{F}, \vec{AB})$$

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \|\vec{F}\| \cdot \|\vec{AB}\| \sin(\vec{F}, \vec{AB})$$

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \frac{\|\vec{F}\|}{\|\vec{AB}\|} \cos(\vec{F}, \vec{AB})$$

- 4** Faites associer à chaque élément de la colonne A du tableau suivant un élément de la colonne B et recopier les phrases obtenues.

A	B
<ul style="list-style-type: none"> <li>* La puissance moyenne est égale</li> <li>* Le rendement d'une machine</li> <li>* Le Watt est l'unité</li> <li>* Le joule est l'unité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* du travail.</li> <li>* au travail par seconde.</li> <li>* n'a pas d'unité.</li> <li>* de la puissance</li> </ul>

## Est-ce que je sais appliquer ?

**1** Un corps (C) de masse  $m = 0,1 \text{ kg}$  est abandonné sans vitesse initiale d'un point A, se trouvant au sommet d'un plan incliné d'angle  $\alpha = 30^\circ$  par rapport à l'horizontale.

Les forces de frottement sont supposées nulles et l'intensité de pesanteur

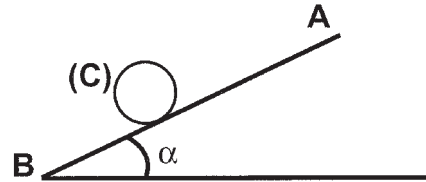
$\vec{g}$

est  $\|\vec{g}\| = 10 \text{ N.kg}^{-1}$ .

a- Dégager les forces extérieures qui s'exercent sur le corps (C).

b- Déterminer le travail de chacune de ces forces lorsque le corps (C) se déplace du point

A au point B situé à  $0,5 \text{ m}$  de A sur le plan incliné.



**2** Un monte charge exerce une force de valeur  $6000 \text{ N}$  pour faire monter un corps (C) de masse  $M = 500 \text{ kg}$  d'une hauteur  $H = 10 \text{ m}$ .

a- Indiquer les forces extérieures qui s'exercent sur le corps (C) ?

b- Calculer le travail de ces forces au cours de la montée sachant que l'intensité de pesanteur est  $\|\vec{g}\| = 10 \text{ N.kg}^{-1}$ .

**3** On pousse horizontalement une armoire de masse  $m = 150 \text{ kg}$  avec une force  $\vec{F}$  horizontale, constante et de valeur  $100 \text{ N}$  pour la déplacer d'une distance  $d = 6 \text{ m}$ .

Les forces de frottement sont supposées nulles et l'intensité de la pesanteur  $\|\vec{g}\| = 10 \text{ N.kg}^{-1}$ .

a- Déterminer le travail du poids de l'armoire au cours du déplacement.

b- Calculer le travail de la force  $\vec{F}$ , au cours du déplacement.

**4** Un cycliste roule à une vitesse constante et parcourt  $600 \text{ m}$  en une minute.

Il exerce une force motrice constante  $\vec{F}$  et de valeur  $\|\vec{F}\| = 500 \text{ N}$ .

Déterminer la puissance développée par ce cycliste pendant ce parcours de  $600 \text{ m}$ .

**5** a- Déterminer la puissance développée par un moteur pour remonter, du fond d'un puits de mine, une cabine de masse  $4 \text{ tonnes}$  à la vitesse de  $8 \text{ m.s}^{-1}$ .

b- Déduire le travail effectué par ce moteur si la montée dure  $1 \text{ min } 40 \text{ s}$ .

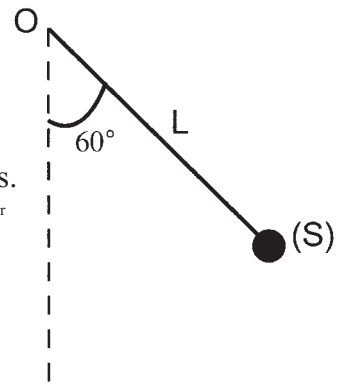
**6** Le ventricule gauche envoie à chaque battement une masse de  $75 \text{ g}$  de sang dans l'aorte avec une force capable de l'élever à  $1,5 \text{ m}$ . Calculer la puissance développée par le coeur, sachant qu'il effectue  $72$  battements par minute.

## Est-ce que je sais raisonner ?

**1** Un pendule simple est formé par un solide ponctuel (S) de masse  $m = 0,1 \text{ kg}$  attaché à l'une des extrémités d'un fil de longueur  $L = 0,8 \text{ m}$ . L'autre extrémité du fil est fixe en un point O autour duquel le pendule peut tourner sans frottement.

On écarte ce pendule de sa position d'équilibre de  $60^\circ$  et on l'abandonne sans vitesse initiale, à l'instant de date  $t = 0$  s.

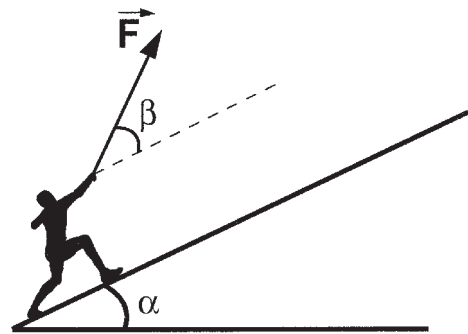
- Calculer le travail du poids de (S) entre l'instant  $t = 0$  s et l'instant  $t$  du 1<sup>er</sup> passage par l'équilibre.
- déterminer le travail de la tension du fil entre ces instants.
- Calculer le travail du poids de (S) entre les instants du 1<sup>er</sup> passage et le 2<sup>ème</sup> passage par l'équilibre.



**2** Un skieur de masse  $m = 80$  kg gravit un plan incliné d'angle  $\alpha = 30^\circ$  par rapport à l'horizontale avec une vitesse presque constante grâce

à une force  $F$  constante faisant un angle  $\beta = 30^\circ$  par rapport au plan incliné. (Voir figure)

- Calculer le travail du poids du skieur lorsqu'il se déplace de 10 m sur le plan incliné.
- Déterminer le travail de la force  $F$  au cours du même déplacement.
- Déterminer le travail de cette force  $F$  au cours du même déplacement lorsque l'angle  $\beta$  prend les valeurs suivantes :  $90^\circ$  ;  $0^\circ$ .



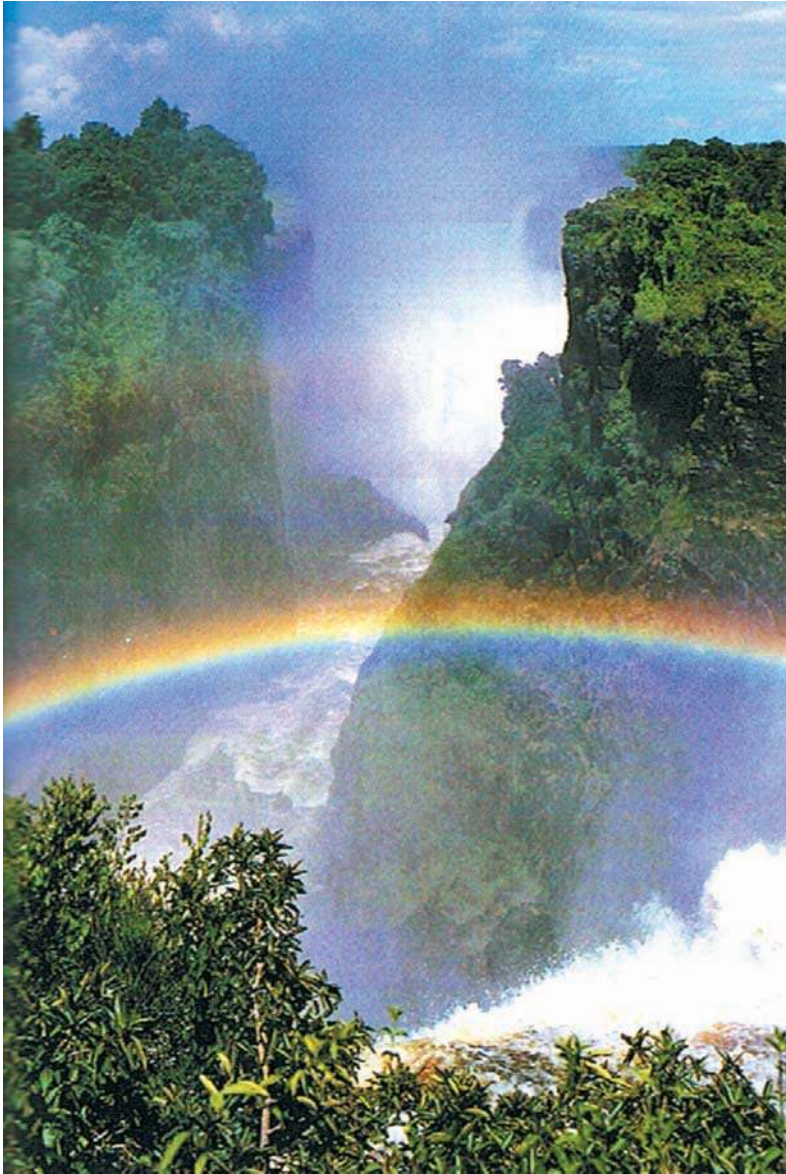
**3** Une automobile de masse  $M = 1200$  kg gravit une pente constante de 8% à la vitesse  $V$  de valeur  $90 \text{ km.h}^{-1}$ . Le moteur développe une puissance de 30 kW. L'air et les frottements divers qui s'opposent à la progression du véhicule équivalent à une force unique  $f$ , parallèle au vecteur vitesse, de sens opposé et d'intensité  $\|f\| = 260$  N.

- Déterminer pour une montée de durée 1 minute :
  - le travail  $W_m$  effectué par le moteur;
  - le travail développé par le poids du véhicule ;
  - le travail de la force  $f$ .
- Déterminer la puissance du poids du véhicule.
- Comparer la puissance du poids et celle de la force  $f$ .

**4** Un eskimo se promène sur un plan horizontal, à une vitesse de valeur  $1,5 \text{ m.s}^{-1}$  en tirant sa luge de masse  $m = 5$  kg avec une force de valeur 120 N. Sa luge est chargée d'une masse  $m' = 50$  kg. L'angle  $\alpha$  entre la force et la direction de mouvement vaut  $35^\circ$ .

- Calculer le travail exercé par l'eskimo lorsqu'il a parcouru un chemin de 5,7 km.
- Calculer la puissance développée par l'eskimo.
- Calculer l'énergie cinétique du système luge chargée.

# LUMIÈRE



La lumière se propage rectilignement dans un milieu homogène et transparent. Mais, que se passe-t-il quand elle rencontre un milieu différent ? Des phénomènes variés peuvent se produire suivant la nature des deux milieux et suivant l'état de leur surface de séparation.

*Q  
u  
a  
t  
r  
i  
è  
m  
e  
  
t  
h  
è  
m  
e*

# Contenu du thème

4

Chapitre 1 : Réflexion de la lumière

Chapitre 2 : Réfraction de la lumière.

# Chapitre 1

## *Réflexion de la lumière*



## Contenu du chapitre 1

- ◆ Définition
- ◆ Lois de Descartes.
- ◆ Principe du retour inverse de la lumière.
- ◆ Image d'un objet réel et celle d'un objet virtuel données par un miroir plan.

# Réflexion de la lumière

## Je dois être capable :

- ◆ d'appliquer les lois de Descartes relatives à la réflexion au tracé de la marche des rayons lumineux et à la construction de l'image donnée par un réflecteur plan.

## Je dois d'abord tester mes acquis :

1- Recopier les phrases suivantes et les compléter par les mots suivants : *lumière, primaire, secondaire*.

- Pour qu'il nous soit possible de voir des objets, il faut que ceux-ci nous envoient de la.....
- Les sources ..... de lumière sont les sources qui produisent elles-mêmes leurs lumières (le soleil, le feu, le laser...).
- Les sources ..... sont des objets qui diffusent la lumière qu'ils reçoivent d'une source ..... (une page de journal, une plante en sont des exemples).

2- Compléter le tableau suivant en précisant la nature de chaque objet ( source primaire , source secondaire ou détecteur de lumière ).

Objet	étoile	planète	laser	oeil
Nature				

3- Je choisis la bonne réponse.

- Le Soleil *est / n'est pas* une source primaire de lumière.
- La Lune *est / n'est pas* une source secondaire de lumière.
- Un écran blanc *diffuse / ne diffuse pas* la lumière.
- Un écran noir *absorbe / n'absorbe pas* la lumière.

4-Recopier les phrases suivantes et les compléter par les mots suivants : opaque, transparent, translucide.

- Un corps .....est un corps qui laisse passer une partie de la lumière qu'il reçoit et diffuse le reste par sa surface.
- Un corps .....laisse passer la lumière qu'il reçoit sans la diffuser.
- Un corps .....ne laisse pas passer la lumière qu'il reçoit.

5- a- Enoncer le principe de propagation de la lumière dans un milieu transparent et homogène.

b- Par quoi on modélise le trajet suivi par la lumière ?

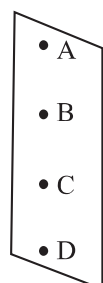
6- Une source ponctuelle S éclaire un corps opaque.

Les points A, B, C, D de l'écran reçoivent-ils de la lumière de la source S ?

