

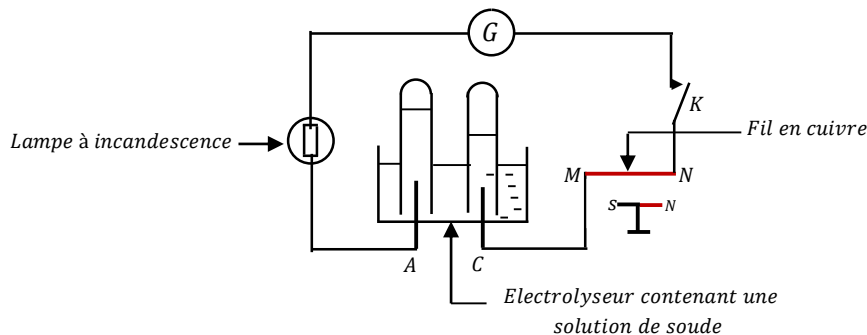
INTENSITE DU COURANT ELECTRIQUE

• Objectifs pédagogiques

- Définir le courant électrique continu.
- Enoncer les effets du courant électrique.
- Mesurer le courant électrique avec précision.
- Enoncer les lois des courants.

I- Le courant électrique continu

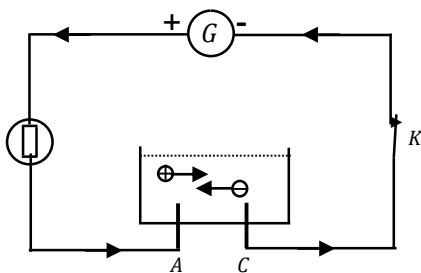
1- Les effets du courant électrique



Lorsqu'on ferme l'interrupteur K, on observe simultanément :

- **un effet thermique** : incandescence du filament de la lampe,
- **un effet chimique** : dégagement gazeux aux électrodes,
- **un effet magnétique** : rotation de l'aiguille aimantée.

2- Nature et sens du courant électrique



Le courant électrique est dû à la circulation des **Porteurs de charges** :

- Dans **un conducteur métallique**, ce sont les **électrons libres** qui assurent la conduction.
- Dans **un électrolyte**, le courant électrique est dû **au déplacement simultané des cations et des anions**.

△ Par convention, dans un circuit électrique, le courant sort par la **borne +** du générateur et entre par sa **borne -**

II- Intensité du courant électrique

1- Définition de l'intensité du courant électrique

L'intensité I d'un courant électrique continu est le rapport de la valeur absolue de la quantité d'électricité Q qui traverse la surface S du conducteur par le durée t de passage.

$$I = \frac{|Q|}{t} = D \cdot |q|$$

Q : quantité d'électricité ayant traversée la section S en Coulomb (C)

t : Durée de passage du courant

I : Intensité du courant en Ampère (A)

q : quantité d'électricité portée par un porteur de charge

△ Le débit D est le nombre de porteurs de charges qui traverse une section S du conducteur par seconde.

qui traverse la surface S du conducteur par le durée t de passage.

$$D = \frac{n}{t}$$

$$Q = n \cdot |q|$$

Q : quantité d'électricité ayant traversée la section S en Coulomb (C)

q : quantité d'électricité portée par un porteur de charge

n : nombre de porteurs de charge

t : Durée de passage du courant

2. Mesure de l'intensité du courant électrique

L'intensité du courant se mesure avec un ampèremètre ou un multimètre numérique réglé en ampèremètre. Il est toujours branché en série dans un circuit et a pour symbole :



a. Calibre d'un ampèremètre

Le **calibre** est l'intensité maximale que l'appareil peut mesurer dans les conditions d'utilisations.

Le calibre le mieux adapté pour une mesure est celui dont la valeur est immédiatement supérieure à l'intensité qu'on veut mesurer.

Attention : si la valeur est supérieure au calibre utilisé, l'ampèremètre risque d'être endommagé.

Exemple

On désire mesurer une intensité $I = 10\text{mA}$ avec un ampèremètre possédant les calibres suivants : 5mA, 9mA, 11mA et 15mA. Quel calibre faut-il choisir ?

Réponse : Calibre 11mA.

b. Mesure avec un ampèremètre à aiguille

L'intensité du courant mesurée par un ampèremètre à aiguille est donnée par la formule suivante :

$$I = \frac{C \cdot L}{N} = K L$$

C : calibre ; N : nombre total de division ; L : Lecture ou le nombre devant lequel se trouve l'aiguille ; K : sensibilité de l'appareil

c. Précision sur la mesure

➤ Incertitude absolue : $\Delta I = \frac{CI \cdot C}{100}$ CI : c'est la classe ou la tolérance de l'appareil,

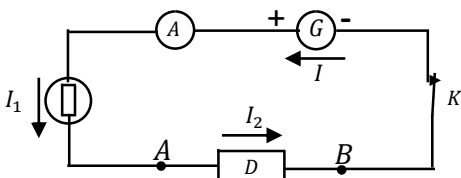
ΔI est en unité du calibre C.

➤ L'encadrement de l'intensité est donné par : $I_{\text{mesurée}} - \Delta I \leq I \leq I_{\text{mesurée}} + \Delta I$

➤ L'incertitude relative ou précision : $\frac{\Delta I}{I} = \frac{CI \cdot C}{100I}$

III- Propriétés des courants électriques

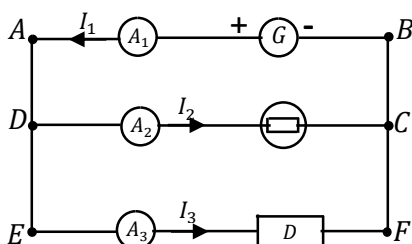
1- Circuit en série : unicité du courant



$$I = I_1 = I_2$$

L'intensité du courant est la même en tout point d'une même branche d'un circuit.

2- Circuit en dérivation : Loi des nœuds.

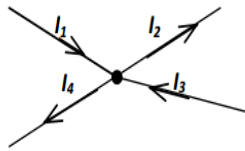


On appelle nœud d'un circuit un point du circuit commun à plus de deux fils de connections. C'est le cas des point C et D.

■ La somme des intensités des courants arrivant à un nœud est égale à la somme des intensités des courants partant du ce nœud.

$$I_1 = I_2 + I_3$$

Exemple



$$I_1 + I_3 = I_2 + I_4$$

$$\sum I_{\text{arrivant}} = \sum I_{\text{partant}}$$

Application 1

Un fil conducteur métallique est parcouru par un courant d'intensité $I = 0,2\text{A}$ pendant une durée $t = 5\text{min}$.

- 1- Calculer la quantité d'électricité Q qui a traversé le conducteur.
- 2- Calculer le nombre d'électrons ayant traversé chaque section du conducteur pendant ce temps.

Solution

- 1- Calcul de la quantité d'électricité Q qui a traversé le conducteur.

$$I = \frac{|Q|}{t} \Rightarrow |Q| = I \times t \quad \text{donc} \quad Q = -I \times t \quad \text{comme les porteurs de charge sont les électrons.}$$

AN : $Q = -0,2 \times 5 \times 60 \quad Q = 60 \text{ C}$

- 2- Calcul du nombre d'électrons ayant traversé chaque section du conducteur pendant ce temps.

$$Q = -N \times e \Rightarrow N = -\frac{Q}{e} \quad \text{AN : } N = -\frac{-60}{1,6 \times 10^{-19}} \quad N = 3,75 \times 10^{20} \text{ électrons}$$

Application 2

Un fil conducteur comporte n porteurs de charge (électrons) par unité de volume. Soit S la section du fil.

- 1- Exprimer l'intensité du courant électrique circulant sur ce fil en fonction de la vitesse V des porteurs de charge.
- 2- Calculer cette vitesse V pour une intensité $I = 1\text{A}$ puis $I = 1\text{mA}$. On donne $S = 1\text{mm}^2$ et $n = 6,25 \times 10^{26}/\text{m}^3$

Solution

- 1- Expression de l'intensité du courant

$$I = \frac{|Q|}{t} \quad \text{comme} \quad |Q| = Ne \quad \text{et} \quad N = nSL \Rightarrow |Q| = nSLe \quad \text{alors} \quad I = \frac{nSLe}{t}$$

$$\frac{L}{t} = V \Rightarrow I = neVS$$

- 2- Calcul de la vitesse V des électrons.

$$I = neVS \Rightarrow V = \frac{I}{nSe}$$

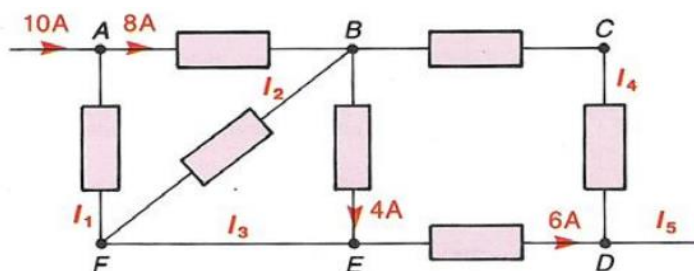
AN :

- Pour $I = 1\text{A}$ on a : $V = \frac{1}{6,25 \times 10^{26} \times 1,6 \times 10^{-25}} \quad V = 1,6 \times 10^{-2} \text{A} = 16\text{mA}$

- Pour $I = 1\text{mA}$ on a : $V = \frac{0,001}{6,25 \times 10^{26} \times 1,6 \times 10^{-25}} \quad V = 16 \times 10^{-6} \text{A} = 16 \mu\text{A}$

Application 3

Déterminer les sens et les intensités de courants dans les autres branches.



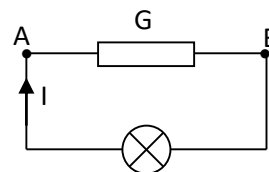
Réponses : $I_1 = 2\text{A}$; $I_2 = 0$; $I_3 = 2\text{A}$; $I_4 = 4\text{A}$; $I_5 = 10\text{A}$.

EXERCICES SUR LE COURANT ELECTRIQUE

EXERCICE 1

Les questions sont indépendantes.

- 1) Quelle est la quantité d'électricité portée par un électron ?
- 2) Quel est le nom de l'ion ayant un déficit d'électron ? Quel est le signe de sa charge ?
- 3) Quels sont les porteurs de charge mobiles dans un métal ? Dans quel sens se déplacent-ils ?
- 4) Le passage de courant dans un conducteur est-il toujours dû à un déplacement d'électrons ?
- 5) Le sens du courant électrique étant connu (fig),
 - a) Indiquer les pôles du générateur.
 - b) Indiquer le sens de déplacement des électrons dans le filament de l'ampoule.
- 6) Qu'est-ce qu'un nœud dans un circuit ? Enoncer la loi des nœuds.



EXERCICE 2

- 1) Une pile débite un courant d'intensité $I = 0,2 \text{ A}$ pendant 4 heures. Quelle est la quantité d'électricité ayant traversé cette pile ?
- 2) De quelle grandeur l'ampèreheure est-il unité ? Convertir l'ampèreheure dans l'unité correspondante du système international.
- 3) On dépose, sur une petite sphère A, recouvert d'aluminium, une charge $q = + 10^{-8} \text{ C}$.
 - a) Y a-t-il déficit ou excès d'électrons sur A ?
 - b) Quel est le nombre d'électrons perdus par A au cours de cette électrisation ?
- 4) La pile d'une calculatrice débite un courant d'intensité $1 \mu\text{A}$; sa capacité totale est $16,0 \text{ C}$. Calculer :
 - a) La quantité d'électricité fournit au bout d'une heure et demi.
 - b) Combien de temps la calculatrice pourra-t-elle fonctionner avant qu'il soit nécessaire de remplacer sa pile ?

EXERCICE 3

- 1) Un faisceau d'électrons est dirigé dans un cylindre isolé. Le cylindre reçoit $4 \cdot 10^{10}$ électrons par seconde.
 - a) Calculer la charge du cylindre au bout d'une seconde ; au bout de 100 secondes et au bout d'un quart d'heure.
 - b) Calculer l'intensité du courant dans chaque cas. Conclure.
- 2) Un échantillon radioactif α (noyaux d'hélium) émet $1,5 \cdot 10^8$ noyaux d'hélium par seconde ($q_\alpha = q_{\text{He}} = 2 e = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$)
 - a) Calculer l'intensité du courant correspondant à ce faisceau d'électrons.
 - b) Combien faut-il de faisceau pour obtenir un courant d'intensité $I = 5 \text{ KA}$

EXERCICE 4

Un multimètre ou contrôleur dispose les calibres suivants pour mesurer les intensités de courants : 5A ; 500 mA ; 50 mA ; 5 mA ; $500 \mu\text{A}$

Il est de classe 2 pour les mesures en continu. On utilise la graduation comportant 50 divisions.

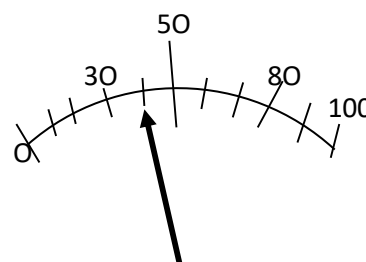
On mesure l'intensité du courant dans un circuit d'abord avec un calibre 500 mA : l'aiguille dévie de 4 divisions , ensuite avec le calibre 50 mA l'aiguille dévie alors de 42 divisions.