S



corps opaque



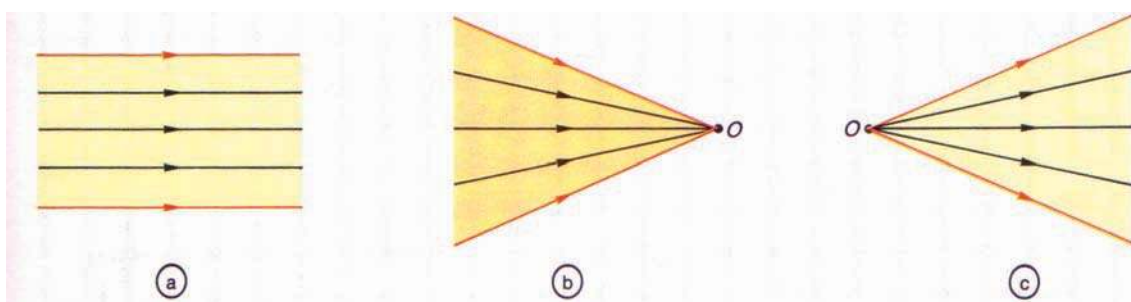
## Je construis mes savoirs :

### 1 Propagation rectiligne de la lumière

Dans un milieu homogène et transparent, on modélise le trajet rectiligne de la lumière par une droite fléchée (portant une flèche indiquant le sens de propagation de la lumière) appelée rayon lumineux.

On donne le nom de faisceau lumineux à un ensemble de rayons issus d'une source lumineuse.

On distingue trois types de faisceaux (figure 1) :



(figure1) Les trois types de faisceaux lumineux

**a- les faisceaux parallèles (ou cylindriques)** : tous les rayons lumineux qui les constituent sont parallèles ;

**b- les faisceaux convergents** : tous les rayons lumineux d'un tel faisceau viennent converger en un même point  $O$  ;

**c- les faisceaux divergents** : tous les rayons lumineux qui les composent divergent à partir d'un point  $O$ .

Un pinceau lumineux est un faisceau lumineux fin.

### 2 Le phénomène de réflexion



- Faire l'obscurité.

- Choisir un objet dans la classe et l'éclairer à l'aide d'une lampe torche envoyant de la lumière sur un miroir plan préalablement fixé à un support. (figure2)



- La lampe torche éclaire le miroir.

- Le miroir renvoie la lumière et éclaire l'objet lorsque la lampe torche est convenablement orientée.

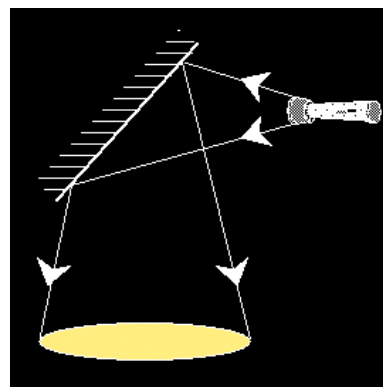


figure2



- Recommencer l'expérience en remplaçant le miroir par une plaque métallique polie.  
Qu'observe-t-on ?



Le miroir et la plaque métallique polie renvoient dans le milieu d'où elle provenait (le milieu de son incidence) la lumière dans une direction bien déterminée :  
c'est la réflexion de la lumière.

Toute surface lisse et unie est une surface polie; elle renvoie la lumière qu'elle reçoit dans son milieu d'incidence et dans une direction privilégiée : **on dit qu'elle réfléchit la lumière. C'est une surface réfléchissante ou miroir.**

**Si la surface réfléchissante est plane, c'est un miroir plan.**



- Recommencer l'expérience en remplaçant le miroir par une feuille de papier.  
Qu'observe-t-on ?



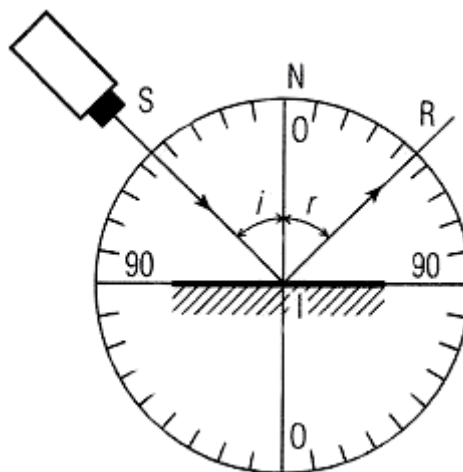
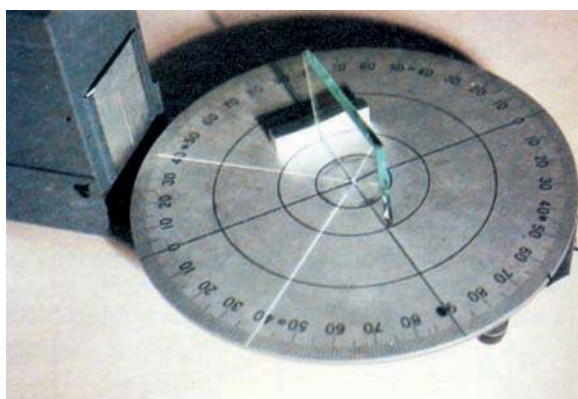
Le papier renvoie la lumière dans toutes les directions : c'est la diffusion de la lumière.  
**Le papier est une surface diffusante.**

### 3 Étudier la réflexion de la lumière



On limite l'étude à la réflexion sur les miroirs plans.

- Sur un disque horizontal gradué en degrés et pouvant tourner autour d'un axe vertical passant par son centre I, placer verticalement un miroir plan M le long d'un diamètre, segment joignant les graduations ( $90^\circ$ - $90^\circ$ ) du disque (figure3).



(figure3)

Le miroir plan est représenté par un segment bordé, sur la face non réfléchissante, de quelques hachures.

- Mettre en service la lanterne munie d'une fente verticale et fine.
- Régler la lanterne de façon à ce que le pinceau lumineux issu de la fente donne une trace visible sur le disque. Cette trace, si elle est très fine, on peut la considérer comme rayon lumineux.

- (SI) est le rayon incident.
- I est le point d'incidence.
- (IR) est le rayon réfléchi.
- (IN) est la normale (perpendiculaire) au miroir au point d'incidence I.
- $i$  est l'angle d'incidence.
- $r$  est l'angle de réflexion.
- (SI) et (IN) forment le plan d'incidence.

- Dans un tableau noter, pour différentes valeurs de l'angle d'incidence  $i$ , la mesure de l'angle de réflexion  $r$ .

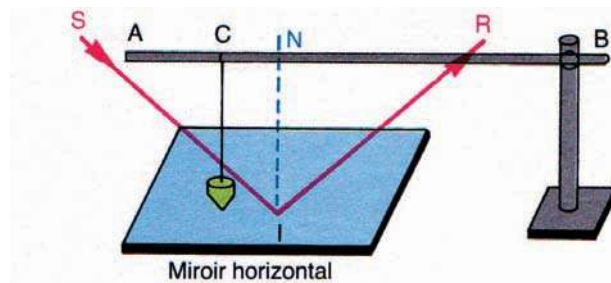
$i(^{\circ})$	0	5	10	25	45	50	60	70	80
$r(^{\circ})$									



- Comparer l'angle d'incidence  $i$  et l'angle de réflexion  $r$ .
- Ecrire la relation entre  $i$  et  $r$ .



- Faire arriver un pinceau parallèle très fin sur un miroir plan horizontal.
- Mettre en place une barre (AB) et déplacer le point de suspension C d'un fil à plomb de A vers B. (figure 4)



(figure4)

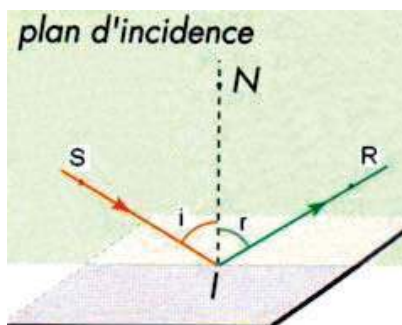


- Le pinceau incident SI subit une réflexion et donne un pinceau réfléchi IR.
- Pour une disposition donnée de la barre (AB), le fil à plomb rencontre toujours le pinceau incident SI puis se confond avec la normale NI puis rencontre toujours le pinceau réfléchi RI.



Le rayon incident SI, la normale NI au plan du miroir et le rayon réfléchi IR sont dans un même plan: le plan d'incidence.

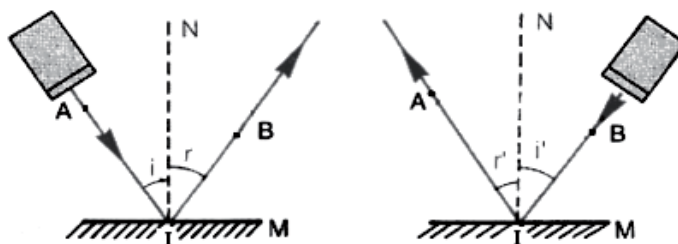
## Lois de Descartes relatives à la réflexion



(figure5)

- Première loi : le rayon réfléchi est dans le plan d'incidence.
- Deuxième loi : l'angle d'incidence  $i$  est égal à l'angle de réflexion  $r$   $i = r$

## Le trajet de la lumière dépend-t-il de son sens de propagation ?



(figure6)



Faire tomber en un point I d'un miroir M un rayon lumineux en le faisant passer par un point donné A de l'espace et repérer un point B du plan d'incidence appartenant au rayon réfléchi (figure 6).

- Inverser le sens de propagation de la lumière en faisant passer le rayon incident par B et I et observer de nouveau la marche des rayons lumineux.



Le rayon incident BI est réfléchi en passant par A.



Le trajet de la lumière est le même dans les deux sens.

L'application des deux lois de la réflexion montre que le rayon réfléchi correspondant au rayon incident BI n'est autre que IA.

Le trajet AIB peut être parcouru indifféremment par la lumière dans un sens ou dans l'autre.

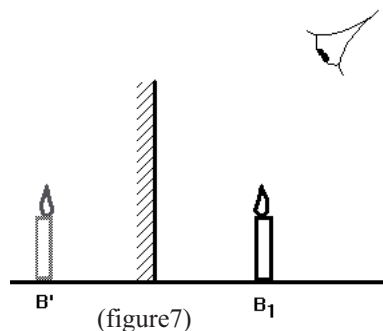
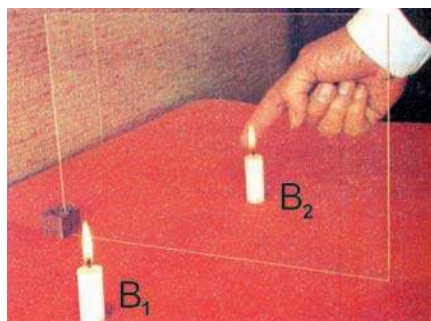
Le trajet de la lumière ne dépend pas de son sens de propagation.  
Cette loi est dite loi du retour inverse de la lumière.

### 4 Expérience des deux bougies



- Placer une bougie  $B_1$  devant une plaque de verre.

- Allumer cette bougie  $B_1$  (figure7).



(figure7)



- L'œil placé dans le demi-espace contenant  $B_1$  voit deux bougies : l'une  $B_1$  qu'on peut saisir, l'autre  $B'$  qu'on ne peut pas saisir.

- Une bougie  $B_2$  identique à  $B_1$  et placée en une position particulière dans le deuxième demi-espace paraît comme si elle est également éclairée.

-  $B_2$  confondu avec  $B'$  et  $B_1$  occupent des positions symétriques par rapport à la plaque de verre.



En réalité, l'oeil voit en même temps :

- la bougie  $B_2$  par transparence à travers la plaque de verre;
- l'image de la flamme par réflexion sur la plaque de verre.

La flamme image est symétrique de la flamme objet par rapport au miroir.

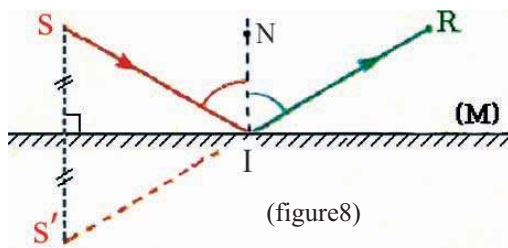
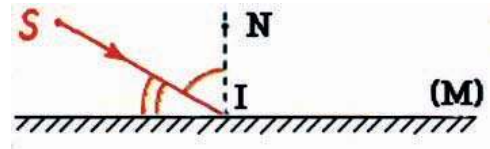
Un objet et son image donnée par un miroir plan sont symétriques par rapport à ce dernier.

### Construire un rayon réfléchi par un miroir plan



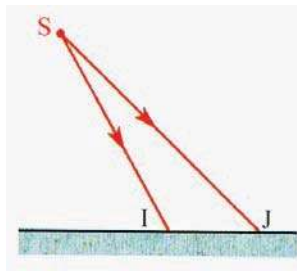
SI est un rayon incident.

- Placer  $S'$ , symétrique de  $S$  par rapport à  $(M)$ .
- Tracer  $S'I$  en pointillé et son prolongement  $IR$  en trait plein (figure 8).

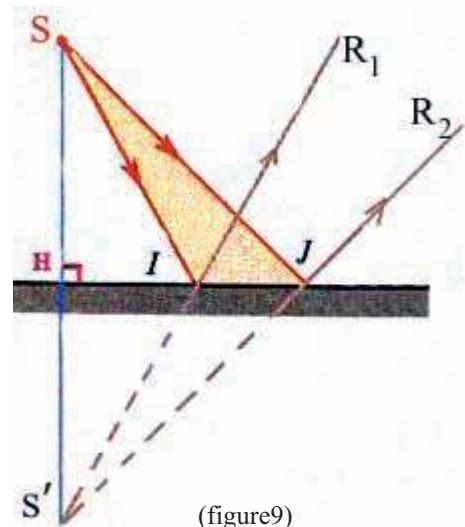


$IR$ , prolongement de  $S'I$ , est le rayon réfléchi.