- 1) Donner la valeur de l'intensité i pour chaque mesure.
- 2) Calculer l'incertitude absolue ΔI sur l'intensité pour chaque mesure.
- 3) Donner l'encadrement de l'intensité I pour chaque mesure. Ces encadrements sont-ils compatibles entre eux ?
- 4) Qu'elle est la précision ou l'incertitude absolue relative $\frac{\Delta I}{I}$ pour chaque mesure ?

EXERCICE 5

La figure ci – contre représente le cadran d'un ampèremètre multi calibre mesurant une intensité I . Les calibres disponibles sont : 100 mA ; 500 mA ; 1 A ; 3 A ; 5 A ; 10 A . Le calibre 5 A .

- 1) Déterminer la valeur de l'intensité I du courant.
- 2) On change de calibre , l'intensité I conserve toujours la même valeur.
 - a) Peut – on utilisé le calibre 1 A ? Justifie la réponse.
 - b) Peut – on utilisé le calibre 10 A ? justifie la réponse.

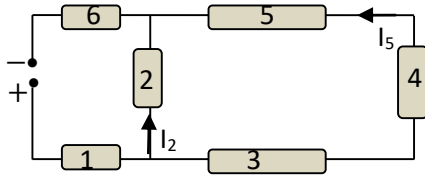


- c) Peut – on utilisé le calibre 3A ? justifie la réponse.
- d) De ces quartes calibres (5A ; 1A ; 10A et 3A) lequel est le mieux adaptée ? Reproduire dans ce cas la figure ci-dessus en plaçant l’aiguille dans la position appropriée.

EXERCICE 6

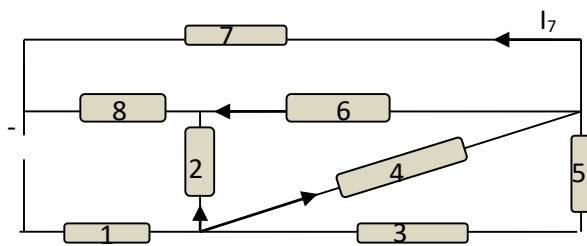
1) Calculer l'intensité du courant dans chaque dipôle du circuit (fig1)

On donne $I_2 = 62 \text{ mA}$ et $I_5 = 19 \text{ mA}$



2) Calculer l'intensité du courant dans chaque dipôle du circuit (fig2)

On donne $I_2 = 0,71 \text{ A}$; $I_4 = 0,16 \text{ A}$; $I_6 = 0,49 \text{ A}$ et $I_7 = 0,25$



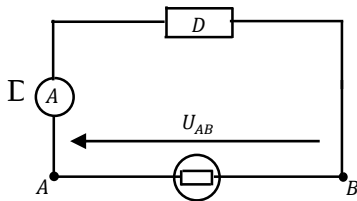
LA TENSION ELECTRIQUE

• Objectifs pédagogiques

- Définir la tension électrique.
- Mesurer la tension électrique avec précision.
- Enoncer les lois des tensions.
- Distinguer une tension continue d'une tension variable.
- Visualiser une tension à l'oscilloscope.

I- La tension électrique continue

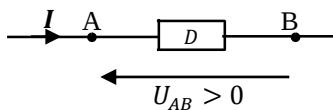
1- Existence d'une tension



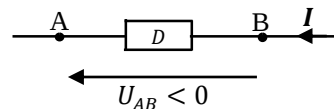
Il existe une tension entre deux points **A** et **B** d'un circuit si en reliant ces deux points par une lampe électrique convenable, il y passe un courant électrique.

2- Tension aux bornes d'un dipôle

- La tension aux bornes d'un fil de connexion ou d'un interrupteur fermé est nulle
- La tension est une grandeur algébrique : $U_{BA} = -U_{AB}$.
- Dans une portion de circuit ne comportant pas de générateur, le sens du courant et le signe de la tension vérifient la relation :

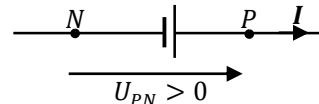


$U_{AB} > 0 \Rightarrow I$ circule de **A** vers **B**.



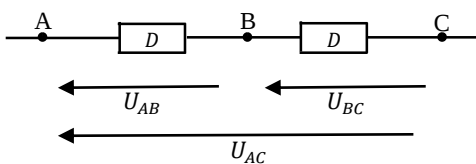
$U_{AB} < 0 \Rightarrow I$ circule de **B** vers **A**.

- Entre les bornes P et N d'un générateur la tension $U_{PN} > 0$

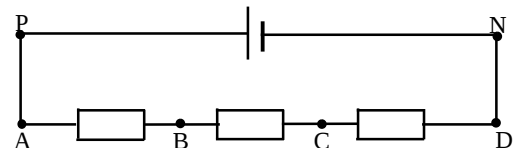


II- Propriétés des tensions électriques continues

1- Dipôles en série : Additivité des tensions

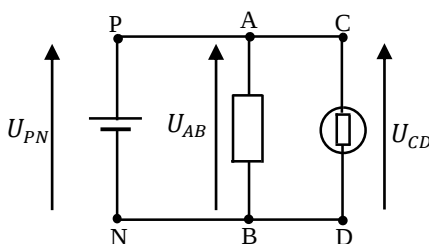


$$U_{AC} = U_{AB} + U_{BC}$$



$$U_{PN} = U_{AD} = U_{AB} + U_{BC} + U_{CD}$$

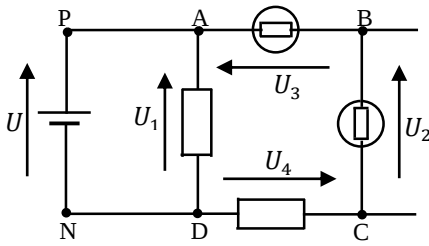
2- Dipôles en dérivation : Unicité de tension



$$U_{PN} = U_{AB} = U_{CD}$$

La tension est la même aux bornes de plusieurs dipôles montés en dérivation.

3- La loi des mailles



Une maille est constituée par un certain nombre de branches d'un circuit formant un parcours fermé

Dans une maille la somme des chutes de tension, dans le sens choisi, est nulle.

Exple : Maille ABCDA. $U_{AB} + U_{BC} + U_{CD} + U_{DA} = 0$

$$\Leftrightarrow U_2 + U_3 + U_4 + U_1 = 0$$

4- Différence de potentiel (d.d.p.)

La différence de potentiel entre deux points A et B est égale à la tension U_{AB} entre ces deux points.

$$V_A - V_B = U_{AB}$$

■ Si $U_{AB} = 0$ alors $V_A - V_B = 0 \Leftrightarrow V_A = V_B$. A et B sont donc dans le même état électrique (potentiel).

■ La masse est un point M de potentiel (état électrique) nul : $V_M = 0$

III- Mesure d'une tension électrique

1- Le voltmètre

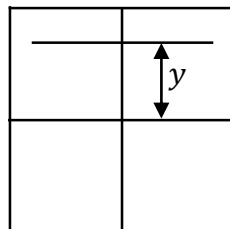
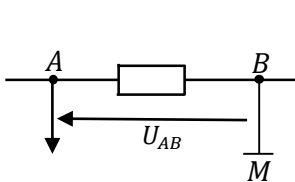
On utilise un voltmètre. Il se branche en dérivation entre les deux points.

$$U_{AB} = k \cdot n = \frac{\text{Calibre}}{D} \cdot n$$

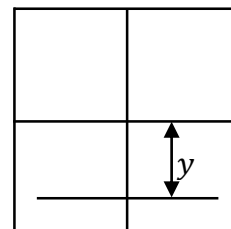
D : Graduation totale du voltmètre (en division)
 n : Lecture (division sur laquelle l'aiguille s'arrête)
 $k = \frac{\text{Calibre}}{D}$: Sensibilité de voltmètre

2- Utilisation de l'oscilloscope

En reliant la borne A d'un dipôle à la borne Y de l'oscilloscope et la borne B du dipôle à la masse M, on mesure ainsi la tension U_{AB} .



$$y > 0 \Rightarrow U_{AB} > 0$$



$$y < 0 \Rightarrow U_{AB} < 0$$

IV- Existence de tensions électriques variables

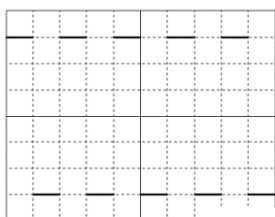
1- Quelques définitions

■ Une tension est dite **variable** si sa valeur change au cours du temps.

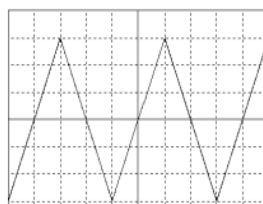
■ Une tension est **alternative** si son signe change au cours du temps.

■ Une tension périodique est une tension qui se répète à intervalles de temps successifs et égaux appelé **période**.

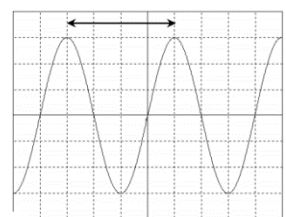
2- Exemples de tensions variables



Tension triangulaire
ou en dents de scie



Tension alternative
sinusoïdale



3. Période et fréquence

- **Période** : la période **T** d'un phénomène périodique est la plus petite durée au bout de laquelle il se reproduit identique à lui-même. Elle s'exprime en seconde (s).
- **Fréquence** : la fréquence **N** ou **f** est l'inverse de la période. Elle s'exprime en **Hertz (Hz)**. Elle représente le nombre de périodes effectuées en une seconde.

$$N = f = \frac{1}{T} \Rightarrow T = \frac{1}{f}$$

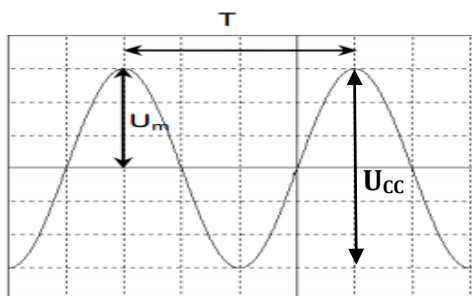
4. Tension maximale et tension efficace

- **Tension maximale** : C'est la valeur maximale de la tension variable u ou son amplitude. Elle est notée $U_{\max}$ et s'exprime en Volt (V).

- **Tension efficace** : On définit la tension efficace U qui est lié à l'amplitude par la relation :

$$U = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} \Rightarrow U_{\max} = U\sqrt{2}$$

- **Tension crête à crête** : On définit la tension crête à crête U_{cc} par la relation : $U_{cc} = 2U_{\max}$

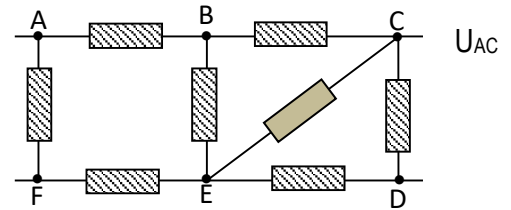


EXERCICES SUR LES TENSIONS ELECTRIQUES

EXERCICE 1

Soit le circuit de la figure suivante. On a mesuré les tensions : $U_{AB} = 5 \text{ V}$; $U_{AE} = 12 \text{ V}$; $U_{AD} = 20 \text{ V}$.

- 1) Calculer la valeur des tensions U_{BC} ; U_{BE} ; U_{DE} ; U_{CD} ; U_{EC} .
- 2) Indiquer le sens des courants dans les trois branches formant le triangle CDE.

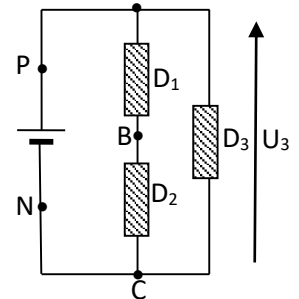


EXERCICE 2

Dans le circuit de la figure suivante, on mesure :

$U_3 = 24 \text{ V}$; $U_{BC} = 8 \text{ V}$.

Déterminer la valeur des tensions U_{AB} et U_{PN}

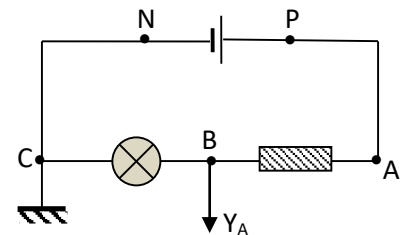


EXERCICE 3

Dans le circuit de la figure suivante, les points B et C sont reliés à un oscilloscope : B à l'entrée Y_A et C à la masse. La sensibilité verticale vaut :

5 V/cm.

- 1) Quelle tension l'oscilloscope mesure-t-elle : U_{BC} ou U_{CB} ?
- 2) On observe un déplacement de la ligne lumineuse de 2,4 cm vers le haut. Déterminer la valeur de la tension mesurée.

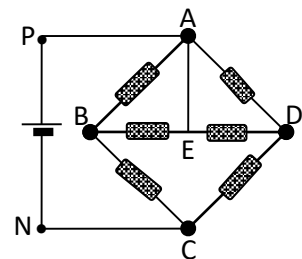


EXERCICE 9

Le réseau représenté ne comporte qu'un seul générateur ; c'est un générateur de courant continu dont les pôles sont respectivement P et N. On mesure les tensions $U_{AB} = 20 \text{ V}$;

$U_{BC} = 10 \text{ V}$; $U_{BE} = 5 \text{ V}$ et $U_{ED} = 3 \text{ V}$.