### Comment tracer un faisceau réfléchi par un miroir ?



- Placer  $S'$ ; symétrique de  $S$  par rapport au miroir ; (figure 9)
  - Tracer la perpendiculaire  $SH$  au miroir et porter  $HS' = HS$ .
  - Tracer  $S'I$  en pointillé et son prolongement  $IR_1$  en trait plein. Le rayon réfléchi  $IR_1$  semble provenir de  $S'$ ; c'est-à-dire que son prolongement passe par  $S'$ ;  $IR_1$  est donc le prolongement de  $S'I$ .
  - Tracer  $S'J$  en pointillé et son prolongement  $JR_2$  en trait plein.
- De même; le rayon réfléchi  $IR_1$  semble provenir de  $S'$  c'est-à-dire que son prolongement passe par  $S'$ ;  $JR_2$  est donc le prolongement de  $S'J$ .



Un faisceau lumineux issu de S et qui frappe le miroir, se réfléchit en un faisceau qui semble provenir de S'. Si ce faisceau pénètre dans l'œil, celui-ci voit en S'un point lumineux qui est, pour lui, l'image S' de S. Cette image S' n'a pas d'existence véritable, elle est seulement visible par l'œil .C'est une **image virtuelle**.



- Réaliser un faisceau convergent en un point S.
- Interposer un miroir plan (figure10).



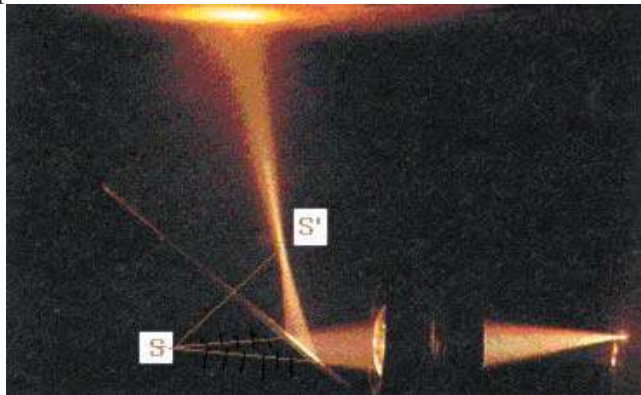
Le faisceau réfléchi converge en un point S' recueilli sur un écran.



Les rayons incidents ne passent pas effectivement par S, mais leurs prolongements se coupent en S :

**S est un point objet virtuel.**

Après réflexion les rayons convergent en S' .S' est l'image de S. Les rayons réfléchis passent effectivement par S':  
**S'est un point image réel.**



(figure10)

## Comment reconnaître si un point objet ou un point image est réel ou virtuel ?

Pour un miroir Plan :

- **le point objet est le point de rencontre des rayons incidents ;**
- **le point image est le point de rencontre des rayons réfléchis.**

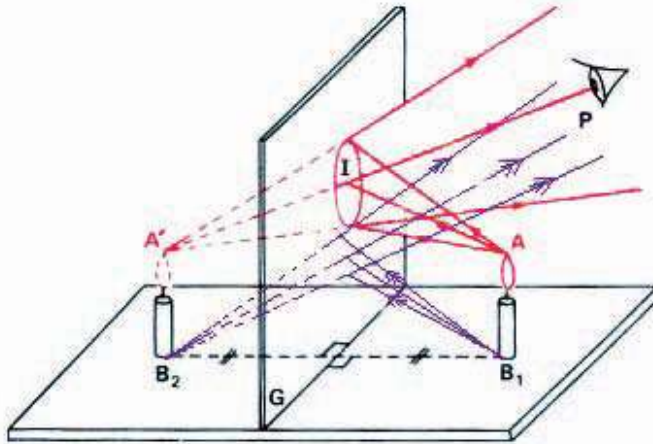
L'œil observe l'image suite à la réception des rayons qui sont issus ou semblent être issus de l'image. Il est donc nécessaire de connaître le trajet réellement suivi par la lumière ou celui qu'elle semble avoir suivi.

On convient de représenter en traits pleins le trajet réel des rayons lumineux et en pointillé leurs prolongements.

<p><b>Le point objet est réel</b> si les rayons incidents se rencontrent effectivement en ce point.</p>	<p><b>Le point objet est virtuel</b> si ce sont les prolongements des rayons incidents qui se coupent en ce point.</p>
<p><b>Le point image est virtuel</b> si ce sont les prolongements des rayons réfléchis qui se coupent en ce point.            Un point image virtuel s'observe en regardant directement dans le miroir.</p>	<p><b>Le point image est réel</b> si les rayons réfléchis se coupent effectivement en ce point.            Un point image réel s'obtient (peut être reçu) sur un écran.</p>

## Image d'objet étendu

Pour construire l'image d'un objet étendu, il suffit de construire les images de deux de ses points qui envoient effectivement des rayons lumineux en direction du miroir (figure 11) .



(figure 11) Expérience des deux bougies  
A chaque point de la flamme de la bougie correspond un point image virtuel

**Image d'un objet réel et celle d'un objet virtuel données par un miroir plan : les quatre cas possibles.**

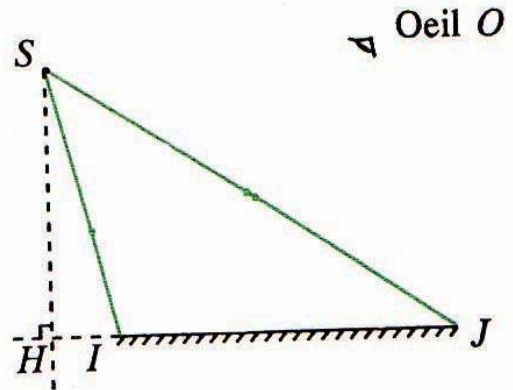
<b>Objet</b> : Point de concours des rayons incidents .	réel	Il est devant la face réfléchissante du miroir.
	virtuel	Il est derrière la face réfléchissante du miroir.
<b>Image</b> : Point de concours des rayons réfléchis.	réelle	Elle est derrière la face réfléchissante du miroir.
	virtuelle	Elle est devant la face réfléchissante du miroir.

# EXERCICE RESOLU

## Enoncé :

On considère une source lumineuse supposée ponctuelle, qui envoie des rayons sur un miroir plan. Un observateur O regarde dans le miroir.

- 1- Construire les rayons réfléchis IR et JR, correspondants aux rayons incidents SI et SJ.
- 2- Les prolongements de IR et JR, se coupent en S<sub>1</sub>. Montrer géométriquement, que S<sub>1</sub> est symétrique de S par rapport au plan du miroir.
- 3- Construire le rayon issu de S pénétrant dans l'oeil O et permettant à l'observateur de voir S dans le miroir.



## Solution :

1- Appliquons les lois de Descartes relatives à la réflexion :

1<sup>ère</sup> loi : SI et IN sont dans le plan de la feuille; IR est dans le plan de la feuille; et il part de I.

2<sup>ème</sup> loi :  $i = r$ ;

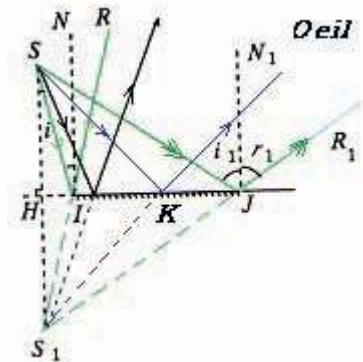
donc  $r = \text{NIR} = 14^\circ$  et  $r_1 = i_1 = \text{N}_1\text{JR}_1 = 56^\circ$ . On obtient ainsi IR et JR<sub>1</sub>.

2. Soit S<sub>1</sub> l'intersection de IR et JR<sub>1</sub>

La droite IS<sub>1</sub> est symétrique de IS par rapport au miroir, la droite JS<sub>1</sub> est symétrique de JS par rapport au miroir. L'intersection S<sub>1</sub> de IS<sub>1</sub> et JS<sub>1</sub> est donc symétrique de l'intersection de IS et JS, par rapport au miroir.

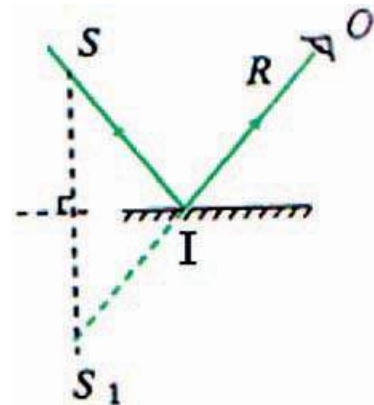
En conséquence, si S est fixe, S<sub>1</sub> est un point fixe et tout rayon issu de S et frappant le miroir se réfléchit en passant par S<sub>1</sub>.

Le point S<sub>1</sub> s'appelle image de l'objet S donnée par le miroir.



3- Le rayon issu de S et entrant dans l'oeil O après réflexion en K sur le miroir passe par S<sub>1</sub>.

Les points S<sub>1</sub>, K et O sont alignés. Joignons donc OS<sub>1</sub> qui coupe le miroir en K ; joignons S et K. KS est le rayon incident et KO est le rayon réfléchi.



Pour construire le rayon réfléchi d'un rayon incident quelconque tombant en un point I d'un miroir plan, on construit le symétrique S<sub>1</sub> d'un point quelconque S du rayon incident ; on trace S<sub>1</sub>I que l'on prolonge.

Le prolongement dans le demi-espace contenant S est le réfléchi cherché IR. S<sub>1</sub>I n'a pas d'existence physique : il n'y a de lumière qu'en SI et IR.

## ***L'ESSENTIEL***

**La réflexion est le changement de direction que subit un rayon lumineux qui est renvoyé dans une direction symétrique de la direction d'incidence par rapport à la normale à la surface réfléchissante au point d'incidence.**

**Lois de Descartes relatives à la réflexion :**

- **le rayon incident et le rayon réfléchi se trouvent dans le même plan (le plan d'incidence)**
- **l'angle d'incidence  $i$  est égal à l'angle de réflexion  $r$ .**

**Un miroir plan donne d'un objet A une image A' symétrique de l'objet par rapport au plan du miroir.**

- **Si un objet A est réel, son image A' donnée par un miroir plan est virtuelle.**
- **Si un objet A est virtuel, son image A' donnée par un miroir plan est réelle.**



<http://www.lgl.lu/LGL/Departements/Physique/simulation2/3e>

<http://www.lgl.lu/LGL/Departements/Physique/simulation2/4e/reflexion>

<http://www.lgl.lu/LGL/Departements/Physique/simulation2/4e/refraction>

<http://www.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/optigeo/mirplan.html>

[www.ac-creteil.fr/physique/0102/chalvet/miroir/miroir.ppt](http://www.ac-creteil.fr/physique/0102/chalvet/miroir/miroir.ppt)

[www.edumedia.fr/a305\\_11-plane-mirror.html](http://www.edumedia.fr/a305_11-plane-mirror.html)

[www.ac-nancy-metz.fr/enseign/physique/Tp-phys/Prem/phys-acad-1S/optique/image-miroirplan.pdf](http://www.ac-nancy-metz.fr/enseign/physique/Tp-phys/Prem/phys-acad-1S/optique/image-miroirplan.pdf)

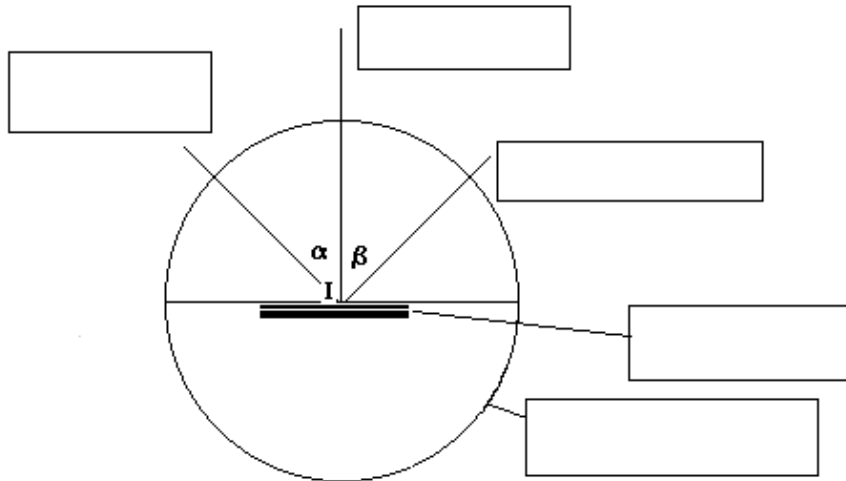
<http://www2.fsg.ulaval.ca/opus/physique534/resumes/12a.shtml>

[\[sciences.fr/francais/web\\\_cite/experime/bricocite/fran/brico\\\_kaleidoscope.htm\]\(http://www.cite-sciences.fr/francais/web\_cite/experime/bricocite/fran/brico\_kaleidoscope.htm\)](http://www.cite-</a></p></div><div data-bbox=)

# EXERCICES EXERCICES

## Est ce que je connais ?

1 Compléter la figure suivante:

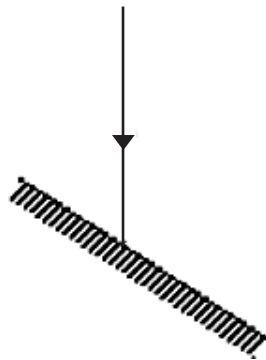


2 Ecrire les lois de la réflexion.

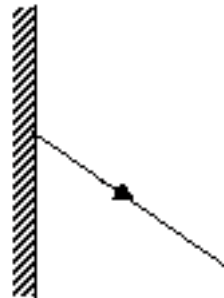
3 Donner le nom de l'expérience qui nous a permis de déterminer la position exacte de l'image par rapport au miroir. Comment sont-ils placés l'objet et son image par rapport au plan du miroir ?

## Est ce que je sais appliquer ?

2 Compléter chacune des figures suivantes par le rayon incident ou réfléchi manquant.



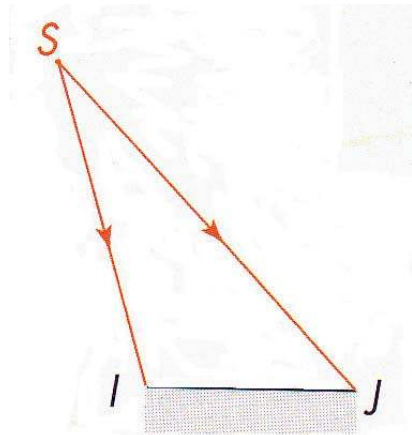
miroir



miroir



- 2 Reproduire ce schéma sur le cahier.  
Tracer le rayon réfléchi IR correspondant à SI.  
Tracer le rayon réfléchi JR' correspondant à SJ.



- 3 Dans l'expérience des deux bougies, tracer la marche d'un rayon lumineux issu de la flamme et pénétrant dans l'oeil de l'observateur.
- 4 Une personne s'observe dans un miroir situé à 50 cm d'elle.  
a- A quelle distance par rapport au miroir se trouve son image ?  
b- De combien doit-elle s'éloigner du miroir pour que son image soit à 140 cm d'elle ?

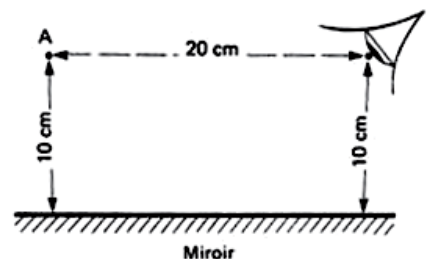
- 5 On considère un miroir plan et deux points A et B.  
Pour un observateur placé en B, la lumière issue de A semble provenir d'un point A'.  
-Déterminer sur le schéma la position du point A'.  
-Tracer la marche des rayons lumineux incident et réfléchi afin que le point B soit sur le rayon réfléchi.



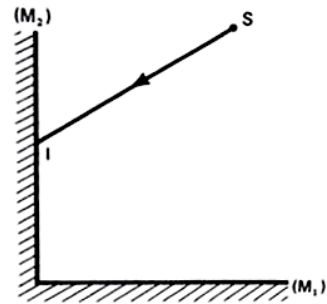
**Est ce que je sais raisonner ?**

- 1 On dispose de deux objets identiques. Expliquer comment on peut s'assurer, à l'aide d'un carreau de fenêtre ou d'une plaque de verre, que l'image que donne un miroir a la même grandeur que l'objet.
- 2 Un enfant de taille 1,5 m se tient debout devant un miroir vertical. L'enfant voit son image qui couvre entièrement la longueur du miroir.  
a- Faire un croquis de l'enfant et de son image derrière le miroir.  
b- A quelle hauteur, par rapport au sol sur lequel repose l'enfant, se trouve le haut du miroir ?  
c- A quelle hauteur se trouve le bas du miroir ?  
d- Déduire la longueur du miroir ?

- 3 Un observateur regarde un objet ponctuel A à travers un miroir comme le montre la figure ci-contre.  
A quelle distance voit-il l'image A' de A ?  
Construire un rayon partant de A qui, après réflexion, aboutit à l'oeil de l'observateur.

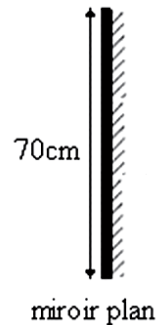


- 4  $(M_1)$  et  $(M_2)$  sont deux miroirs perpendiculaires entre eux et SI un rayon incident. Montrer que le rayon obtenu après réflexions successives sur les deux miroirs est parallèle au rayon incident.



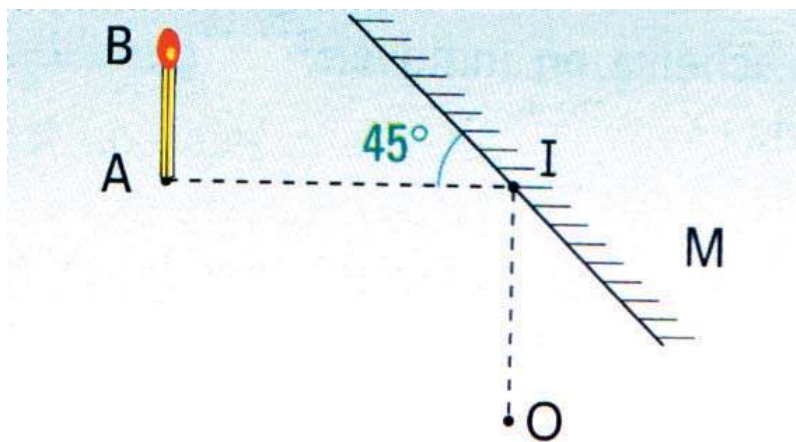
- 5 Un miroir circulaire de diamètre 20 cm est posé sur une table. A 70 cm au-dessus et sur l'axe du miroir se trouve un point lumineux. Calculer le diamètre de la tache lumineuse que l'on peut observer sur le plafond qui est à 1,80 m au-dessus de la table.

- 6 Rym debout devant un miroir de hauteur 70 cm, les yeux se trouvant à 8 cm du sommet de sa tête, se voit juste de la tête aux pieds dans le miroir. Chercher sa taille. Faire un croquis et construire l'image.

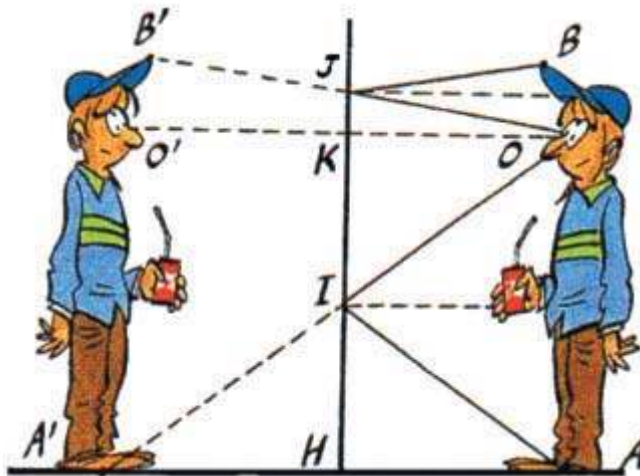


- 7 Citer des objets qui, observés dans un miroir, permettent de montrer que l'objet et son image ne sont pas toujours superposables.

- 8 Un observateur regarde l'image d'une allumette AB de hauteur  $h$  égale à 5 cm à travers un miroir. Les positions de l'allumette AB, du miroir M et de l'oeil O sont indiquées sur le schéma ci-dessous. A, I et O sont dans le même plan. Déterminer la position et la taille de l'image A'B' de AB. Données :  $AI = 15$  cm ;  $IO = 10$  cm.



- 9 Un personnage mesure 1,80 m avec sa casquette. La distance entre ses yeux et le sol est 1,60 m. Il souhaite fixer verticalement un miroir contre un mur afin de s'y voir entièrement.  $A'$  et  $B'$  sont les images respectives de  $A$  et  $B$  dans le miroir( figure ci dessous).
- a.- Montrer que la partie  $IJ$  du miroir est suffisante pour que le personnage se voit entièrement dans le miroir.
- b.- Soit  $K$  le milieu de  $OO'$ . Appliquer la propriété de Thalès dans les triangles  $OIK$  et  $OA'O'$  pour trouver une relation entre  $IK$ ,  $A'O'$ ,  $OK$  et  $OO'$ . En déduire que  $IJ$  mesure 80 cm.
- c- Appliquer la propriété de Thalès dans les triangles  $A'OA$  et  $A'IH$  pour trouver une relation entre  $A'H$ ,  $AA'$ ,  $HI$  et  $AO$ .
- d.- En déduire que  $IH$  mesure 80 cm, donc que le miroir doit être placé à 80 cm du sol.



### Suis je capable de ?

- fabriquer un **kaléidoscope**.
- rechercher le principe de fonctionnement du rétroviseur des automobiles en positions "jour" et "nuit".

## Savoir-plus

### Utilisation des miroirs

Le champ de vision humain est limité. En réfléchissant les rayons venant d'une autre direction, un miroir permet d'étendre ce champ de vision dans d'autres directions (mais il masque une partie du champ de vision direct) ; c'est le principe des rétroviseurs d'automobile.

Un miroir bien placé permet de voir derrière un objet ; par exemple, le coiffeur met un miroir derrière la tête du client pour que celui-ci puisse voir, dans le miroir lui faisant face, la coupe vue de derrière. Les dentistes utilisent un petit miroir au bout d'une tige pour voir l'arrière des dents. Les services de sécurité, police ou douane peuvent inspecter le dessous d'un véhicule, d'un meuble bas ou le dessus d'une armoire avec un système similaire.

Les miroirs évoqués ci-dessus ont pour but de donner une représentation fidèle (ou légèrement déformée mais agrandie) des objets. Mais un miroir peut aussi donner une vision volontairement déformée, par exemple dans les miroirs déformants des attractions de foire.

Les miroirs réfléchissent les rayons de manière symétrique, loi décrite par Descartes au XVIIe siècle. Ainsi, si l'on voit un objet, à partir de l'orientation du miroir (angle que fait sa surface avec l'axe de vision), on peut déterminer la direction dans laquelle se trouve l'objet observé. Ce principe est utilisé dans les sextants pour déterminer la hauteur d'un astre (angle par rapport à l'horizon), et par les géomètres pour déterminer les distances.



Un miroir peut réfléchir un rayon lumineux vers l'endroit d'où il vient, après avoir parcouru une certaine distance. Le temps de trajet de la lumière a ainsi servi à la mesure de la vitesse de la lumière. Cette vitesse étant connue, on peut se servir de cette technique pour déterminer les distances ; par exemple, on a mesuré la distance Terre-Lune à l'aide d'un laser réfléchi par un miroir placé sur la Lune par une mission Apollo.

Archimède, entre 215 et 212 av. J.-C., se serait servi de miroirs concaves pour concentrer les rayons du Soleil et enflammer les voiles des navires romains qui attaquaient Syracuse ("miroir ardent"). Cette propriété de focalisation est utilisée de nos jours dans les télescopes ainsi que pour le four solaire d'Odeillo.

Le Southern African Large Telescope (SALT) est un télescope de grande envergure. Cette merveille de la technologie est située dans le désert du Kalahari. Dans cet endroit les scientifiques peuvent observer les astres sans avoir de problème lié à une ville dans les environs. L'Afrique du sud est aussi un endroit parfait pour observer différentes galaxies telles que les Grands et Petits Nuages de Magellan. Ce sont les plus proches de la Voie lactée. Les astronomes projettent d'observer des millions d'étoiles de ces galaxies afin de mieux les comprendre.

## Chapitre 2

# Réfraction de la lumière



## Contenu du chapitre 2

- ◆ Définition
- ◆ Lois de Descartes
- ◆ Réfraction limite et réflexion totale
- ◆ Applications:
  - Les fibres optiques
  - Dispersion de la lumière blanche par un prisme.

# Réfraction de la lumière

## Je dois être capable :

- ❖ d'appliquer les lois de Descartes relatives à la réfraction au tracé de la marche des rayons lumineux.
- ❖ d'expliquer le transport de la lumière par une fibre optique.
- ❖ d'expliquer la dispersion de la lumière blanche par un prisme.

## Je dois d'abord tester mes acquis :

1-Recopier les phrases suivantes et les compléter par les mots suivants :

*une direction précise/ toutes les directions.*

- Diffuser de la lumière consiste à renvoyer dans..... la lumière reçue.
- Une surface réfléchit la lumière lorsqu'elle renvoie la lumière qu'elle reçoit dans.....

2-Illustrer, à l'aide du tracé des rayons, le phénomène de la réflexion par un miroir plan.

Distinguer entre rayon incident, rayon réfléchi, normale, angle d'incidence et angle de réflexion.

3- Je choisis la bonne réponse :

- L'angle d'incidence *est égal/n'est pas égal* à l'angle de réflexion.
- Le rayon incident, le rayon réfléchi et la normale *sont/ ne sont pas* dans un même plan.

4- Illustrer, à l'aide du tracé des rayons, la formation d'une image dans un miroir plan.

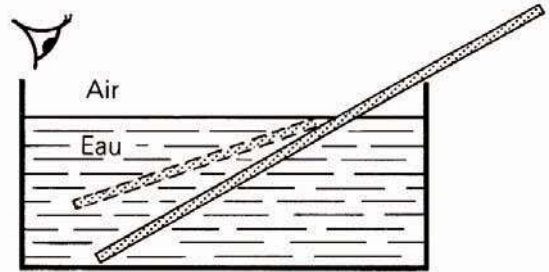
Préciser : position de l'image, grandeur, orientation.

## Je construis mes savoirs :

### 1 Le phénomène de la réfraction de la lumière



Placer un bâton dans un cristalliseur rempli d'eau (figure1).



(figure1) Expérience du bâton brisé



- Le bâton semble brisé.
- On observe une cassure au niveau de la surface de l'eau.
- La partie immergée semble plus proche de la surface de l'eau.



- Mettre une pièce de monnaie au fond d'une tasse vide (figure2).
- Se placer de telle sorte que le rebord de la tasse cache tout juste la pièce de monnaie.
- Rajouter alors de l'eau dans la tasse sans faire bouger la pièce.



(figure2) Expérience des deux tasses



On aperçoit la pièce de monnaie.

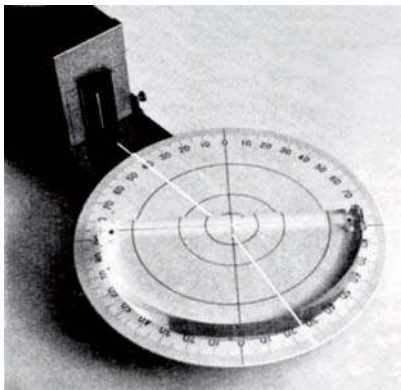


Les observations sont régies par un phénomène optique : **la réfraction**.