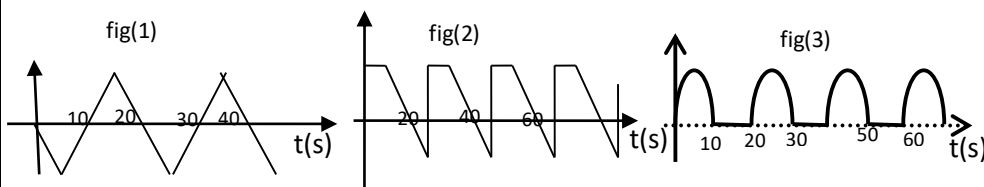
- 1) Calculer les tensions : U_{AE} ; U_{AD} ; U_{CD} ; U_{EC} ; et U_{PN} .
- 2) Dans quel sens le courant circule-t-il dans chaque branche ?
- 3) Lorsqu'on mesure les intensités des courants qui aboutissent au nœud E, on trouve que ceux qui arrivent ont la même intensité $I = 3 \text{ A}$. En déduire les valeurs intensités des courants dans les branches AE, BE et DE.
- 4) L'intensité du courant qui traverse le générateur est $I_0 = 12 \text{ A}$; celle dans la branche AB est égale à 5 A. En déduire les intensités des courants dans toutes les branches du circuits.



EXERCICE 11

A l'oscillographe on observe les trois tensions variables suivantes :

- 1) Ces tensions sont-elles continues ? alternatives ? périodiques ? Sinusoidales ?
- Calculer la période et la fréquence des tensions périodiques



LES DIPOLES PASSIFS

• Objectifs pédagogiques

- Tracer les caractéristiques intensité-tension $U = f(I)$ et tension-intensité $I = g(U)$ d'un conducteur ohmique, d'une varistance et des diodes.
- Calculer la résistance équivalente aux associations en série et en dérivation des conducteurs ohmiques.

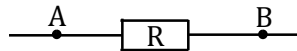
I- Les dipôles passifs symétriques

1- Le conducteur ohmique

a) Définition et symbole

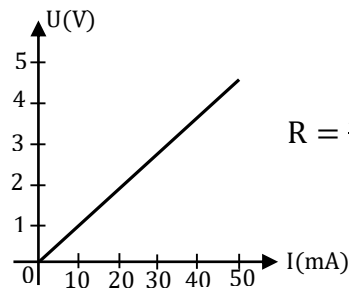
Un conducteur électrique ou un résistor est dipôle qui s'oppose plus ou moins au passage du courant électrique en transformant en chaleur toute l'énergie électrique qu'il reçoit.

Un conducteur ohmique est caractérisé par sa résistance notée **R**. Son symbole est :



b) La loi d'Ohm

I(mA)	10	20	30	40	50
U(V)	1	2	3	4	5



$$R = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{5-1}{0,05-0,01} = 100$$

Caractéristique intensité – tension d'un résistor

■ La tension U aux bornes d'un conducteur ohmique de résistance R est proportionnelle à l'intensité I du courant qui le traverse

$$U = R \cdot I \Leftrightarrow I = \frac{U}{R} \Leftrightarrow R = \frac{U}{I}$$

■ L'inverse de la résistance est la conductance G du résistor. $G = \frac{1}{R}$

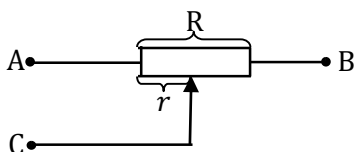
c) Exemples de conducteurs ohmiques

■ Les fils de conducteurs

● Un fil conducteur possède une résistance lorsqu'il est parcouru par le courant électrique. Sa résistance R est donnée par :

$$R = \rho \cdot \frac{l}{s} \quad \left| \begin{array}{l} \rho : \text{Résistivité du fil (en } \Omega/\text{m}) \\ l : \text{Longueur du fil (en m)} \\ s : \text{Section du fil (en m}^2\text{)} \end{array} \right.$$

● Un rhéostat est un conducteur ohmique de résistance réglable.



$$r = R \cdot \frac{l}{L}$$

L : Longueur de fil enroulé entre A et B

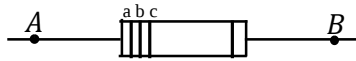
l : Longueur de fil enroulé entre A et C

En déplaçant le curseur C entre A et B, la résistance r varie de 0 à R .

■ Les résistors électroniques

Les résistors électroniques ont l'aspect de petits cylindres. Très souvent, la valeur de la résistance d'un résistor électronique est codée par le constructeur à l'aide d'anneaux colorés.

On utilise un voltmètre. Il se branche en dérivation entre les deux points.



$$R = ab \cdot 10^c$$

a : 1^{er} chiffre
 b : 2^e chiffre
 c : puissance de dix

Noir(0) ; Marron(1) ; Rouge(2) ; Orange(3) ; Jaune(4) ; Vert(5) ; Bleu(6) ; Violet(7) ; Gris(8) ; Blanc(9)

■ Les photorésistances (LDR)

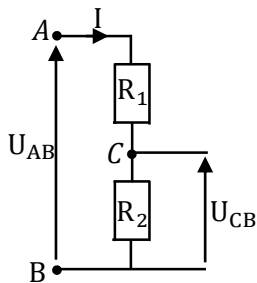
Une photorésistance est un résistor dont la résistance diminue lorsque l'éclairement augmente : c'est un **détecteur de lumière**

■ Les thermistances (CTN)

Une thermistance est un résistor dont la résistance varie rapidement avec la température : c'est un **détecteur d'échauffement**.

d) Utilisation des conducteurs ohmiques

■ Le diviseur de tension



$$U_{AB} = U_{AC} + U_{CB} = (R_1 + R_2) \cdot I$$

$$U_{CB} = R_2 \cdot I$$

d'où

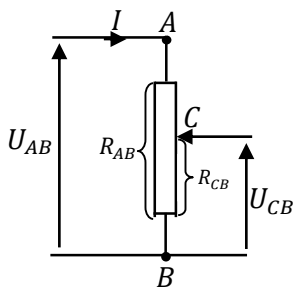
$$\frac{U_{CB}}{U_{AB}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \Rightarrow U_{CB} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_{AB}$$

$$0 \leq \frac{R_2}{R_1 + R_2} \leq 1 \Rightarrow 0 \leq U_{CB} \leq U_{AB}$$

Le montage ainsi réalisé est appelé **diviseur de tension** car il permet de contrôler la tension U_{CB} entre deux points C et B d'un appareil électrique.

On parle de diviseur de tension car on obtient une fraction de la tension U_{AB} aux bornes C et B .

■ Le potentiomètre



Un potentiomètre est un conducteur ohmique possédant trois bornes : deux bornes fixes A et B et une borne intermédiaire mobile C appelée **curseur**.

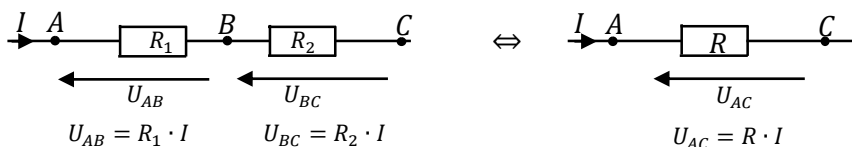
Les résistances R_{AC} et R_{CB} sont ainsi réglables en modifiant la position du curseur, leur somme restant constante. $R_{AC} + R_{CB} = R_{AB}$

$$\frac{U_{CB}}{U_{AB}} = \frac{R_{CB}}{R_{AB}} \Rightarrow U_{CB} = \frac{R_{CB}}{R_{AB}} \cdot U_{AB}$$

Le montage potentiométrique permet de faire varier la tension de sortie U_{CB} entre 0 et U_{AB} . Il permet de réaliser un diviseur de tension dont la tension de sortie U_{CB} est réglable.

2- Associations de résistors

a) Association en série



$$U_{AC} = U_{AB} + U_{BC} \Rightarrow R = R_1 + R_2$$

△ Ce résultat se généralise à plusieurs conducteurs ohmiques montés en série : $R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$

b) Association en dérivation

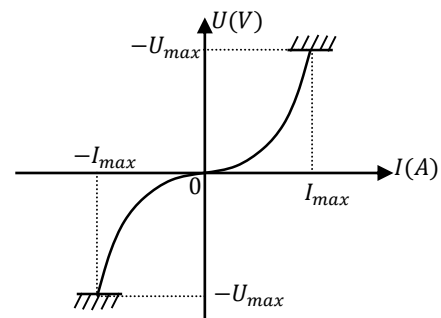
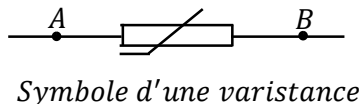


$$I = I_1 + I_2 \Rightarrow \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad \text{soit} \quad R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

△ Ce résultat se généralise à plusieurs conducteurs ohmiques montés en série : $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$

3- La varistance (VDR : Voltage Dépended Résistor)

Une **varistance** ou **varistor** est un résistor dont la résistance augmente lorsque la tension entre ses bornes augmente.



Caractéristique intensité – tension d'une varistance

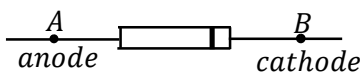
Cette caractéristique n'est pas rectiligne mais elle est symétrique par rapport à l'origine : **la varistance est un dipôle symétrique non linéaire.**

III- Dipôles passifs dissymétriques

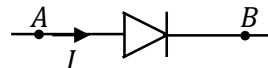
1- Les diodes simples

a) Définition et symbole

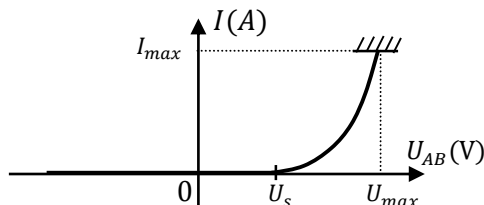
Une diode simple est un composant électronique qui a la forme d'un petit cylindre portant un anneau circulaire indiquant la cathode B ou borne de sortie.



sens direct ou passant



b) Caractéristique de la diode simple

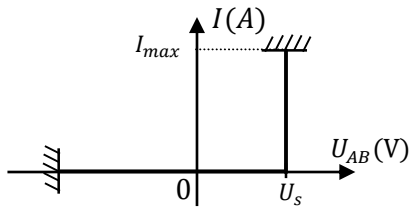


Caractéristique tension – intensité d'une diode simple

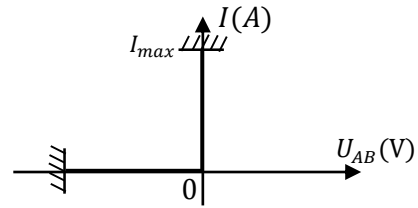
- $U_{AB} < U_s, I = 0$: **la diode est bloquée** ; elle se comporte comme un interrupteur ouvert.
- $U_{AB} \geq U_s, I \neq 0$: **la diode est passante** : elle se comporte comme un résistor de faible résistance et $U_{AB} \approx U_s$.
- U_s est appelée tension seuil ; c'est la tension U_{AB} à partir de laquelle la diode devient conductrice (débloquée).

- Diode au germanium : $U_s = 0,3V$

c) Les diodes idéales



Caractéristique tension – intensité d'une diode simple
 $U_s \neq 0$



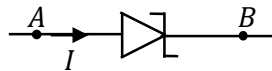
Caractéristique tension – intensité d'une diode simple
 $U_s = 0$

2- Les diodes zéner

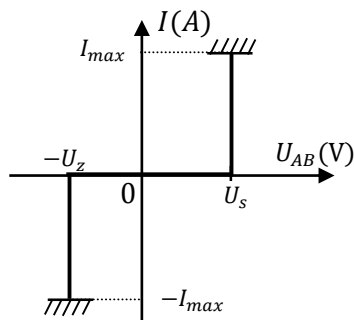
a) Définition et symbole

Une diode zéner est une diode qui peut conduire le courant en sens inverse pour une certaine tension négative. La valeur absolue de la tension à partir de laquelle la diode conduit en sens inverse est appelée **tension zéner** et notée U_z .

sens direct ou passant



b) Caractéristique de la diode zéner



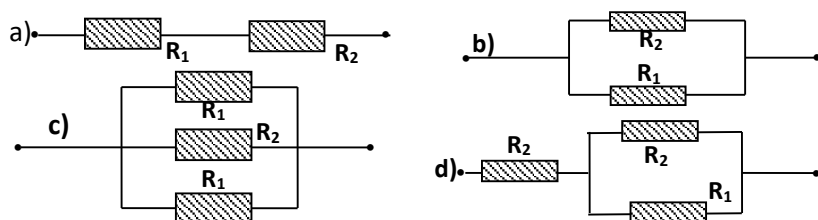
- $-U_z < U_{AB} < U_s, I = 0$: la diode est bloquée
- $U_{AB} \approx U_s, I > 0$: la diode conduit le courant en sens direct.
- $U_{AB} \approx -U_z, I < 0$: la diode conduit le courant en sens inverse.

Caractéristique tension – intensité d'une diode zéner
 $U_s \neq 0$

EXERCICES SUR LES DIPOLES PASSIFS

EXERCICE 1

Dans les associations suivantes, $R_1 = 10 \Omega$ et $R_2 = 25 \Omega$. Déterminer dans chaque cas, la résistance équivalente.



EXERCICE 2

Deux conducteurs ohmiques de résistances R_1 et R_2 sont associés en série. On applique à l'ensemble une tension $U = 9V$. L'intensité des courants qui les traverse est $I = 0,4 A$.

- 1) Déterminer la résistance équivalente de l'association.
- 2) La tension aux bornes du conducteur de résistance R_2 est $U_2 = 6V$. Calculer R_1 et R_2 .

EXERCICE 3

On dispose d'un dipôle. On étudie son fonctionnement en mesurant la tension U à ses bornes lorsqu'un courant d'intensité I le traverse. Les résultats des mesures sont regroupés dans le tableau.

- 1) Tracer la caractéristique $U=f(I)$. Ce dipôle est-il un conducteur ohmique ?
- 2) Donner l'équation de la caractéristique (déterminer R puis G).

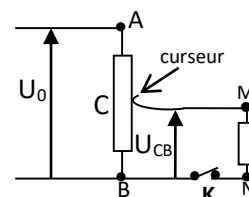
Le dipôle est détérioré s'il dissipe une puissance supérieure à $P_{\max} = 0,5W$. déterminer la tension maximale que l'on peut lui appliquer.

$U (V)$	0	1,41	2,35	3,29	4,7
$I (A)$	0	0,03	0,05	0,07	0,1

EXERCICE 4

Le potentiomètre représenté à la figure suivante permet d'établir une tension U_{CB} continue, réglable, entre les bornes M et N d'une résistance de valeur $R = 20 \Omega$. À cet effet, on soumet les extrémités A et B d'un rhéostat à une tension continue $U_{AB} = U_0 = 100 V$. La résistance totale du fil AB est $R_{AB} = 100 \Omega$. L'interrupteur K est ouvert ; la résistance R_{AC} comprise entre l'extrémité A et le curseur C vaut 40Ω .

- 1) Calculer la tension U_{CB} ainsi que l'intensité du courant entre A et C
- 2) On ferme k. Calculer la nouvelle valeur de la tension U_{CB} , ainsi que les intensités des courants entre A et C, entre C et B puis entre M et N



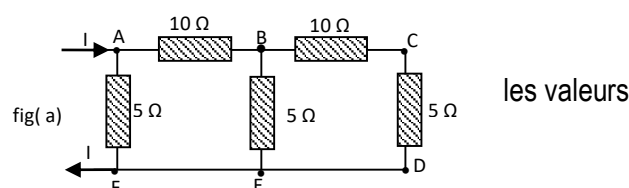
EXERCICE 5

Une diode au silicium ($U_s = 0,70 V$), un résistor et une pile sont montées en série. Un courant passe dans le circuit.

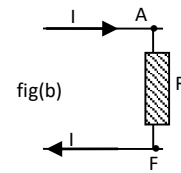
- 1) Faire un schéma du circuit, indiquer le sens du courant.
- 2) La tension aux bornes de la pile vaut $9 V$.
Calculer la tension aux bornes du résistor et l'intensité du courant sachant que la résistance du résistor vaut 100Ω .
- 3) Le constructeur de la diode donne $I_{\max} = 120 mA$.
a) Pour quelle valeur de R la diode est-elle parcourue par un courant d'intensité $I_{\max}$?
b) Pour quelle valeur de R la diode risque-t-elle être détériorée ?

EXERCICE 6

- 1) Calculer les intensités dans chacune des branches du réseau de cette figure ainsi que des tensions U_{BE} , U_{CD} , U_{AF} . On donne $I = 1,5 A$ et $U_{AB} = 4V$



2) On remplace le réseau précédent par une résistance unique R , montée entre A et F comme l'indique la figure(b) Le courant arrive en A F avec l'intensité $I=1,5\text{ A}$
 Quelle valeur faut-il donner à R pour que la tension à ses bornes soit la même que dans le réseau de la figure (a) ?

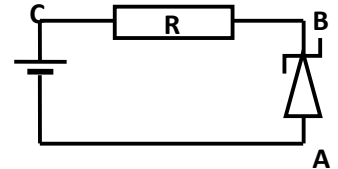


et en sort en
 la tension U_{AF}

EXERCICE 7

On réalise le circuit schématisé à la figure suivante. On donne $U_{CA} = 40\text{ V}$; $U_Z = 15\text{ V}$. La puissance maximale pouvant être consommée par la diode polarisée en inverse vaut $P_{Z_{\max}} = 0,5\text{ W}$.

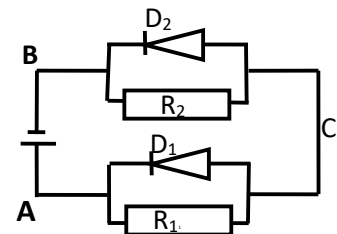
- 1) Indiquer le sens du courant et calculer son intensité $I_{\max}$ lorsque la diode consomme la puissance $P_{Z_{\max}}$.
- 2) Pour cette valeur de l'intensité, calculer U_{CB} et la valeur de la résistance R du résistor.
- 3) Quelle doit être la valeur de R pour que l'intensité du courant soit $I = 20\text{ mA}$?



EXERCICE 8

Le circuit suivant comporte deux diodes identiques de tension seuil $U_s = 0,7\text{ V}$; $U_{AB} = 12\text{ V}$. Les résistances des résistors valent $R_1 = 120\Omega$ et $R_2 = 50\Omega$.

- 1) Déterminer les tensions aux bornes de chaque dipôle et indiquer les sens des courants dans ceux-ci.
- 2) Calculer les diverses intensités.
- 3) Répondre aux mêmes questions lorsqu'on permute les bornes du générateur.



LES DIPOLES ACTIFS

POINT DE FONCTIONNEMENT

● Objectifs pédagogiques

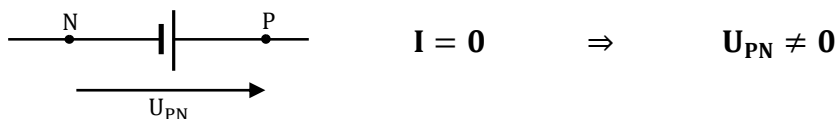
- Définir un dipôle actif
- Tracer les caractéristiques intensité-tension $U = f(I)$ d'un générateur.
- Ecrire la loi d'Ohm aux bornes d'un générateur.
- Calculer la force électromotrice et la résistance interne de l'association en série et en dérivation des générateurs.
- Enoncer la loi de Pouillet.

I- Dipôles actifs- caractéristiques

1- Définition

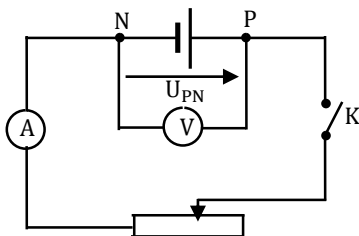
Un dipôle est dit **actif** si la tension mesurée à ses bornes n'est pas nulle lorsqu'il est branché seul, aux bornes d'un voltmètre.

Exemples : Piles, accumulateurs...

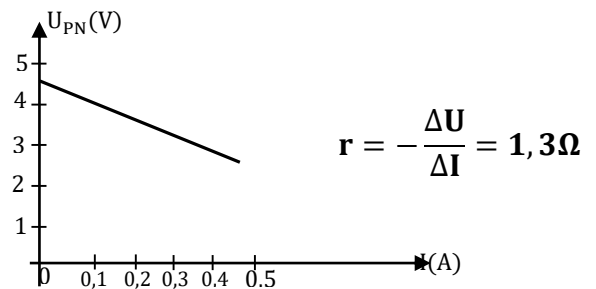


La pile est un générateur ; elle fournit une puissance électrique au reste du circuit lorsqu'elle est parcourue par un courant.

2- Caractéristique intensité-tension



$I(mA)$	0	45	100	200	310	500
$U_{PN}(V)$	4,5	4,425	4,35	4,20	4,05	3,75



Caractéristique intensité – tension d'un générateur

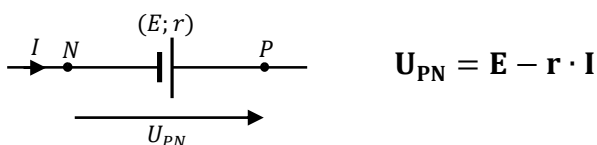
La caractéristique est une droite affine d'équation : $U_{PN} = a \cdot I + b$.

- Pour $I = 0$, $U_{PN} = b = E$. **E est la tension à vide entre les bornes de la pile.** Elle est encore appelée **force électromotrice (fem)**.

- $a = \frac{\Delta U}{\Delta I} = -1,3\Omega = -r$. **r est la résistance interne de la pile.**

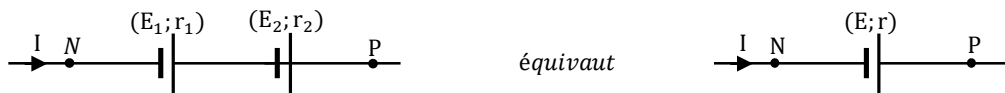
Δ La loi d'Ohm aux bornes d'un générateur

La tension aux bornes d'un générateur parcouru par un courant électrique d'intensité I s'écrit donc :



3- Associations de générateurs

a) Association en série concordance



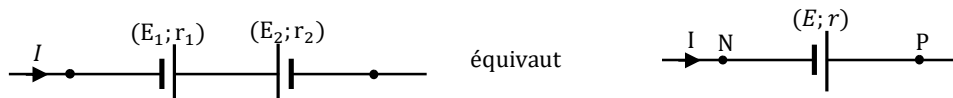
$$E = E_1 + E_2 \quad \text{et} \quad r = r_1 + r_2$$

Δ Ce résultat se généralise à plusieurs générateurs montés en série.

$$E = E_1 + E_2 + \dots$$

$$r = r_1 + r_2 + \dots$$

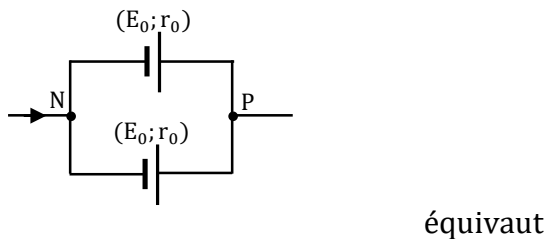
b) Association en série opposition



$$E_1 > E_2 \Rightarrow E = E_1 - E_2 \quad \text{et} \quad r = r_1 + r_2$$

Le sens du courant est imposé par le générateur de f.e.m la plus élevée

c) association en dérivation de générateurs identiques

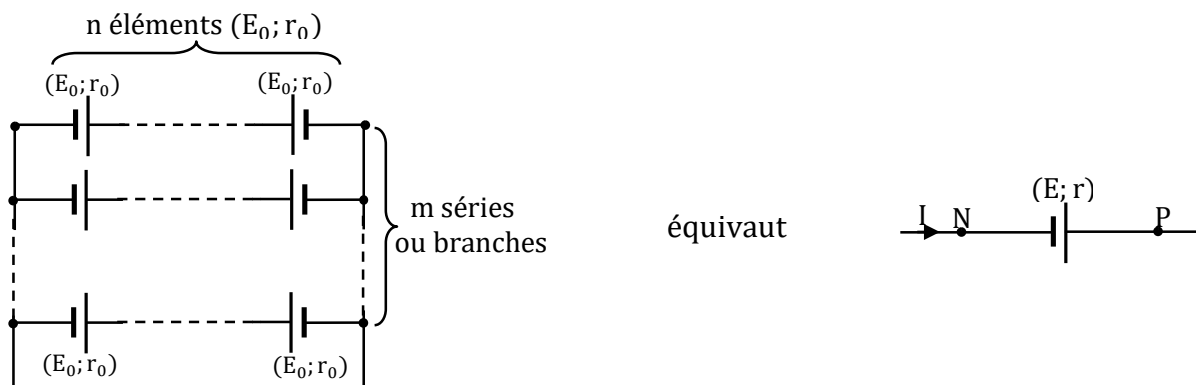


$$E = E_0 \quad \text{et} \quad r = \frac{r_0}{2}$$

Δ Ce résultat se généralise à m générateurs identiques (E_0, r_0) montés en parallèle.

$$E = E_0 \quad \text{et} \quad r = \frac{r_0}{m}$$

d) Association mixte de générateurs identiques



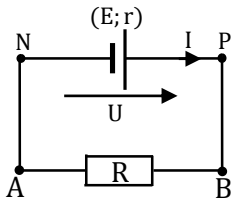
La force électromotrice E et la résistance interne r du générateur équivalent à cette association mixte vaut :

$$E = nE_0 \quad \text{et} \quad r = \frac{n}{m} r_0$$

II- Point de fonctionnement d'un circuit- Loi de Pouillet

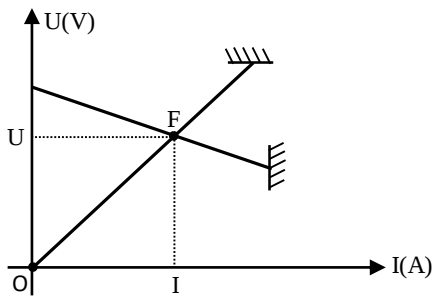
1- Point de fonctionnement d'un circuit

a) Détermination du point de fonctionnement par la méthode graphique



$$\text{Pile} \begin{cases} E = 4,5\text{V} \\ r = 1,5\Omega \\ I_{\max} = 200\text{mA} \\ U_{PN} = 4,5 - 1,5I \end{cases}$$

$$\text{Résistor} \begin{cases} R = 30\Omega \\ I_{\max} = 500\text{mA} \\ U_{AB} = 30I \end{cases}$$

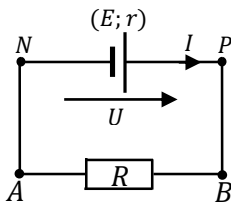


Le point de fonctionnement de l'association de la pile et du conducteur ohmique est le point d'intersection F des deux caractéristiques.