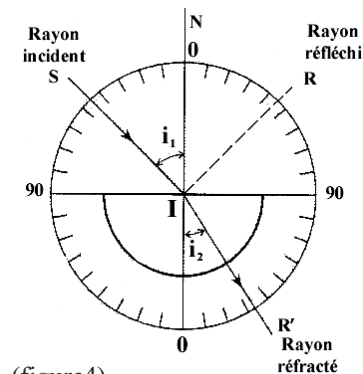
### 2 Le phénomène de la réfraction de la lumière



- Sur un disque horizontal gradué en degrés et pouvant tourner autour d'un axe vertical passant par son centre I, placer un demi disque en plexiglas de manière à ce que sa face plane vienne contenir le segment joignant les graduations ( $90^\circ-90^\circ$ ) du disque. (figures 3 et 4)



(figure3)



(figure4)

- Mettre en service la lanterne munie d'une fente verticale et fine.
- Régler la lanterne de façon à ce que le pinceau lumineux issue de la fente donne une trace visible sur le disque. Cette trace, si elle est très fine, on peut la considérer comme rayon lumineux.

- (SI) est le rayon incident.
- I est le point d'incidence.
- (IR) est le rayon réfracté.
- (IN) est la normale (perpendiculaire) au miroir au point d'incidence I.
- $i_1$  est l'angle d'incidence.
- $i_2$  est l'angle de réfraction.
- (SI) et (IN) forment le plan d'incidence.



Avec le phénomène de réflexion apparaît un phénomène de passage de la lumière dans le deuxième milieu qu'elle rencontre (le plexiglas) avec changement de direction. La trace du rayon traversant le plexiglas apparaît nettement dans le plan du disque.



- Le changement de direction de propagation de la lumière en passant de l'air au plexiglas est le phénomène de réfraction.
- Les trois rayons incident, réfracté et réfléchi sont dans un même plan: le plan d'incidence.



Faire varier l'angle d'incidence  $i_1$  et noter dans un tableau l'angle de réfraction  $i_2$ .

$i_1(^{\circ})$	0	10	20	30	45	60	70	80	90
$i_2(^{\circ})$									

- $i_1$  et  $i_2$  sont-ils liés ? Si oui, la relation est-elle évidente ?
- Tracer la courbe représentative de  $\sin i_1 = f(\sin i_2)$



Le sinus de l'angle d'incidence  $i_1$  est proportionnel au sinus de l'angle de réfraction  $i_2$ .

$$\sin i_1 = n \cdot \sin i_2 \quad \text{ou} \quad \frac{\sin i_1}{\sin i_2} = n$$

$n$  est appelé indice de réfraction du plexiglas par rapport à l'air.

La valeur de  $n$  dépend des milieux transparents traversés :  $n$  est appelé indice de réfraction du milieu 2 (le plexiglas) par rapport au milieu 1 (l'air).

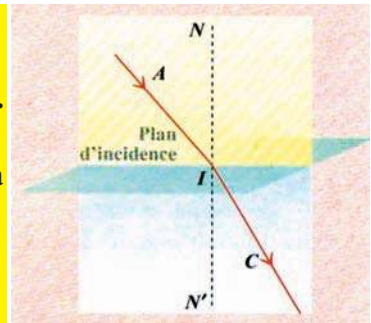
Exemples d'indices de réfraction relatifs à l'air :

$n_{\text{air}} = 1$
$n_{\text{glace}} = 1,31$
$n_{\text{eau}} = 1,33$
$n_{\text{verre, plexiglas}} = 1,50$
$n_{\text{diamant}} = 2,42$

## Lois de Descartes relatives à la réfraction :

- **Première loi : le rayon réfracté est dans le plan d'incidence.**
- **Deuxième loi : Si l'incidence se produit dans l'air, l'angle d'incidence  $i_1$  et l'angle de réfraction  $i_2$  sont liés par la relation :**

$$\sin i_1 = n \cdot \sin i_2$$



**Remarque :** si  $i_1 = 0$ ,  $i_2 = 0$  ; le rayon incident traverse la surface de séparation des deux milieux (air-plexiglas) sans subir de déviation. Il ne se réfracte pas. Tout rayon tombant normalement sur la surface de séparation de deux milieux transparents ne se réfracte pas.

## Comment expliquer l'expérience du bâton brisé ?

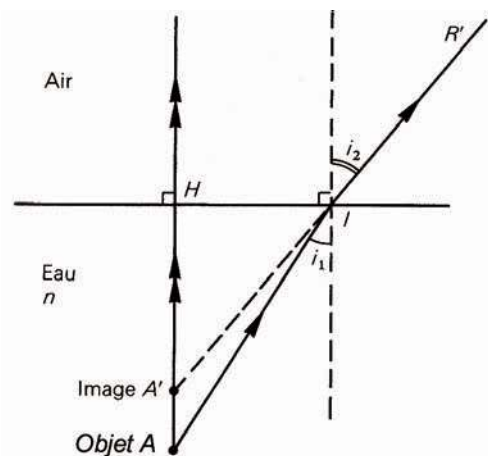
Considérons deux rayons issus de A et étudions leur marche d'après les lois de la réfraction (fig.6) :

-Le rayon AH, perpendiculaire à la surface, la traverse sans déviation.

-Le rayon AI subit une réfraction et, passant de l'eau à l'air, s'écarte de la normale suivant IR'. Il semble provenir de la direction A'I, obtenue en prolongeant le rayon IR'.

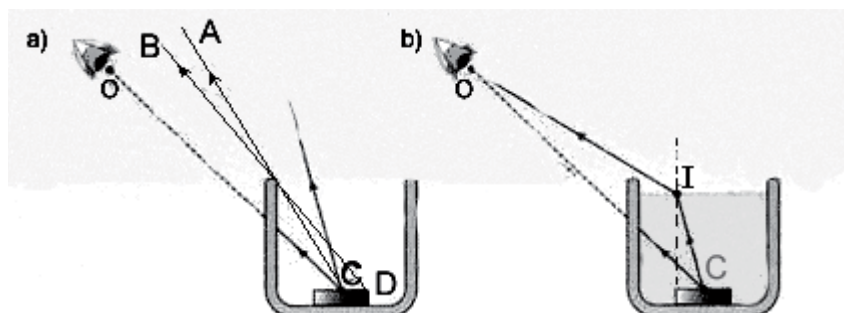
- Le point A', intersection des rayons A'H et A'I, est l'image virtuelle du point A.

AH est la distance réelle entre le point objet et la surface de l'eau; A'H est la distance entre le point image virtuel et la surface de l'eau.



(figure6)

## Comment expliquer l'expérience des deux tasses ?



(figure7)

Si l'oeil (schématisé par O) ne peut voir le centre C de la pièce de monnaie lorsque la tasse est vide, c'est que la droite (CO) rencontre la paroi de la tasse (fig.7-a). Dans l'air, milieu homogène, la lumière se propage en ligne droite : aucun rayon lumineux issu de C ne peut donc atteindre O. Pour toute position au dessous de (CA) l'œil ne voit pas C. De même pour toute position au dessous de (DB) l'œil ne voit pas la pièce de monnaie.

Certains rayons lumineux issus de C atteignent O lorsque la tasse est pleine. Ils sont nécessairement constitués de segments de droite dans l'eau et dans l'air. Ainsi, un trajet tel que CIO est possible (fig.7-b).

Le rayon CI, dirigé vers la surface de l'eau, est appelé rayon incident en I et le rayon.

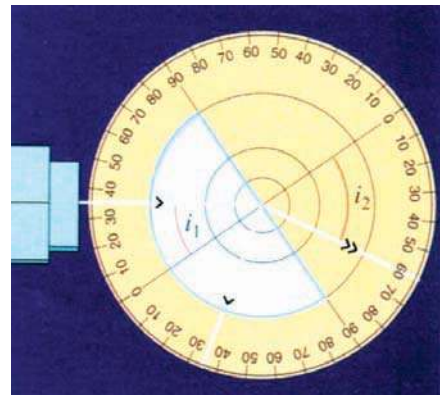
IO rayon réfracté en I : la direction du rayon réfracté est différente de celle du rayon incident.

### 3 Réfraction limite et réflexion totale



- Diriger un pinceau lumineux vers la surface plane de séparation plexiglas-air comme l'indique la figure ci contre (fig.8).

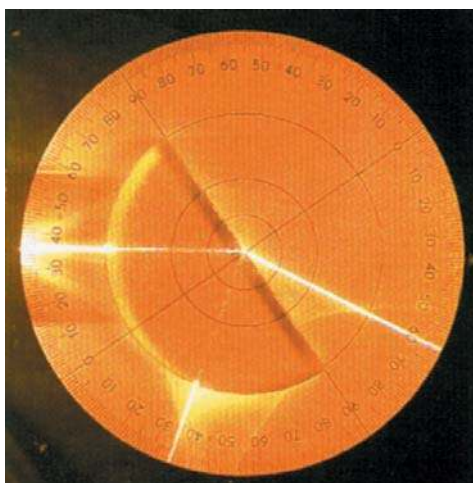
- Soit  $i_1$  l'angle d'incidence du pinceau incident se propageant dans le plexiglas, augmenter progressivement l'angle d'incidence  $i_1$  à partir de l'incidence normale.



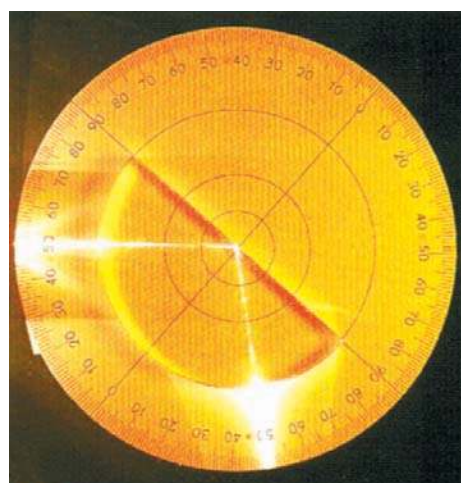
Lorsque l'angle d'incidence  $i_1$  est faible, il existe un pinceau réfléchi et un pinceau réfracté qui s'écarte de la normale (fig.8-a).

- Lorsque l'angle d'incidence atteint une valeur limite  $i_{1 \text{ lim}}$  noté  $\lambda$ , le pinceau réfléchi existe mais le pinceau réfracté est rasant : le pinceau incident est réfracté avec un angle  $i_2 = 90^\circ$ .

- Lorsque l'angle d'incidence  $i_1$  dépasse la valeur limite  $\lambda$ , seul le pinceau réfléchi existe : on dit qu'il y a réflexion totale. (fig.8-b)



(figure 8-a)



(figure 8-b)



- Si la lumière passe de l'air au plexiglas d'indice par rapport à l'air  $n=1,5 > 1$ , la relation entre l'angle d'incidence  $i_1$  et l'angle de réfraction  $i_2$  est  $\sin i_1 = n \sin i_2$ .

- Si la lumière passe du plexiglas dans l'air, la relation entre l'angle d'incidence  $i_1$  et l'angle de réfraction  $i_2$  est  $n \sin i_1 = \sin i_2$ .

- $i_2 > i_1$  le rayon réfracté s'écarte de la normale à la surface de séparation des deux milieux au point d'incidence.
- Pour une valeur limite de  $i_1$  notée  $\lambda$ ,  $i_2$  prend la valeur  $90^\circ$ .  
 $n \sin \lambda = \sin 90^\circ = 1 \quad \sin \lambda = \frac{1}{n} \quad \sin \lambda = \frac{1}{1,5} = 0,667$  ce qui donne pour l'expérience  $\lambda = 42^\circ$  environ.  
 $\lambda$  est un angle limite pour lequel il peut y avoir un rayon réfracté.  
 $\lambda$  est appelé angle de réfraction limite.
- Si  $i_1 > \lambda$  le rayon réfracté n'existe plus. Il n'y a pas de réfraction. Le rayon incident se réfléchit alors totalement. C'est le phénomène de la réflexion totale.

Lorsque le rayon incident se propage dans un milieu où l'indice de réfraction est le plus grand, il y a un angle limite  $\lambda$ , pour lequel il peut y avoir un rayon réfracté. Si l'angle d'incidence est plus grand que l'angle limite  $\lambda$ , il ne se produit plus un phénomène de réfraction (pas de rayon réfracté). Le rayon incident se réfléchit totalement : c'est le phénomène de la réflexion totale qui résulte de la réfraction limite.

#### 4 Applications :

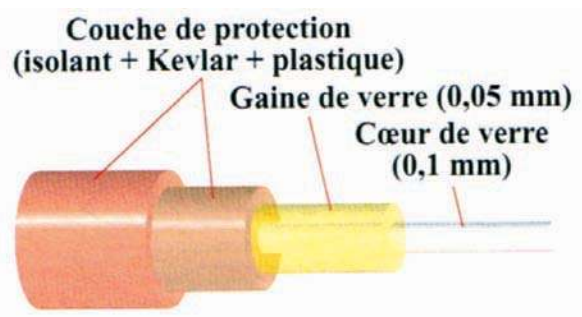
##### \* Les fibres optiques

Les fibres optiques rendent de grands services dans le domaine médical et celui des communications.

##### Quel est le principe de leur fonctionnement ?

Une fibre optique à saut d'indice (fig.9) se compose :

- d'un cœur en verre (d'indice nettement supérieur à celui de l'air) ;
- d'une gaine en verre également, mais d'indice inférieur à celui du cœur;
- d'une gaine externe qui assure la protection mécanique, rigidifie l'ensemble et limite les pertes d'énergie.