Remarque :

S'il n'y a pas d'intersection entre les deux caractéristiques, cela signifie que ces dipôles ne sont adaptés. En les branchant ensemble, on risque fort de les détruire.

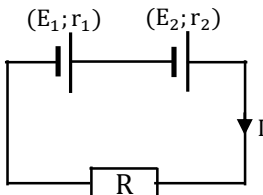
b) Détermination du point de fonctionnement par la méthode graphique



$$U = E - rI = RI \quad \Rightarrow \quad I = \frac{E}{R+r}$$

Ce résultat est général et s'applique à des circuits comportant plusieurs dipôles en série

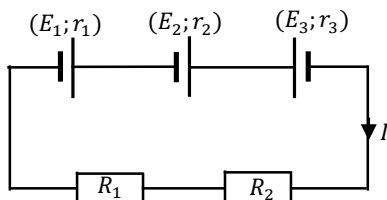
2- La loi de Pouillet



$$I = \frac{E_1 + E_2}{R + r_1 + r_2}$$

Dans un circuit série comportant des générateurs en concordance et de conducteurs ohmiques, l'intensité du courant est égale au quotient de la somme des f.e.m. par la somme des résistances des conducteurs ohmiques et des résistances internes des générateurs.

Remarque :



Si $E_1 + E_2 > E_3$ alors le générateur de f.e.m. E_3 est récepteur.

$$I = \frac{E_1 + E_2 - E_3}{R_1 + R_2 + r_1 + r_2 + r_3}$$

Si l'un des générateur est placé en opposition dans le circuit série, sa f.e.m. est affectée d'un signe négatif dans la loi de Pouillet.

EXERCICES SUR LES DIPOLES ACTIFS

EXERCICE 1

On dispose d'un générateur G (f.é.m. $E = 4,5V$; $r = 1\Omega$) et de deux conducteurs ohmiques $R_1 = 10\Omega$ et $R_2 = 15\Omega$.

- 1) On forme un circuit série avec le générateur G et les deux conducteurs ohmiques. Calculer l'intensité I_1 du courant dans le circuit.
- 2) Les deux conducteurs ohmiques sont maintenant associés en parallèles et branchés aux bornes du générateur. Calculer l'intensité I_2 du courant traversant le générateur et les intensités I_{R1} et I_{R2} dans les conducteurs ohmiques R_1 et R_2 . (Faire le schéma de montage dans chaque cas.)

EXERCICE 2

Pour tracer la caractéristique intensité-tension d'une pile, on effectue un relevé de mesures de la tension U_{PN} à ses bornes lorsque l'intensité qu'elle débite est I . On obtient le tableau suivant :

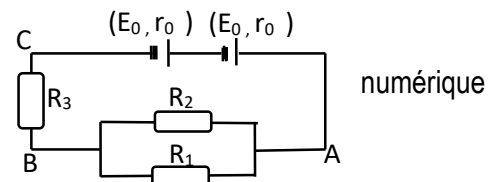
$I (A)$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
$U_{PN} (V)$	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1

- 1) Tracer la caractéristique intensité-tension de cette pile.
Échelle : 1cm pour 0,1 A en abscisse et 1 cm pour 0,2 V en ordonnée.
- 2) Déterminer les caractéristiques de cette pile.
- 3) Calculer le courant de court-circuit.
- 4) Calculer la tension à ses bornes lorsque l'intensité I vaut 500 mA.
- 5) Vérifier sur la courbe.

EXERCICE 3

On considère le circuit schématisé suivant. Les piles E_1 et E_2 sont identiques et ont pour caractéristiques $E_0=6V$ et $r_0=1\Omega$. On donne $R_1=4\Omega$; $R_2=8\Omega$ et $R_3=12\Omega$

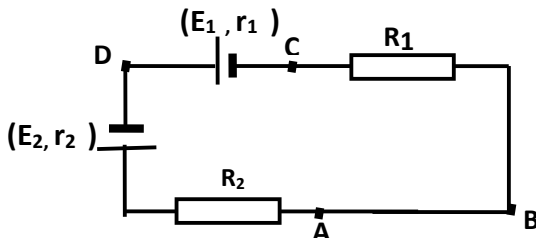
- 1) Calculer la résistance équivalente R_{AB} puis R_{AC}
 - 2) Calculer la f.e.m. E de l'association des deux piles ainsi que la résistance interne équivalente r .
 - 3) Refaire le schéma du montage avec $(E \text{ et } r)$ et R_{AC} .
 - 4) Soit I_0 l'intensité du courant qui circule dans ce nouveau circuit.
 - a) Écrire la loi d'ohm aux bornes de R_{AC} .
 - b) Écrire la loi d'ohm aux bornes de la pile équivalente.
- Par la loi de Pouillet donner l'expression de I_0 puis faire l'application
- c) Calculer la tension et l'intensité aux bornes de chaque dipôle



EXERCICE 4

Un circuit comporte, en série, deux générateurs de caractéristiques (E_1, r_1) et (E_2, r_2) et deux conducteurs ohmiques de résistances R_1 et R_2 .

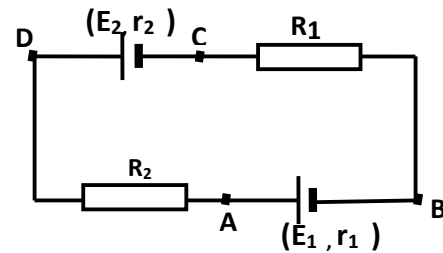
- 1) Énoncer la loi de Pouillet.
- 2) Déterminer l'expression de l'intensité du courant.
- 3) Faire l'application numérique pour $E_1=4,5V$; $E_2=1,5V$; $r_1=3\Omega$; $r_2=2\Omega$; $R_1=10\Omega$; $R_2=15\Omega$



EXERCICE 5

Dans le circuit suivant,

- 1) Déterminer le sens et l'intensité du courant.
- 2) Écrire la loi d'ohm entre les points A et C ; calculer U_{AC} .
- 3) On place un fil de court-circuit entre A et C ; quelle est l'intensité du courant qui circule dans ce fil ?
($E_1 = 6V$, $r_1 = 4\Omega$) ($E_2 = 24V$, $r_2 = 2\Omega$) $R_1 = R_2 = 15\Omega$



EXERCICE 6

Les tableaux suivants donnent les caractéristiques aux bornes de deux dipôles D_1 et D_2 ;
 U_1 est la tension aux bornes de D_1 et U_2 est la tension aux bornes de D_2

I (A)	1	1,5	2
U_1 (V)	3,5	3	2,5

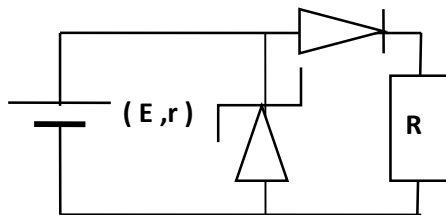
I (mA)	50	100	150
U_2 (V)	2,2	4,4	6,6

- 1) Tracer la caractéristique courant-tension de chaque dipôle sur un même graphe.
- 2) D'après le graphe donner la nature de chaque dipôle. Justifier.
- 3) Déterminer la loi d'ohm aux bornes de chacun et donner leurs caractéristiques.
- 4) Déterminer graphiquement, puis par calcul, le point de fonctionnement de l'ensemble s'ils sont montés en série.

EXERCICE 10

Soit le circuit suivant : $E = 12V$; $r = 2\Omega$; $R = 3,5\Omega$ et une diode zéner de tension zéner $6V$. Lorsque la diode au silicium conduit, la caractéristique courant-tension passe par les points $M(1V ; 400 \text{ mA})$ et $N(1,5V ; 1400 \text{ mA})$

- 1) Tracer la caractéristique courant- tension de la diode.
- 2) Quelle est son équation quand la diode conduit? En déduire sa tension seuil.
- 3) Calculer l'intensité du courant qui traverse chaque branche. Donner les valeurs des tensions aux bornes de chaque dipôle



MONTAGES ELECTRONIQUES SIMPLES

• Objectifs pédagogiques

- Décrire les différentes sortes de transistors.
- Distinguer les domaines de fonctionnement d'un transistor.
- Décrire une chaîne électronique et en citer quelques exemples.

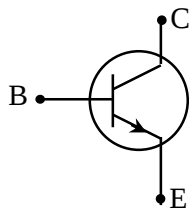
I- Les transistors à jonction

1- Les différents types de transistor

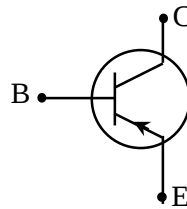
Un transistor est un tripôle dont les trois bornes ne sont pas identiques. Ces trois bornes sont appelées :

- l'émetteur E,
- le collecteur C,
- la base B.

Il existe deux types de transistor : les **transistors NPN** et les **transistors PNP**.



Transistor NPN



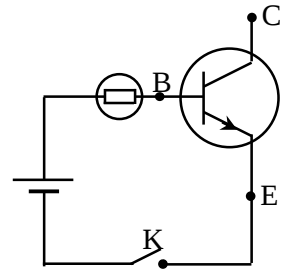
Transistor PNP

2- Etude des jonctions Base-émetteur (BE) et collecteur-émetteur (CE)

a) Etude de la jonction Base-émetteur (BE) : Circuit base

Lorsqu'on ferme l'interrupteur, le courant passe. En permutant les bornes du générateur, le courant ne passe plus.

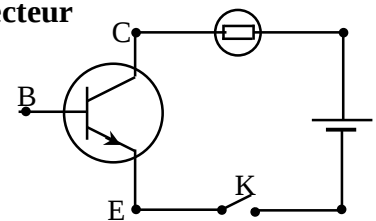
La jonction base-émetteur est donc une diode et le courant qui traverse ce circuit s'appelle courant de base I_B (courant entrant par la base).



b) Etude de la jonction Collecteur-émetteur (CE) : Circuit collecteur

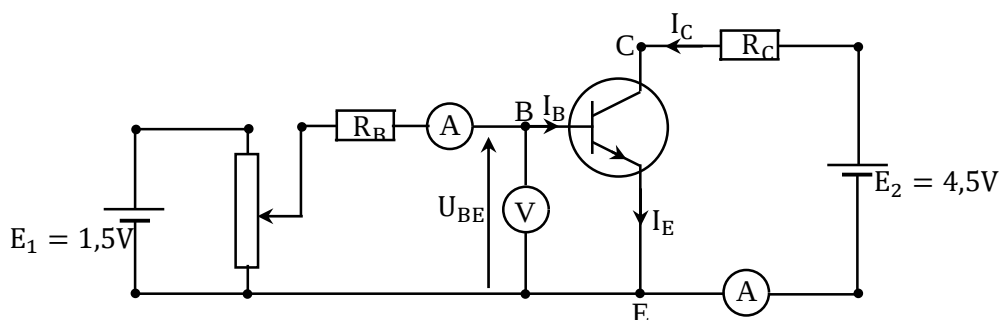
Quelque soit le sens de branchement de la pile, aucun courant ne circule dans le circuit.

La jonction collecteur-émetteur fonctionne donc comme un **isolant (interrupteur ouvert)**.

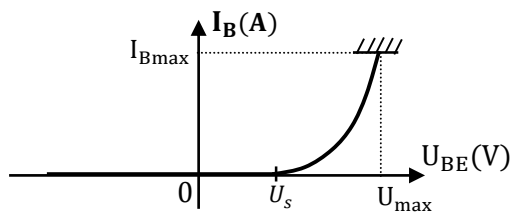


3- Commande du circuit collecteur par le circuit base

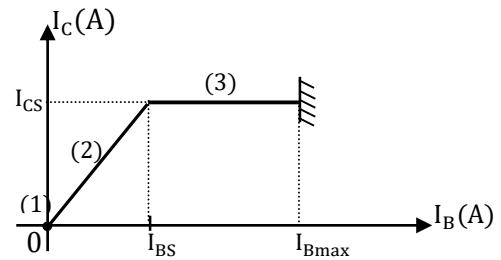
a) Tracer des graphes $I_B = f(U_{BE})$ et $I_C = f(I_B)$



$I_B(\text{mA})$	0	0	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,9	1,5
$I_C(\text{mA})$	0	0	0	20	40	60	80	97	100	100
$U_{BE}(\text{V})$	0	0,3	0,6	0,64	0,68	0,71	0,74	0,78	0,8	0,82



Caractéristique $I_B = f(U_{BE})$



Graph $I_C = f(I_B)$

- (1) : transistor bloqué ;
- (2) : transistor amplificateur de courant ;
- (3) : transistor saturé.

b) Exploitation des résultats

■ Conditions de fonctionnement

Le transistor fonctionne lorsque les deux conditions suivantes sont satisfaites :

- $U_{BE} > U_S = 0,6\text{V}$;
- $U_{CE} > 0$

■ Relation entre I_B , I_C et I_E : $I_E = I_B + I_C$

■ Blocage et déblocage d'un transistor

- Si $U_{BE} < U_S$ on a $I_B = 0$ et $I_C = 0$: le transistor est bloqué entre le collecteur et l'émetteur. Il se comporte comme un interrupteur ouvert.
- Dès qu'un courant de base I_B apparaît, un courant collecteur I_C intense circule dans le circuit collecteur-émetteur : le transistor est débloqué ; ce phénomène porte le nom d'**effet transistor**.