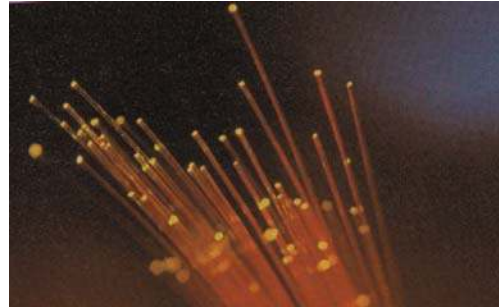
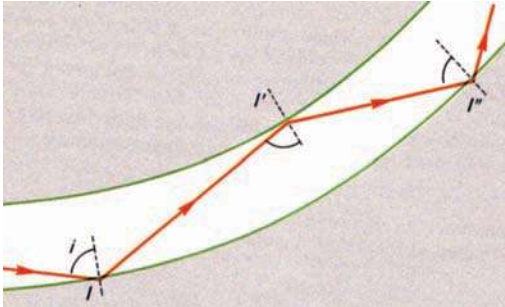


(figure 9) Éclaté de fibre optique

## Mais comment se propage la lumière ?

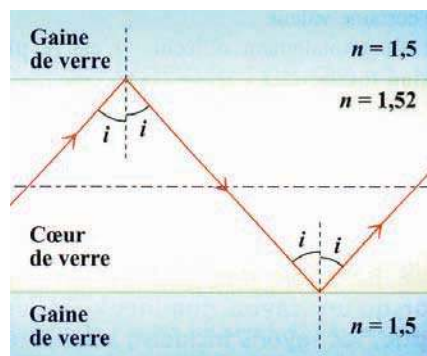
les fibres guident la lumière et ne la laissent s'échapper qu'à leur extrémité.

La lumière (ou le signal) est envoyée dans le cœur. Lorsqu'elle arrive sur la surface de séparation cœur-gaine avec un angle d'incidence  $i$  suffisamment grand, elle subit une réflexion totale. Ce phénomène de réflexion totale se répète tout au long de la fibre.



(figure 10)

La lumière est conduite par une succession de réflexions totales. Elle est guidée par la fibre (elle ne se propage plus en ligne droite !).



(figure 11) Le trajet d'un rayon lumineux dans le cœur de la fibre optique

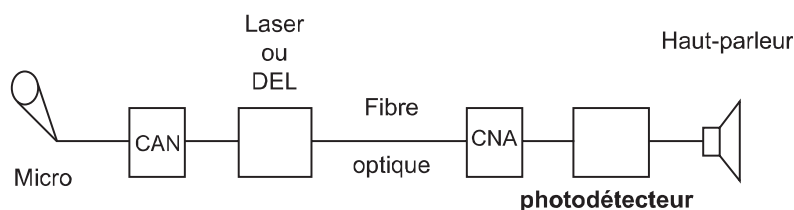
## Quelles sont leurs principales applications ?

### • La transmission des signaux

Lorsqu'on veut transmettre un message sonore à distance, on transforme d'abord le signal sonore en signal électrique (par exemple, avec un microphone).

Le signal électrique d'intensité variable assure la "modulation" d'un faisceau laser. Le faisceau de lumière laser modulé est envoyé par paquets dans le cœur de la fibre. A la sortie, un photo détecteur reçoit les signaux lumineux ; il les convertit en signaux électriques qui peuvent alimenter un haut-parleur pour restituer finalement des signaux sonores. (fig.12)

Une fibre optique permet le passage simultané de plusieurs milliers de signaux.



(figure12) Exemple d'utilisation de fibre optique

CAN convertisseur analogique numérique : composant électronique qui convertit une grandeur analogique en une grandeur numérique.

CNA convertisseur numérique analogique : composant électronique qui convertit une grandeur numérique en une grandeur analogique.

• **L'observation des endroits difficiles d'accès** : les endoscopies en médecine.

L'endoscopie permet l'examen des organes internes (estomac, intestin...) : un câble assure l'éclairage, l'autre câble sert à transmettre l'image.

• La transmission des informations numérisées : la télévision par câble...

### \* La dispersion de la lumière blanche par un prisme



-Réaliser un pinceau cylindrique de lumière rouge. Placer un écran sur le trajet du pinceau et repérer la position de la tache lumineuse obtenue.

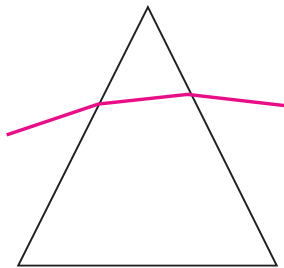
-Intercaler entre la source lumineuse et l'écran un prisme de verre.

-Repérer la déviation du pinceau rouge par le prisme en repérant son impact sur l'écran. (fig.13 a)

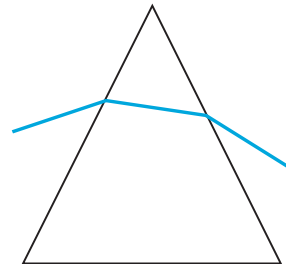


-Reprendre l'expérience en remplaçant la source de lumière rouge par une source de lumière bleue. (fig.13 b)

-Repérer la déviation du pinceau bleu.



(figure 13.a)



(figure 13.b)



La lumière rouge est moins déviée que la lumière bleue.



Avec la lumière rouge :  $\sin i_1 = n_1 \sin i_2$

Avec la lumière bleue :  $\sin i_1 = n_2 \sin i'_2$

$i_2 \neq i'_2$  donc  $n_1 \neq n_2$

L'indice de réfraction du prisme de verre dépend de la couleur de lumière qui le traverse.

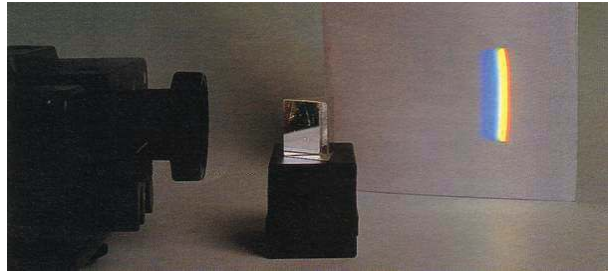
**Variation de l'indice de réfraction du verre (flint) en fonction de la couleur de la lumière réfractée :**

Couleur	bleu	jaune	rouge
Indice n	1,668	1,654	1,640



Interposer un prisme de verre sur le trajet de la lumière blanche issue du projecteur de diapositives, comme indiqué par la figure 14.

- La lumière se trouve déviée de son trajet initial lorsqu'on interpose le prisme.
- Un réglage de la position du prisme conduit à voir une lumière parvenant à l'écran étalée et colorée selon les couleurs de l'arc-en-ciel. (fig.15)



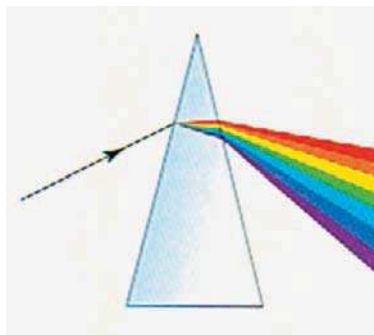
(fig.14) Montage permettant d'observer la dispersion de la lumière blanche par un prisme



(fig.15)

- Ce phénomène est appelé dispersion de la lumière blanche. La figure colorée observée sur l'écran s'appelle spectre de la lumière blanche (fig.15).
- La lumière blanche est un mélange de couleurs allant du rouge au violet.

A la traversée d'un prisme de verre, les lumières sont déviées différemment selon leurs couleurs et peuvent être séparées si elles sont mélangées, ce qui est le cas de la lumière blanche (fig.16).



(fig.16) Par réfraction le prisme sépare les lumières selon leur couleur.

La décomposition ou dispersion de la lumière blanche par un prisme est due au phénomène de réfraction.

L'indice de réfraction du prisme par rapport à l'air varie avec la couleur de la lumière: l'angle de réfraction dépend de la couleur de la lumière ; il augmente en allant du rouge au violet.

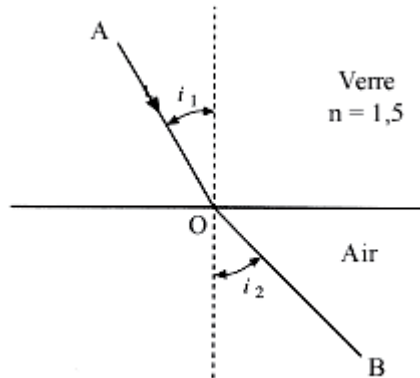
# EXERCICE RESOLU

## Enoncé :

1. Un rayon lumineux passe du verre dans l'air (figure ci-contre).

Comment appelle-t-on ?

- le rayon AO.
- le rayon OB.
- l'angle  $i_1$ .
- l'angle  $i_2$ .



2- L'indice de réfraction du verre est  $n = 1,5$ .

- Quelle est la valeur maximale que peut prendre  $i_2$  ?
- Dans ce cas, calculer la valeur correspondante de  $i_1$ . On l'appellera  $\lambda$ .
- Qu'observe-t-on si  $i_1 > \lambda$  ?
- Citer au moins une application du phénomène observé pour  $i_1 > \lambda$ .

## Solution :

- 1- a) AO est le rayon incident.  
b) OB est le rayon réfracté.  
c)  $i_1$  est l'angle d'incidence.  
d)  $i_2$  est l'angle de réfraction.

2- a) La deuxième loi de Descartes relative à la réfraction s'écrit :

$$n \sin i_1 = \sin i_2$$

b) Au maximum  $\sin i_2 = 1$  donc  $i_{2\max} = 90^\circ$

$$\text{Pour } i_2 = 90^\circ \quad i_1 = \lambda \text{ telle que } n \cdot \sin \lambda = 1 \quad \text{donc} \quad \sin \lambda = \frac{1}{n}$$

$$\text{D'où } \lambda = 41,81^\circ$$

c) Si  $i_1$  devient supérieure à  $\lambda$  il n'y aura pas de phénomène de réfraction : on a une réflexion totale.

d) Parmi les applications de la réflexion totale, citons les fibres optiques utilisées dans le domaine médical et celui des communications.

## L'ESSENTIEL

- La réfraction est le brusque changement de direction que subit un rayon lumineux en passant d'un milieu transparent dans un autre milieu transparent.

- Les lois de DESCARTES pour la réfraction :

**Première loi** : Le rayon réfracté est dans le plan d'incidence.

**Deuxième loi** : Lorsqu'un rayon lumineux est réfracté au niveau du plan séparant l'air d'un autre milieu transparent, les angles  $i_1$  et  $i_2$  qu'il forme avec la normale au point d'incidence au plan de séparation des deux milieux, vérifient la relation :  $\sin i_1 = n \sin i_2$

$n$  est une constante caractéristique du milieu et de la couleur de la lumière qui le traverse ( $n > 1$ ) appelée son indice de réfraction par rapport à l'air.

### Remarques

- o L'indice de réfraction est une grandeur sans unité.
- o Si l'un des angles  $i_1$  ou  $i_2$  est nul, il en est de même de l'autre : un rayon incident normal à la surface séparant les milieux n'est pas dévié.

- Quand un pinceau lumineux se propage de l'air dans un milieu d'indice de réfraction plus grand, il donne toujours lieu à une réfraction. On observe alors un pinceau réfracté et un autre réfléchi.
- Quand un rayon lumineux se propage d'un milieu dans l'air, le rayon ne subit plus de réfraction pour un angle d'incidence supérieur à une certaine valeur. Il est alors totalement réfléchi : c'est le phénomène de réflexion totale.

Les fibres optiques utilisent le phénomène de la réflexion totale: elles peuvent être utilisées pour éclairer comme pour transmettre des images.

La dispersion de la lumière blanche par un prisme est due au phénomène de réfraction.

L'indice de réfraction du prisme par rapport à l'air varie avec la couleur de la lumière : l'angle de réfraction dépend de la couleur de la lumière et de l'angle d'incidence.



<http://www.espace-sciences.org/science/20315-les-autres-rubriques/10081-questions-de-sciences/17197-les-cinq-sens/17198-les-hologrammes/17200-qu-est-ce-que-la-lumiere/>

<http://www.meteo.org/phenomen/arc-ciel.htm>

<http://www.eleves.ens.fr/home/huard/mirages/>

[http://www.lamap.fr/?Page\\_Id=10&Action=2&Element\\_Id=506&DomainScienceType\\_Id=14](http://www.lamap.fr/?Page_Id=10&Action=2&Element_Id=506&DomainScienceType_Id=14)

<http://ophtasurf.free.fr/>

<http://www.cnrs.fr>

# EXERCICES EXERCICES

## Est ce que je connais ?

- 1** Recopier l'affirmation si elle est exacte, la rectifier si elle est fausse.
- o Dans le vide ainsi que dans l'air, la lumière se propage en ligne droite.
  - o Un milieu transparent est caractérisé par son indice de réflexion.
  - o Les rayons réfléchis et réfractés sont dans un même plan : le plan d'incidence.

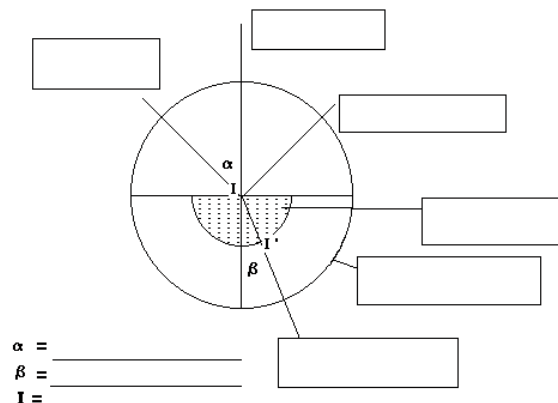
- 2** Recopier et compléter.