■ Fonctionnement en régime linéaire

$U_{BE} > U_S = 0,6\text{V}$ / $U_{BE} \approx U_S$ alors $I_C = \beta I_B$ et $I_E = I_B + I_C \Rightarrow I_E = (1 + \beta)I_B = \left(\frac{1+\beta}{\beta}\right)I_C$

I_C est donc la réplique amplifiée de I_B . Le transistor dans ce cas est **un amplificateur de courant**. β est appelé **coefficient d'amplification** ou **gain en courant du transistor**.

■ Fonctionnement en régime de saturation

Si I_B dépasse une certaine valeur seuil I_{BS} , I_C ne dépend plus de I_B : On dit que le transistor est saturé.

$U_{BE} > U_S$ et $I_B > I_{BS}$ alors $I_C = I_{CS}$ et $U_{CE} = 0$.

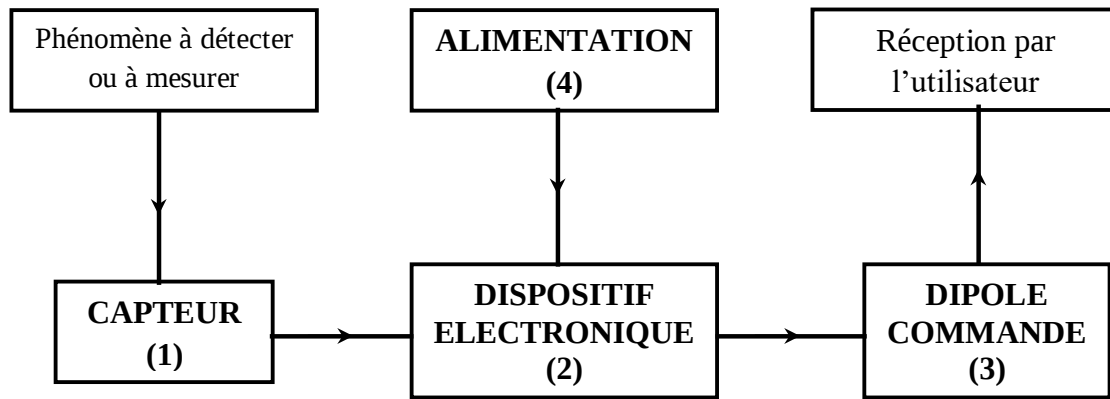
Le courant de base I_B ne commande plus le courant collecteur I_C .

II- Les chaines électroniques

1- Description

Une chaine électronique est composée de quatre parties :

- **un capteur ou dipôle de commande** ;
- **un dispositif électronique** : un transistor par exemple ;
- **un appareil d'utilisation ou dipôle commandé** ;
- **une ou plusieurs alimentations** (générateur pour fournir l'énergie nécessaire pour le fonctionnement de l'ensemble du circuit)



2- Les capteurs ou détecteurs

Un capteur est un dipôle dont l'état de fonctionnement est modifié par une excitation extérieure. On peut citer comme exemples :

- Les photorésistances ou LDR ;
- Les thermistances CTN ou CTP
- Le microphone ou capteur de son ;
- Les électrodes ou capteurs de conductivité.

3- Les dipôles commandés

Ce sont des dipôles qui rendent sensible à l'extérieur, l'existence ou les variations du courant électrique qui les traverse. On peut citer comme exemple :

- les dipôles émetteurs de lumière : lampe à incandescence, DEL...
- les dipôles émetteurs de son : haut parleur, écouteurs, sonnerie électrique...
- les relais électromagnétiques : bobine à noyau de fer parcourue par le courant.

4- Exemples de chaînes électroniques

a) Le détecteur de température

Ce montage permet de déclencher une alarme dès que la température d'un local (ou d'un four) dépasse une certaine valeur. **Le capteur est une thermistance et le dipôle commandé une lampe à incandescence.**

Exemple : On rappelle que :

- Pour $I_C = I_1 = 100\text{mA}$, la lampe commence à émettre ;
- Pour $I_C = I_2 = 200\text{mA}$, la lampe éclair normalement.

■ Calculons la résistance R de la thermistance pour les intensités I_1 et I_2 sachant que le transistor fonctionne en régime linéaire et que $\beta = 200$; $U_S = 0,7\text{V}$.

$$I_E = I_B + I_C ; I_B = \frac{I_C}{200} \Rightarrow I_E \approx I_C$$

$$U_{PE} = E - rI_E = E - rI_C ; \quad U_{BE} = U_S \Rightarrow U_{PB} = U_{PE} - U_{BE} = E - rI_C - U_S = RI_B = R \frac{I_C}{\beta}$$

$$\text{d'où } R = \frac{\beta(E - rI_C - U_S)}{I_C}$$

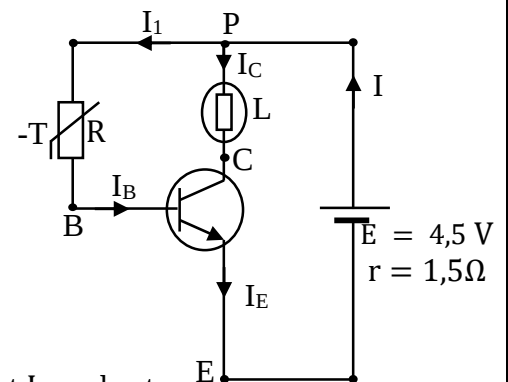
$$I_C = I_1 = 100\text{mA} \Rightarrow R_1 = 7300\Omega \text{ et } I_C = I_2 = 200\text{mA} \Rightarrow R_2 = 3500\Omega$$

■ On suppose que pour $20^\circ\text{C} \leq \theta \leq 50^\circ\text{C}$, la résistance R de la thermistance est fonction affine de θ de la forme $R = a\theta + b$. Calculons les températures θ_1 et θ_2 correspondant respectivement à R_1 et R_2 .

$$\frac{R - R_{50}}{R_{20} - R_{50}} = \frac{50 - \theta}{50 - 20} \Rightarrow 50 - \theta = \frac{30}{11,2} (R - 0,8) \text{ donc } \theta = 50 - \frac{30}{11,2} (R - 0,8)$$

$$R = R_1 = 7300\Omega \Rightarrow \theta_1 = 33^\circ\text{C} \text{ et } R = R_2 = 3500\Omega \Rightarrow \theta_2 = 43^\circ\text{C}$$

La lampe émet de la lumière blanche quand $\theta > 40^\circ\text{C}$



b) Détecteur d'éclairement

Ce montage permet de déclencher un signal dès que dans un local sombre apparait de la lumière. **Le capteur est une photorésistance et le dipôle commandé une lampe à incandescence ou une sonnerie.**

Soit R la résistance de la LDR et $\beta = 200$; $U_S = 0,7V$.

■ Exprimons I_B en fonction de R .

$$U_{AB} = U_{AE} - U_{BE} \Leftrightarrow RI_B = \text{donc } I_B = \frac{E_1 - U_S}{R - r_1} = \frac{8}{10R + 15}$$

■ Expression de I_C en fonction de R lorsque le transistor fonctionne en amplificateur de courant.

$$I_C = \beta I_B \Rightarrow I_C = \frac{\beta(E_1 - U_S)}{R - r_1} = \frac{1600}{10R + 15}$$

- Dans l'obscurité $R = 100k\Omega \Rightarrow I_C = 1,6mA$

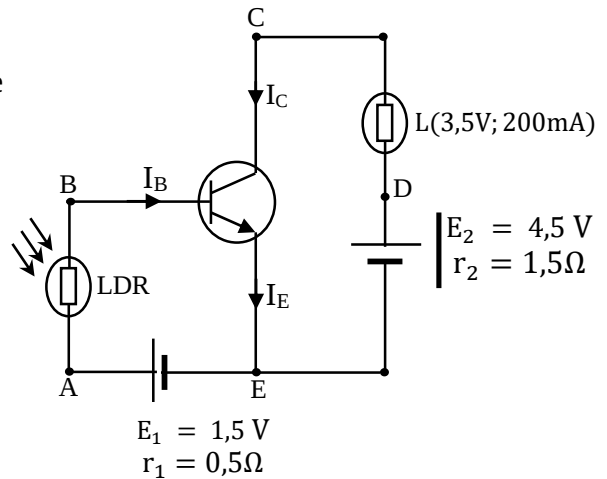
- A la lumière $R = 800\Omega \Rightarrow I_C = 200mA$.

La lampe L n'éclaire correctement que si elle est parcourue par un courant de 200mA donc lorsque la LDR est éclairée.

■ Calculons U_{CE} pour $I_C = 200mA$.

$$U_{CE} = U_{DE} - U_{DC} \Rightarrow U_{CE} = E_2 - r_2 I_C - U_{DC} \quad \text{AN : } U_{CE} = 0,7V$$

$U_{CE} > 0 \Rightarrow$ le transistor fonctionne en amplificateur de courant.



c) Détecteur de niveau d'eau

Il permet de déclencher un signal dès que la surface libre d'un liquide atteint un certain niveau. **Le capteur est formé de deux électrodes et le dipôle commandé est une diode électroluminescente ou une alarme.** Valeur de la résistance R du dipôle PQ pour que la DEL soit parcourue par un courant d'intensité $I_E = 50mA$.

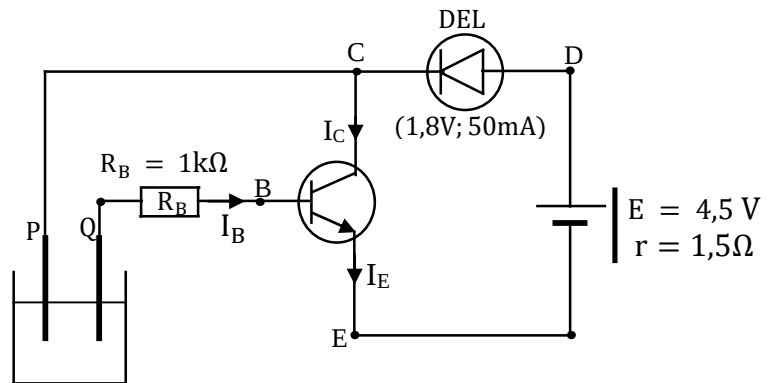
$$I_E = 50mA \Rightarrow U_{DC} = 1,8V$$

$$I_E = I_B + I_C \text{ et } I_C = \beta I_B \Rightarrow I_B = \frac{I_E}{1 + \beta}$$

$$\text{AN : } I_B = 0,25mA$$

$$U_{CB} = (R + R_B)I_B \Rightarrow R = \frac{U_{CB}}{I_B} - R_B \quad \text{or } U_{CB} = U_{CD} + U_{DE} + U_{EB} \Rightarrow U_{CB} = E - rI_E - U_{BE} - U_{DC} = 1,9V$$

d'où $R = 6600\Omega$



d) Régulateur de température

Il permet de remettre un chauffage en route dès que la température d'un local ou d'un four descend au-dessous d'une certaine valeur.

Le capteur est une thermistance et le dipôle commande un relais qui commande lui-même le circuit de chauffage.

EXERCICES SUR LES TRANSISTORS

EXERCICE 1

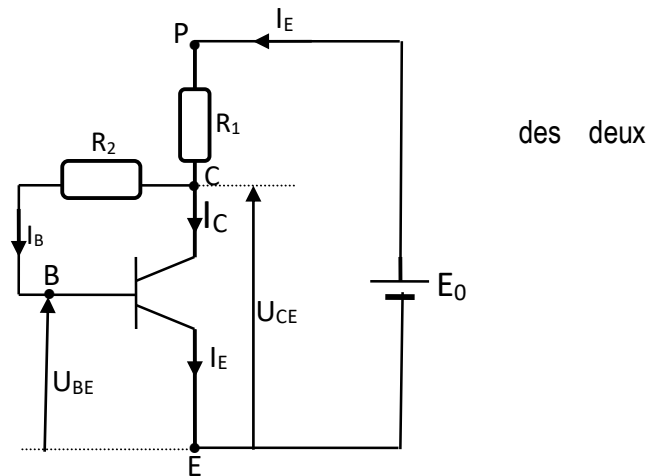
- 1) Donner la représentation coventionnelle d'un transistor N.P.N., puis d'un transistor P.N.P. Quels sont les noms respectifs des pôles de ce composant ?
- 2) À quelle condition un transistor N.P.N. est-il bloqué ?
- 3) Quelles sont les fonctions essentielles qu'un transistor peut assurer dans un montage électronique ?
- 4) Quel est le capteur utilisé dans un recepteur de radio ? quel est son rôle ? Quel est le capteur utilisé dans un électrophone ? quel est son rôle ?
- 5) Dans un montage suiveur utilisant un amplificateur opérationnel, la tension d'entrée U_e et la tension de sortie U_s . Quelle est la relation entre U_e et U_s ? Quel est l'intérêt du montage ?

EXERCICE 2

Un transistor dont le coefficient d'amplification β est égal à 120 fonctionne selon le schéma de la figure suivante. Le générateur continu qui l'alimente a une résistance interne négligeable et une f.é.m $E_0 = 14V$. Les conditions observées sont les suivantes : $U_{BE} = 0,6V$; $U_{CE} = 8V$; $R_1 = 1200 \Omega$

Calculer :

- 1) les intensités I_E , I_B et I_C .
- 2) la valeur de la résistance R_2 ;
- 3) la puissance p_g fournie par le générateur au reste du circuit.
- 4) la puissance P_{th} dissipée par effet joule dans l'ensemble résistances R_1 et R_2 .
- 5) la puissance P_T dissipée dans le transistor. Conclure.



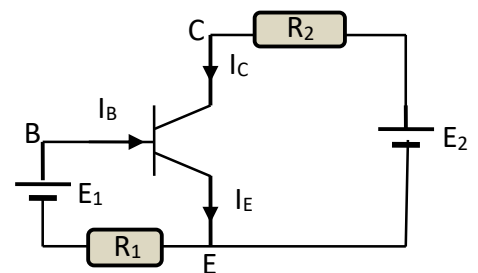
EXERCICE 3

Un transistor fonctionne grâce à deux générateurs de f.é.m. respectives 1,5V et 9V. $R_2 = 100\Omega$ et β , le coefficient d'amplification du transistor est 150.

On mesure dans ces conditions :

tension $U_{BE} = 0,7V$; intensité du courant dans la base $I_B = 100 \mu A$; calculer :

- 1) La valeur à choisir pour la résistance R_1
- 2) L'intensité I_C
- 3) La valeur de la tension U_{CE} .
- 4) Les valeurs des puissances électriques (P_G fournies par les deux générateurs ; P_R consommées par les résistances et P_T dissipée dans le transistor).
- 5) Faire un bilan énergétique de ce circuit.

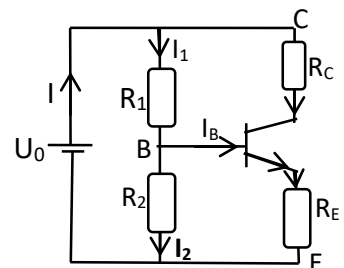


EXERCICE 4

Un transistor N.P.N. polarisé par pont et résistance d'émetteur, fonctionne en amplificateur de courant selon le montage suivant.

Le coefficient d'amplification β vaut 100. Les conditions de l'expérience sont les suivantes : $U_{CE} = 6V$; $U_{BE} = 0,6V$, $R_C = 1K\Omega$; $I_B = 0,03 mA$; $U_0 = 15V$; $R_1 = 100K\Omega$. Calculer

- 1) les intensités des courants I_C ; I_E ; I_1 ; I_2 et I
- 2) Les valeurs des résistances R_E et R_2
- 3) Faire le bilan énergétique du montage en calculant :
 - a) La puissance P_g fournie par le générateur.
 - b) La puissance P_{th} dissipée par effet Joule dans tous les conducteurs ohmiques.
 - c) La puissance P_t dissipée dans le transistor.
- 4) Comparer P_g à $P_{th} + P_t$ et conclure.
- 5) Sur la fiche technique du transistor utilisé on peut lire : $P_{max} = 20mW$.



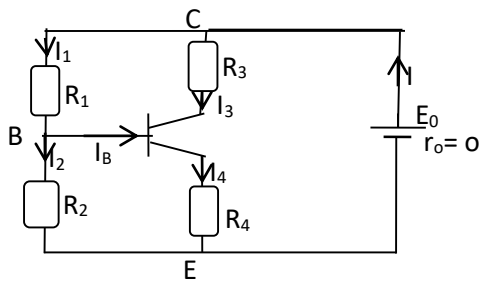
Les conditions de fonctionnement choisies sont-elles acceptables ?

EXERCICE 5

Un transistor N.P.N dont le coefficient d'amplification $\beta=100$, est polarisé par un pont de résistances : $R_1 = 5\text{ K}\Omega$; $R_2 = 1\text{ K}\Omega$; $R_3 = 100\Omega$ et R_4 . La tension d'alimentation est fournie par un générateur de résistance interne et de f.é.m. $E_0 = 24\text{V}$. voir figure. On mesure la tension $U_{BE} = 0,6\text{V}$; de plus $I_3 = 20 I_1$.

Calculer

- 1) les intensités dans les différentes branches.
- 2) La valeur à choisir pour la résistance R_4 .
- 3) La valeur de la tension U_{CE} .
- 4) La puissance P_G fournie par le générateur.
- 5) La puissance P_j consommée par effet joule dans toutes les résistances.
- 6) La puissance P_t consommée dans le transistor.
- 7) Faire le bilan énergétique du circuit.



MONTAGES AVEC UN AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL

● Objectifs pédagogiques

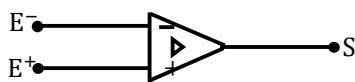
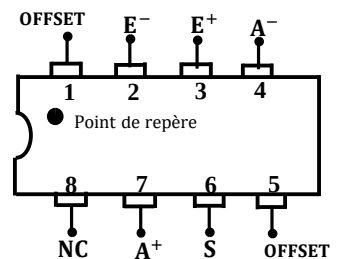
- Décrire amplificateur opérationnel (AO) ;
- Distinguer les domaines de fonctionnement d'un AO ;
- Etudier le fonctionnement d'un AO en régime linéaire ;
- Etudier le fonctionnement d'un AO en régime saturé.

I- Généralités sur les amplificateurs opérationnels

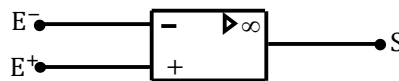
1- Présentation de l'AO

L'AO est un circuit intégré linéaire (puce) ayant huit bornes dont quatre de chaque coté.

- E^- : Entrée inverseuse
- E^+ : Entrée non inverseuse
- S : borne de sortie
- A^+ et A^- : bornes d'alimentation



Symbole ancien



Symbole normalisé

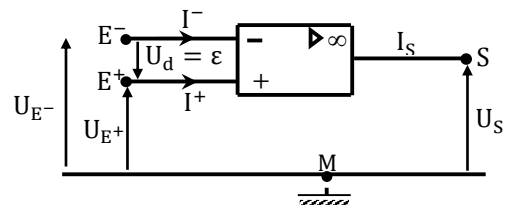
2- Fonctionnement d'un amplificateur opérationnel

a) Les intensités et les tensions

Le courant de sortie I_S peut sortir de l'AO ou y pénétrer par la borne de sortie S.

$$u_{E^+} = u_{E^+M} ; u_{E^-} = u_{E^-M} ; u_S = u_{SM}.$$

$u_d = u_{E^+E^-}$: tension différentielle. u_S est déterminé par u_d .



b) Fonctionnement d'un AO réel

La courbe met en évidence deux modes de fonctionnement d'un amplificateur opérateur :

■ Fonctionnement linéaire de tension :

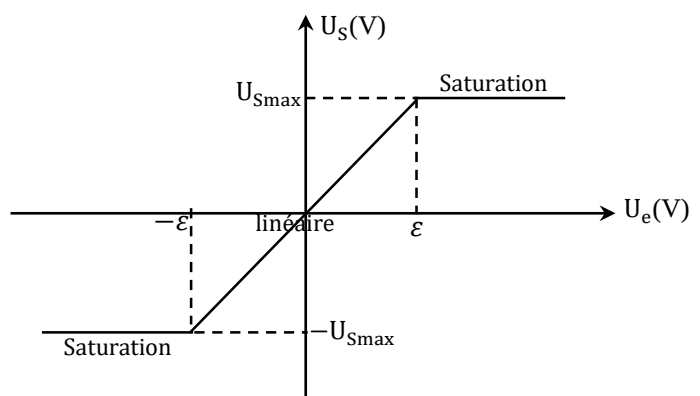
$$-U_{Smax} < U_S < U_{Smax} \text{ pour } \epsilon < U_e < \epsilon$$

$$U_S = GU_e \Rightarrow G = \frac{U_S}{U_e}$$

G est le gain de tension ou coefficient d'amplification de l'AO.

■ Fonctionnement en saturation

$U_e \leq -\epsilon$ et $U_e \geq \epsilon$, l'AO est saturé. U_S ne dépend plus de U_e et $|U_S| = U_{Smax}$



Caractéristique $U_S = f(U_e)$ d'un amplificateur opérationnel

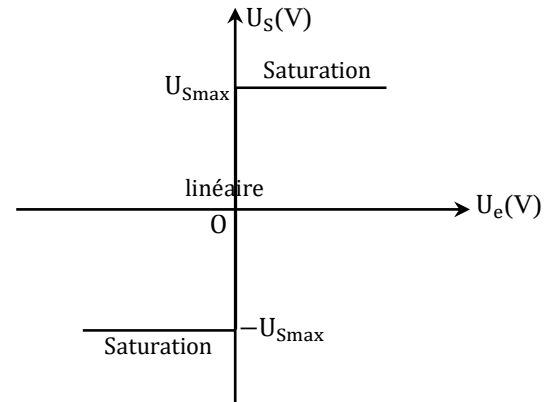
c) Fonctionnement d'un AO idéal (parfait)

■ Fonctionnement en régime linéaire :

- $I^+ = I^- = 0$ et $|U_S| < U_{Smax}$
- $u_d = u_{E^+E^-} = 0 \Rightarrow u_{E^+} = u_{E^-}$.

■ Fonctionnement en régime linéaire :

- $u_d = u_{E^+E^-} \neq 0 \Rightarrow u_{E^+} \neq u_{E^-}$
- $|U_S| = U_{Smax} = V_A$. V_A est la tension de polarisation ou d'alimentation.



Caractéristique $U_S = f(U_e)$ d'un amplificateur opérationnel

II- Fonctionnement de l'amplificateur opérationnel en régime linéaire

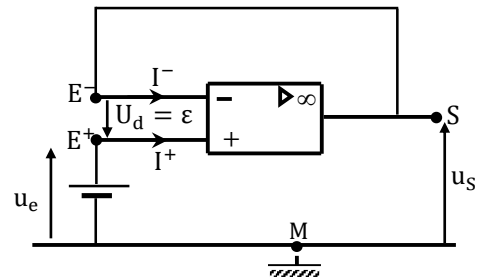
1- Le montage suiveur

$$u_{SM} = u_{SE^-} + u_{E^-E^+} + u_{E^+M} \Rightarrow u_{SM} = -u_d + u_e$$

$$u_d = 0 \Rightarrow u_S = u_e$$

$$\text{On en déduit donc que : } G = \frac{u_S}{u_e} = 1.$$

La tension de sortie suit la tension d'entrée. C'est l'exemple du multimètre.



2- Montage amplificateur inverseur

$$\text{Conditions : } I^+ = I^- = 0 \text{ et } u_d = u_{E^+E^-} = 0 \Rightarrow u_{E^+} = u_{E^-}$$

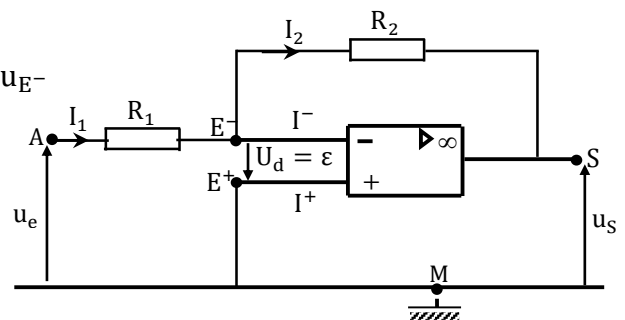
$$\text{Nœud } E^- : I_1 = I_2.$$

$$u_{SM} = u_{SE^-} + u_{E^-E^+} + u_{E^+M} \Rightarrow u_S = -R_2 I_2$$

$$u_{AM} = u_{AE^-} + u_{E^-M} \Rightarrow u_e = R_1 I_1$$

$$\text{d'où } G = \frac{u_S}{u_e} = -\frac{R_2}{R_1} \Rightarrow u_S = -\frac{R_2}{R_1} u_e$$

$$G < 0 \Rightarrow u_S \text{ et } u_e \text{ sont toujours de signe contraire.}$$



3- Montage amplificateur non inverseur

$$\text{Conditions : } I^+ = I^- = 0 \text{ et } u_d = u_{E^+E^-} = 0 \Rightarrow u_{E^+} = u_{E^-}$$

$$\text{Nœud } E^- : I_1 = I_2.$$

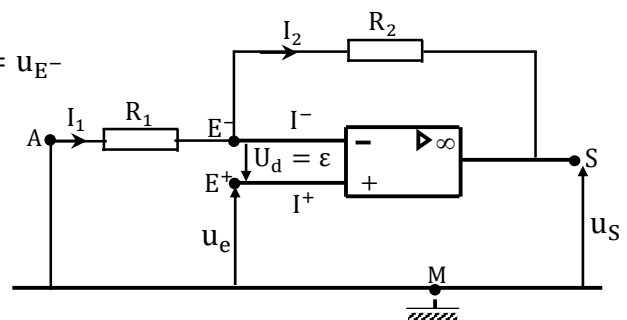
$$u_{E^+M} = u_{E^+E^-} + u_{E^-A} + u_{AM} \Rightarrow u_e = -R_1 I_1$$

$$u_{SM} = u_{SE^-} + u_{E^-A} + u_{AM} \Rightarrow u_S = -(R_1 + R_2) I_1$$

$$\text{d'où } G = \frac{u_S}{u_e} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$\text{Soit : } u_S = \frac{R_1 + R_2}{R_1} u_e = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) u_e$$

$$G > 1 \Rightarrow \text{Amplificateur non inverseur. } u_S \text{ et } u_e \text{ sont toujours de même signe.}$$