- o A la surface de séparation de deux milieux transparents, un rayon lumineux subit une ..... et une .....
- o L'angle d'incidence est l'angle que fait le rayon incident avec la ..... à la surface réfléchissante.
- o L'angle de ..... est égal à l'angle d'incidence.
- o L'angle d'incidence  $i_1$  dans l'air et l'angle de réfraction  $i_2$  dans un milieu transparent d'indice  $n$  sont liés par la relation : .....
- o La réflexion totale peut se produire lorsqu'un rayon lumineux arrive d'un milieu d'indice  $n$  et rencontre l'air tel que l'angle d'incidence est ..... l'angle limite de réfraction.

- 3** Répondre par vrai ou faux en justifiant la réponse.

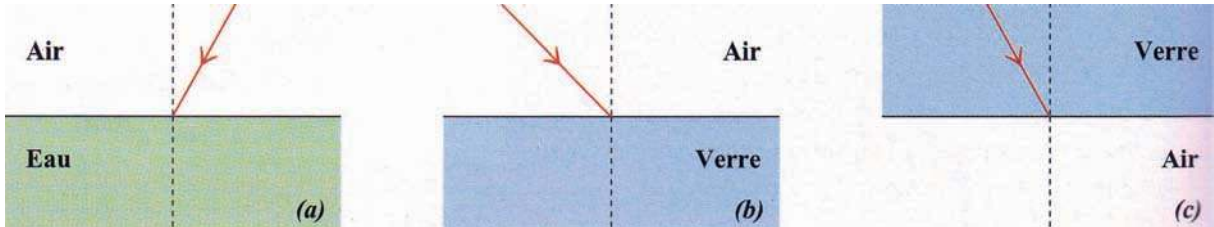
- a- Un faisceau lumineux cylindrique arrivant sous l'incidence  $i$  sur un miroir est réfléchi sous l'angle  $i' = i$ .
- b- A la surface de séparation de deux milieux transparents dont l'un est l'air, un faisceau lumineux subit toujours une réflexion.
- c- Quel que soit son angle d'incidence, tous les rayons lumineux émis par un objet placé au fond d'une piscine contenant de l'eau et qui rencontrent la surface libre de l'eau peuvent émerger à l'air.

- 4** Recopier et compléter.

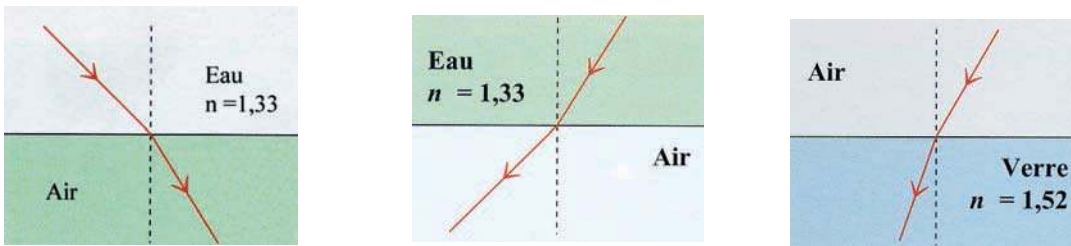


## Est ce que je sais appliquer ?

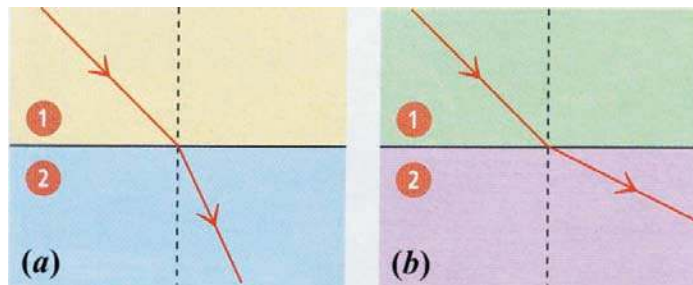
1 Reproduire et tracer approximativement le rayon réfracté.



2 Un seul schéma est incorrect. Lequel et pourquoi ?



3 Décalquer les deux figures (a) et (b). Dans chaque cas :



a- mesurer les angles  $i_1$  et  $i_2$  ;

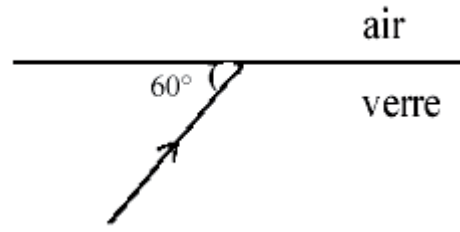
b. calculer le rapport  $\frac{\sin i_1}{\sin i_2}$  ;

c. comparer ce rapport à 1.

- 4** Un rayon lumineux issu d'un point A tombe sur la surface de séparation verre- air.

L'indice relatif de réfraction du verre est  $n = 1,5$ .

- a- Donner la valeur de l'angle d'incidence  $i$ .  
 b- Calculer la valeur de l'angle de réfraction  $r$  dans l'air.  
 c- Construire le rayon réfracté.



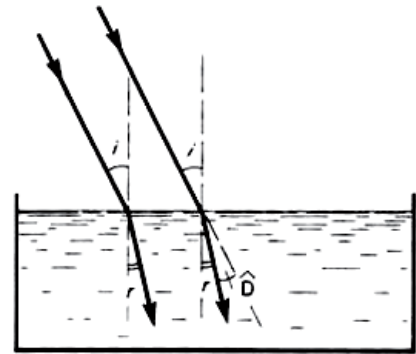
- d- Tracer le rayon AH, incident en H, qui n'est pas dévié à la surface de séparation.  
 Comment nomme-t-on cette incidence ?  
 e- En fait la lumière semble provenir d'un point A' différent de A. Déterminer sur le schéma la position de A'.

- 5** Un pinceau lumineux arrivant sous une incidence  $i=45^\circ$  passe de l'air dans du verre en se rapprochant de la normale de  $15^\circ$ . Quel est l'indice de réfraction du verre ?

- 6** Un pinceau lumineux tombe sur la surface libre d'une eau au repos d'un lac sous l'incidence  $45^\circ$ . Quel est l'angle de réfraction dans l'eau (l'indice de celle-ci est 1,33)?

- 7** On envoie un faisceau de rayons parallèles sur la surface libre de l'eau contenue dans une cuve (figure ci-contre).

- a- Sachant que l'angle d'incidence  $i=30^\circ$ , calculer l'angle de réfraction  $r$ . L'indice de réfraction de l'eau est  $n = 1,33$ .  
 b- Calculer la déviation  $D$  subie par la lumière en traversant la surface libre de l'eau.



- 8** On rappelle la formule de Descartes :  $\sin i_1 = n \sin i_2$   
 où  $n$  est l'indice d'un milieu transparent et homogène.  
 $i_1$  et  $i_2$  les angles définis par des rayons avec la normale à la surface de séparation des deux milieux au point d'incidence.

1- Pour un rayon se propageant dans l'air :

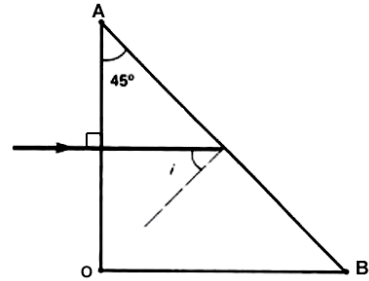
- a- calculer l'angle de réfraction qu'il subit à la rencontre, sous une incidence de  $60^\circ$ , d'un milieu d'indice  $n=1,45$ . Construire le rayon incident SI et le rayon réfracté IR.  
 b- dans le cas d'une incidente rasante ( $i_1 = 90^\circ$ ), calculer l'angle de réfraction  $\lambda$ .  
 Dessiner dans ce cas les rayons incident et réfracté.

2- On considère maintenant un rayon passant du milieu ou ( $n = 1,45$ ) à l'air.

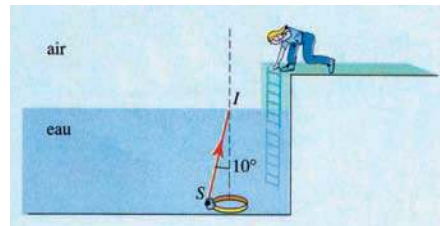
Que devient le rayon réfracté si l'angle d'incidence est supérieur à l'angle  $\lambda$  précédemment calculé ? Faire le dessin correspondant.

## Est ce que je sais raisonner ?

**1** Quelle doit être la valeur minimale de l'indice de réfraction d'un prisme rectangle isocèle (figure ci contre) pour qu'un rayon arrivant normalement à la face AO, subisse la réflexion totale sur la face AB? Le prisme est dans l'air.



**2** Le fond d'un aquarium est éclairé par une source lumineuse S qui émet un cône de lumière de demi-angle au sommet  $\alpha = 60^\circ$ . L'aquarium est rempli d'eau à une hauteur  $h = 40$  cm. L'indice de réfraction de l'eau est  $n = 1,33$ . Décrire le phénomène que va subir le faisceau issu de S lorsqu'il rencontre la surface de séparation air-eau. Faire un schéma.



**3** Houda cherche des yeux la bague, assimilée au point S, qu'elle a laissé tomber dans la piscine. La source lumineuse est la bague qui envoie des rayons lumineux dans toutes les directions de l'espace.

- Reproduire le schéma précédent et tracer le rayon SH, incident en H sur la surface de l'eau, qui n'est pas dévié en passant de l'eau dans l'air.
- Calculer la valeur de l'angle de réfraction pour un angle d'incidence de valeur  $i = 10^\circ$ . L'indice de réfraction de l'eau vaut  $n = 1,33$ .
- Compléter le schéma en représentant le rayon réfracté au point I (On ne représentera pas les angles à leurs vraies valeurs, mais on respectera le sens dans lequel la lumière est déviée.)
- Les rayons SI et SH délimitent un faisceau lumineux incident. Colorier le faisceau lumineux qui en est issu après traversée de la surface de l'eau.
- Pour Houda, ce faisceau semble provenir du point S', l'intersection des prolongements des rayons réfractés. Elle ne voit donc pas sa bague là où elle est réellement. La voit-elle plus près ou plus loin d'elle qu'en réalité ?

**4** On fait arriver un mince faisceau de lumière sur la face plane d'un demi-cylindre de plexiglas sous l'incidence  $i = 75^\circ$ .

- Calculer l'angle de réfraction sachant que l'indice du plexiglas pour les couleurs jaunes est  $n_1 = 1,485$ .
- Tracer la marche du faisceau à travers le demi-cylindre.
- On fait maintenant arriver sur le demi-cylindre, dans les mêmes conditions ( $i = 75^\circ$ ), un faisceau de lumière blanche. On donne l'indice du plexiglas pour les couleurs rouges et bleues :  $n_R = 1,470$  et  $n_B = 1,500$ .

Tracer sur le dessin précédent la marche des rayons lumineux associés au rouge et au bleu. Le demi-cylindre provoque-t-il la dispersion de la lumière blanche?

## Suis je capable de ?

- décrire une situation de la vie quotidienne où on peut observer le phénomène de dispersion de la lumière blanche.
- réaliser une imitation de l'arc-en-ciel.

# Activité Documentaire

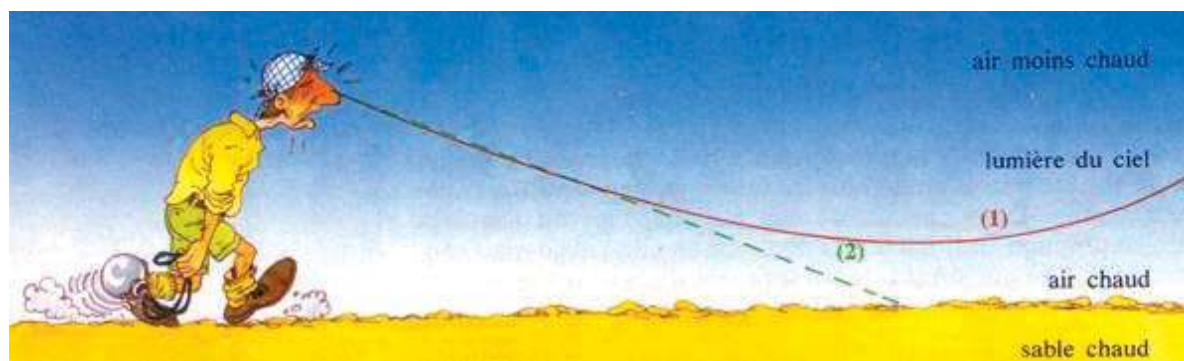
## Les mirages

Nous savons que la lumière se propage en ligne droite dans un milieu homogène. Mais il n'en est plus ainsi lorsque le milieu devient hétérogène, c'est-à-dire lorsque ses propriétés diffèrent d'un point à un autre. On explique ainsi la formation des mirages.

L'air n'a pas une température  $T$  uniforme et son indice  $n$  varie avec l'altitude.

$T$  diminue avec l'altitude,  $n$  fait l'inverse (Si  $T_1 > T_2$   $n_1 < n_2$ )

On considère l'air dans le désert comme une succession de couches d'air d'indices différents.



Le sol qui absorbe les rayons du Soleil devient très chaud et réchauffe l'air autour de lui. La température de l'air n'est donc pas partout la même : elle est plus élevée près du sol. La lumière du ciel parvient alors à une personne suivant une ligne courbe (1). Cette personne croit que la lumière provient du sol, en ligne droite (2). Elle voit donc, devant elle, en direction du sol, une étendue bleue, image du ciel qu'elle peut confondre avec une nappe d'eau. Ce phénomène, qui porte le nom de mirage, s'observe par temps chaud; en particulier, il peut se produire dans le désert qui comporte de grandes surfaces de sable chaud. Il a causé ainsi de désagréables surprises aux voyageurs assoiffés cherchant un point d'eau !



Les mirages existent aussi dans les régions polaires. Dans ce cas, le sol étant plus froid que l'atmosphère, les rayons s'incurvent dans l'autre sens.

### Questions :

1-Qu'est ce qu'un mirage ?

2-Quelle est la différence entre un mirage inférieur et un mirage supérieur ?

# Savoir Plus

## Les fibres optiques

La canalisation de la lumière dans une tige de verre s'est, depuis quelques années, beaucoup développée. De nombreux secteurs industriels ont connus leur essor grâce à la fabrication des fibres optiques.

Les fibres optiques sont constituées par un coeur en verre très réfringent, enrobé dans un verre d'indice plus faible pour permettre la réflexion totale de la lumière sur la surface de séparation des deux verres, et cela, que la fibre soit rectiligne ou courbée.

Le verre du " coeur " doit être le plus dur possible. Il est obtenu après traitements chimiques adéquats, à partir du quartz, dont la forme la plus pure, le cristal de roche, se trouve tout particulièrement au Brésil, à Madagascar et dans les sables extra-silicieux des régions de Nemours et de Fontainebleau. Une des méthodes industrielles pour fabriquer les fibres consiste à produire d'abord des lingots de verre de 6,5 kg. Ensuite, le lingot est étiré en plusieurs longues baguettes de 10 mm de diamètre environ. Finalement, ces baguettes sont étirées en fibres. Un lingot unique peut fournir 90 km de fibres de 0,2 mm de diamètre et on peut obtenir des fibres allant jusqu'à 5 km de longueur.

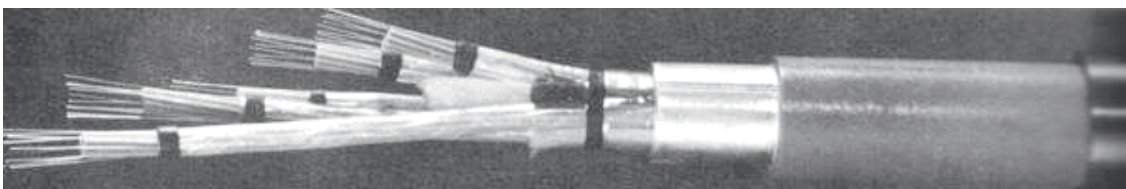
Par d'autres méthodes, on peut fabriquer des fibres encore plus minces allant jusqu'à  $3 \cdot 10^{-9}$  m. Les fibres optiques ont de multiples utilisations :

- Dans le domaine médical, le fibroscope permet d'éclairer l'estomac du patient sans l'opérer.
- En informatique, les fibres optiques servent de tête de lecture de cartes perforées ou marquées; elles sont aussi utilisées pour le tri postal, l'éclairage de la planche de bord des avions et de certaines voitures.
- Dans l'industrie, les fibres optiques sont utilisées pour de nombreux contrôles, commandes, transmission de données ou transferts d'énergie lumineuse.

L'application la plus connue, à l'heure actuelle, concerne les télécommunications. Lorsqu'on utilise un téléphone, on parle dans un microphone qui transforme les vibrations de la voix en impulsions électriques; celles-ci sont transmises, par un câble électrique, à un autre téléphone qui les reconvertit en son. La capacité des câbles téléphoniques est limitée : un double fil de cuivre ne peut transmettre que 30 conversations simultanées.

Les fibres optiques constituent un immense progrès car chaque câble est composé de plusieurs milliers de fibres pouvant chacune laisser passer 1920 appels en même temps. La voix, au lieu d'être transformée en impulsions électriques, elle est convertie en un signal optique dont la source est un laser. A l'autre extrémité du câble, le signal optique est transformé en son.

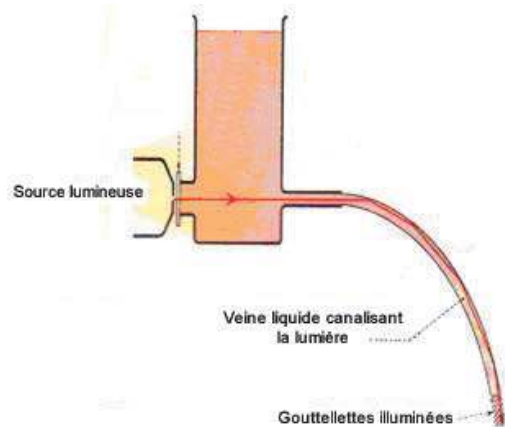
Les câbles à fibres optiques transmettent aussi les ondes de télévision et les communications entre ordinateurs. Bien que ces câbles soient encore coûteux, il est probable que bientôt chaque foyer sera relié à un réseau de câbles optiques desservant à la fois le téléphone, la radio et la télévision et qui permettra le relevé à distance des compteurs de gaz et d'électricité.



# Comment ça marche ?

## La fontaine lumineuse

A l'origine, c'est une constatation que fit en 1841 le physicien et ingénieur suisse Daniel Colladon. Il s'aperçut que, pour rendre lumineuse une veine liquide sortant, en retombée parabolique, d'une ouverture au bas d'un réservoir, il suffisait d'illuminer celle-ci à travers l'eau par un faisceau convergent de rayons lumineux obtenu à l'aide d'une lentille convenablement disposée. La lumière ainsi projetée se trouve conduite le long du jet d'eau incurvé ; à l'intérieur de celui-ci, les rayons lumineux subissent une série de réflexions totales. Ils finissent par s'en échapper lorsque des gouttes se détachent et que le jet se disperse, d'où les brillants effets produits.



Les expositions universelles furent décorées, la nuit, par de magnifiques fontaines lumineuses.

Le principe des fontaines lumineuses est utilisé au bénéfice des examens médicaux pratiqués au moyen d'endoscopes. Ces instruments servent à éclairer et à rendre visible l'intérieur d'une cavité du corps humain. Ce furent d'abord des tubes portant à leur extrémité une petite ampoule électrique permettant l'observation grâce à un jeu de lentilles. Ensuite, on a pu construire des endoscopes constitués de faisceaux de fines fibres de silice qui, à la façon du jet d'eau, guident la lumière qu'on leur envoie et celle qui revient de chaque point observé (il faut une fibre par point). La source de lumière, étant externe, peut être aussi puissante qu'on le désire, sans aucun risque pour le patient. L'instrument permet la photographie et la cinématographie endoscopiques.

A partir du nouvel endoscope conçu et mis au point par lui à l'Institut d'optique, l'ingénieur Jacques Vulmière a été conduit à construire un maquetoscope qui permet de donner d'une maquette la vision même qu'aurait un spectateur lilliputien (très petit) qui se déplacerait sur le sol de la maquette, explorant les minuscules volumes bâtis, afin d'en apprécier les proportions, les perspectives, les éclairages... Un instrument précieux pour les urbanistes, les architectes paysagistes, les décorateurs.



# Lecture

## De la réfraction à la dispersion *Deux expériences de Newton*

Isaac Newton (1642-1727), mathématicien, physicien, astronome et philosophe anglais, qui mit en évidence, en 1669, la dé-composition de la lumière blanche en lumières monochromatiques. Sa théorie heurtait les croyances scientifiques de ses contemporains. On admettait encore les idées d'Aristote selon qui les couleurs étaient un mélange de lumière et d'obscurité, de Képler pour qui la lumière était ternie par les différents matériaux qu'elle traverse, ou de Hooke qui l'estimait constituée de deux couleurs fondamentales, le bleu et le rouge.

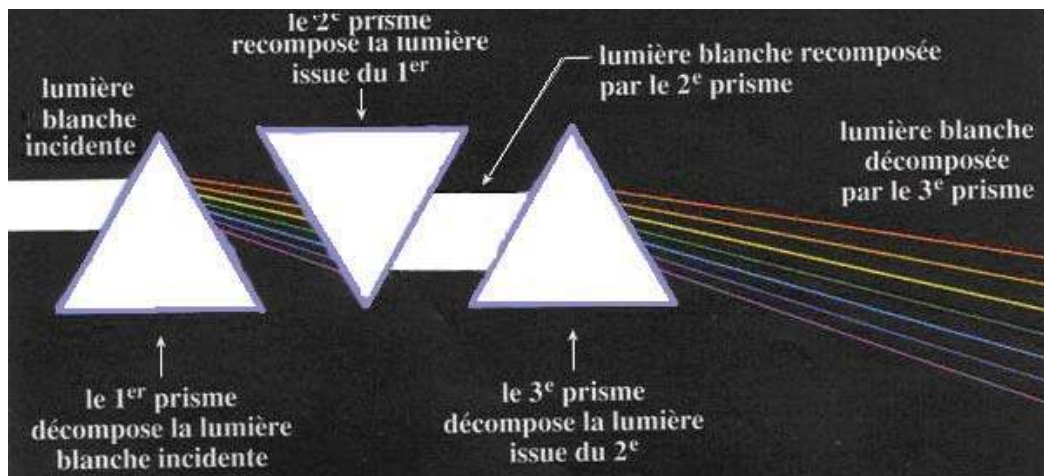
(D'après, Georges Lochak, Revue du Palais de la Découverte, n° 240, 1996.)



*Isaac Newton réalisant une expérience avec un prisme.*

Dans l'expérience schématisée ci-dessous, le premier prisme décompose la lumière blanche, le second la recompose, tandis que le troisième décompose la lumière recomposée pour montrer qu'elle est bien identique à la lumière incidente.

Chaque tracé coloré schématise un faisceau coloré parallèle de même couleur.



*Décomposition et recombinaison de la lumière blanche.*

## **Ibn Al-Haytham Al Hassan**

Physicien, mathématicien et philosophe 965-1039

Ibn Al-Haytham, connu par l'Occident médiéval sous le nom d'Alhazen - dérivé de son prénom al Hassan - fut sans doute l'un des plus grands physiciens de l'Islam.

Les domaines où il exerça ses talents furent les mathématiques et l'optique (son œuvre traduite en " *opticae thesaurus* " sera l'ouvrage de base de toute la physique médiévale occidentale). Comme nombre de ses collègues arabes du Moyen-âge, il a été le promoteur d'une véritable démarche scientifique - assez différente de celles des " savants " grecs - faite d'expérimentation rigoureuse et de traduction des phénomènes sous forme de lois mathématiques.

Il reprit les travaux des savants de l'Antiquité, d'Euclide à Ptolémée, pour lesquels la notion de lumière est étroitement liée à la notion de vision : la lumière n'était pas un sujet d'études en soi mais plutôt considérée comme le vecteur de l'image d'un objet jusqu'à notre œil, la principale question étant de savoir si l'œil a un rôle passif dans ce processus ou s'il envoie une sorte de fluide pour " interroger " l'objet. Par ses études du mécanisme de la vision, Ibn Al-Haytham montra que l'œil était un instrument d'optique !



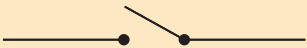


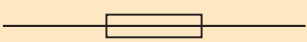
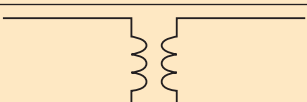



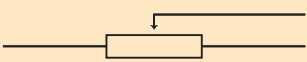
Il rationalisa les lois de la réflexion de la lumière sur une surface (comme celle d'un miroir), déjà énoncées par Ptolémée. Il confirma aussi la propagation rectiligne de la lumière et pressentit déjà qu'elle devait avoir une vitesse considérable mais finie !

Il étudia également le phénomène de réfraction, c'est à dire la déviation d'un rayon lumineux quand il passe d'un milieu à un autre, par exemple de l'air à l'eau. Mais heureusement pour la notoriété de Descartes et ses fameuses formules qui trônent dans nos manuels, il ne put élaborer la loi qui permet de calculer l'angle de réfraction. On lui doit de nombreux dispositifs optiques (lentilles, miroirs sphériques et paraboliques) et aussi la fameuse camera obscura (chambre noire des photographes) : la lumière passait à travers un petit trou dans un mur et on y observait une image, projetée sur le mur opposé.

Vint donc le tour de Descartes, puis Newton, qui démontèrent les mécanismes de réfraction des rayons lumineux, étudièrent la décomposition de la lumière blanche (plus rien de magique alors dans un arc-en-ciel ). ...

# SYMBOLES ÉLECTRIQUES

SYMBOLS ÉLECTRIQUES

	<b>Générateur de courant continu</b>
	<b>Générateur de courant alternatif</b>
	<b>Interrupteur</b>
	<b>Lampe</b>
	<b>Cuve à électrolyse</b>
	<b>Fusible</b>
	<b>Transformateur</b>
	<b>Ampéremètre</b>
	<b>Voltmètre</b>
	<b>Lampe témoin</b>
	<b>Rhéostat</b>

## UNITÉS FONDAMENTALES

Grandeur physique	Longeur	Masse	Temps	Intensité du courant électrique	Température	Quantité de matière
Unité	mètre	kilogramme	seconde	ampère	kelvin	mole
Symbole	m	kg	s	A	K	mol

## UNITÉS DÉRIVÉES

Grandeur physique	Force	Pression	Aire	Volume	Masse volumique	Tension	Charge électrique	Résistance	Fréquence	Puissance	Énergie
Unité	newton	pascal	mètre carré	mètre cube	kilogramme par mètre cube	volt	coulomb	ohm	hertz	watt	joule
Symbole	N	Pa	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	kg·m <sup>-3</sup>	V	C	Ω	Hz	W	J

## UNITÉS USUELLES HORS SYSTÈME INTERNATIONAL

Grandeur physique	Masse	Volume	Pression	Énergie électrique	Température
Unité	tonne	litre	bar	kilowattheure	degré celsius
Symbole	t	L	bar	kWh	°C
Equivalence en unité S.I	1 t = 10 <sup>3</sup> kg	1 L = 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>	1 bar = 10 <sup>5</sup> Pa	1 kWh = 3600·10 <sup>3</sup> J	0°C = 273 K ; 100°C = 373 K

## MULTIPLÉS ET SOUS - MULTIPLÉS

Préfixe	nano	micro	milli	centi	déci	Unité	déca	hecto	kilo
Symbole	n	μ	m	c	d		da	h	k
Coefficient multiplicateur	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-1</sup>		10	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>