4- Montage sommateur-inverseur

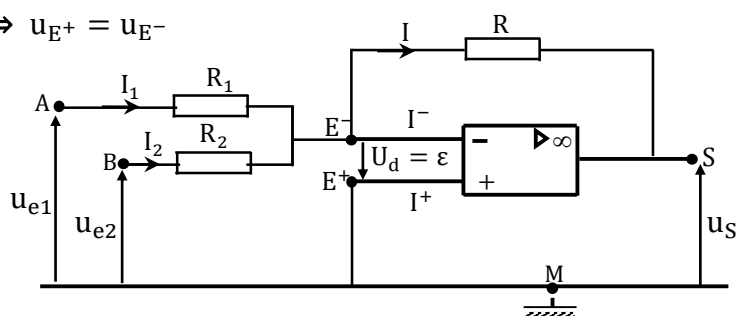
$$\text{Conditions : } I^+ = I^- = 0 \text{ et } u_d = u_{E^+E^-} = 0 \Rightarrow u_{E^+} = u_{E^-}$$

$$\text{Nœud } E^- : I = I_1 + I_2.$$

$$u_{AM} = u_{AE^-} + u_{E^-M} \Rightarrow u_{e1} = R_1 I_1 \Rightarrow I_1 = \frac{u_{e1}}{R_1}$$

$$u_{BM} = u_{BE^-} + u_{E^-M} \Rightarrow u_{e2} = R_2 I_2 \Rightarrow I_2 = \frac{u_{e2}}{R_2}$$

$$u_{SM} = u_{SE^-} + u_{E^-E^+} + u_{E^+M} \Rightarrow u_S = -RI$$



$$\Rightarrow I = -\frac{u_S}{R}$$

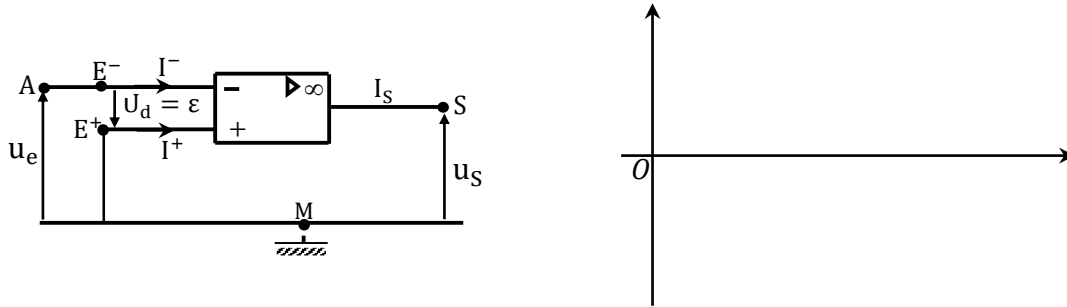
$$I = I_1 + I_2 \Rightarrow u_S = -R \left(\frac{u_{e1}}{R_1} + \frac{u_{e2}}{R_2} \right)$$

Si $R_1 = R_2 = R$ alors $u_S = -(u_{e1} + u_{e2})$.

La tension de sortie est l'opposée de la somme des tensions d'entrée.

III- Fonctionnement d'un amplificateur opérationnel en régime saturé

Conditions : $u_d = u_{E^+E^-} \neq 0 \Rightarrow u_{E^+} \neq u_{E^-}$ et $|u_S| = U_{Smax} \Rightarrow u_S = U_{Smax}$ ou $u_S = -U_{Smax}$
C'est le signe de u_d qui détermine la tension de sortie u_S .



$$u_{AM} = u_{AE^-} + u_{E^-M} \Rightarrow u_e + u_d = 0 \Rightarrow u_d = -u_e$$

D'où :

$$-u_e > 0 \Rightarrow u_d < 0 \Leftrightarrow u_S = -U_{Smax}$$

$$-u_e < 0 \Rightarrow u_d > 0 \Leftrightarrow u_S = U_{Smax}$$

■ Principe de fonctionnement d'un comparateur

U_1 est la tension de référence

U_2 est la tension à comparer à la tension U_1 .

$$u_{AM} = u_{AE^-} + u_{E^-E^+} + u_{E^+M} \Rightarrow u_d = U_2 - U_1$$

d'où :

$$-U_1 > U_2 \Rightarrow u_d < 0 \Leftrightarrow u_S = -U_{Smax}$$

$$-U_1 < U_2 \Rightarrow u_d > 0 \Leftrightarrow u_S = U_{Smax}$$

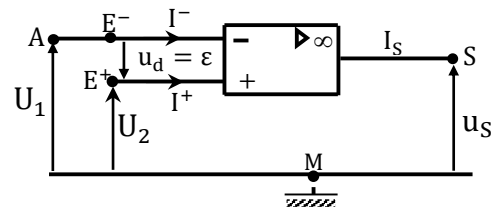


Schéma d'un comparateur

EXERCICES SUR LES AMPLIFICATEURS OPERATIONNELS

EXERCICE 1

On réalise un amplificateur inverseur selon le montage de la figure ci-contre. L'A.O. est idéal, fonctionne en régime linéaire et caractérisé par :

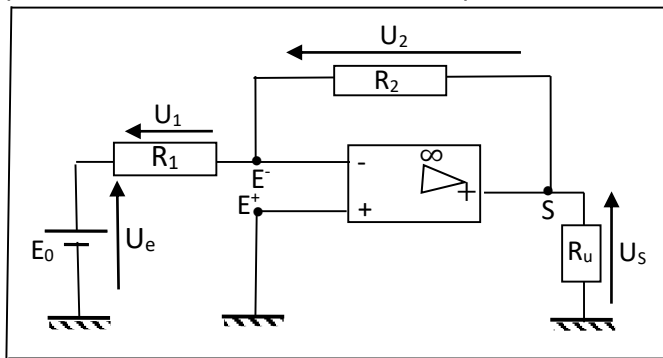
- tension de saturation : $\pm V_{\text{sat}} = \pm 13\text{V}$;
- intensité maximale débitée en sortie : $I_{\text{max}} = 10\text{ mA}$;
- $R_1 = 1\text{ k}\Omega$; $R_2 = 4\text{ k}\Omega$; la charge est constituée par la résistance $R_u = 2\text{ k}\Omega$.

La tension d'entrée U_e , continue, est délivrée par un générateur de f.é.m. $E_0 = 2\text{ V}$ et de résistance interne négligeable. Calculer :

- 1) la valeur de la tension de sortie U_s ;
- 2) les intensités I_1 , I_2 , I_u , I_s

et les sens des courants correspondants qui circulent, respectivement, dans R_1 , R_2 , R_u et dans la branche de sortie de l'A.O. ;

- 3) a) la puissance P_G fournie par le générateur au reste du circuit ;
a) les puissances P_1 , P_2 , P_u consommées dans l'ensemble des résistances R_1 , R_2 , R_u .
b) comparer P_G à la somme $P_1 + P_2 + P_u$. interpréter.

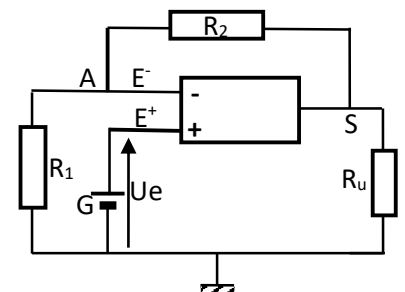


EXERCICE 2

Le montage amplificateur non inverseur schématisé ci-dessous utilise un amplificateur opérationnel parfait (A.O.), fonctionnant en régime linéaire. Le générateur G a une f.é.m. $E = 3\text{ V}$ et une résistance interne $r = 2\text{ }\Omega$. La tension d'entrée est appliquée sur l'entrée E^+ . L'A.O. est bouclé par l'intermédiaire d'un résistor de Résistance électrique $R_2 = 10^3\text{ }\Omega$. L'entrée E^- est reliée à la masse par un résistor de résistance électrique $R_1 = 500\text{ }\Omega$

- 1) Montrer que la tension d'entrée U_e est égale à la f.é.m. E du générateur.
Déterminer les sens et les intensités I_1 et I_2 des courants qui circulent dans les conducteurs ohmiques de résistances R_1 et R_2

- 2) Établir l'expression de la tension électrique de sortie U_s en fonction de la tension électrique d'entrée U_e et les résistances R_1 et R_2 .
- 3) Le gain A ou amplification en tension du montage est le rapport de la tension électrique de sortie U_s à la tension électrique d'entrée U_e .
a) Exprimer A en fonction de R_1 et R_2 et faire l'application numérique.
b) En déduire U_s .
- 4) La charge R_u est un conducteur ohmique de résistance $R_u = 5\text{ k}\Omega$. calculer l'intensité I_s du courant électrique débité par l'A.O.
- 5) Comparer cette intensité I_s à l'intensité I_2 (intensité qui traverse la résistance R_2)
Et dire si l'intensité I_4 sort ou entre par le point S ? calculer sa valeur.
- 6) Quel intérêt ce dispositif présente-il ?



EXERCICE 3

Avec un A.O. supposé parfait, on réalise le montage ci-dessous. Entre les points E et M, une pile maintient une tension constante $U_e = 1,5\text{ V}$. Entre les points S et M, un dipôle utilisateur possède une résistance $R = 500\text{ }\Omega$ réglable.

- 1) Exprimer les intensités I_1 et I_2 en fonction de U_e , U_s , R_1 et R_2 .
- 2) Montrer que $\frac{U_s}{U_e} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$ Le coefficient d'application $\beta = \frac{U_s}{U_e}$.

Calculer la valeur R_2 pour $R_1 = 1\text{ k}\Omega$ et $\beta = 10$.

- 3) Calculer la puissance électrique P_P fournie par la pile.

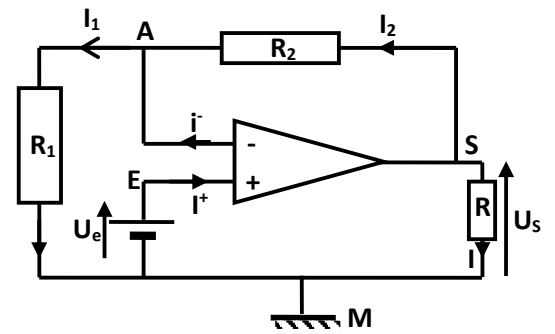
4) Calculer les puissances consommées :

-Par les conducteurs ohmiques de résistance R_1 et R_2 .

-Par le dipôle utilisateur.

5) L'A.O. consomme une puissance $P_{AO} = 15 \text{ mW}$

Calculer la puissance P_f fournie par l'alimentation de l'A.O.



LE MOUVEMENT

CARACTERE RELATIF DU MOUVEMENT

- **Objectifs pédagogiques**

- Associer un mouvement à un repère.
- Déterminer les caractéristiques du vecteur-vitesse d'un point mobile.
- Identifier la nature de quelques mouvements.

I- Caractère relatif du mouvement

Un corps est en mouvement si sa position change au cours du temps. Tout objet en mouvement est appelé **mobile**.

1- Les Référentiels

a) Notion de référentiel

Un voyageur emprunte un car pour partir en voyage. Par rapport à la carrosserie du car, il est repos. Par contre, par rapport à la route, il est en mouvement.

La notion de mouvement est donc liée à l'objet de référence choisi. Le mouvement a donc un **caractère relatif**.

- **Le référentiel est donc le solide par rapport auquel on décrit le mouvement d'un mobile.**

b) Exemples de référentiels

- **Référentiel de Copernic ou Héliocentrique**

Il a son origine au centre du soleil et les trois axes orthogonaux sont dirigés vers trois étoiles fixes. Il est généralement utilisé pour décrire le mouvement des astres du système solaire.

- **Référentiel géocentrique**

Il a son origine au centre de la terre et ses trois axes orthogonaux sont dirigés parallèlement à ceux du référentiel héliocentrique. Il est généralement utilisé pour décrire le mouvement des satellites de la Terre.

- **Référentiel terrestre**

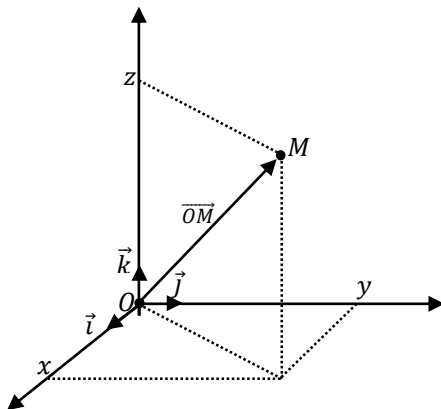
Le solide de référence est la Terre (arbre, mur, table d'expérience...). Il est utilisé dans le cadre des études mécaniques effectuées dans un laboratoire ou à partir du sol.

2- Repérage d'un point mobile

a) Repère d'espace

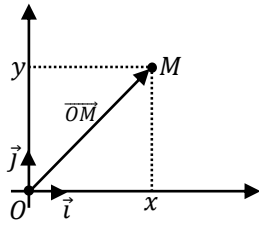
C'est un repère lié à un référentiel donné. Il permet de définir la position du point mobile par ses coordonnées. Ce repère est en général orthonormé.

- Dans l'espace, tout point mobile M est repéré par ses coordonnées x, y et z.



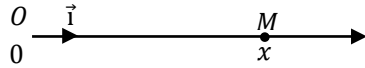
Le vecteur position $\overrightarrow{OM}$ est donné par :
$$\overrightarrow{OM} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}.$$

- Dans le plan, le mobile est repéré par ses coordonnées x et y .



Le vecteur position $\overrightarrow{OM}$ est donné par :
 $\overrightarrow{OM} = x\vec{i} + y\vec{j}$.

- Dans le cas d'un mouvement rectiligne, le mobile est repéré par sa coordonnée x .



Le vecteur position $\overrightarrow{OM}$ est donné par :
 $\overrightarrow{OM} = x\vec{i}$.

b) Repère de temps

Le repère de temps est défini par :

- **Un instant origine**, choisi arbitrairement, comme origine des dates et noté $t=0$.
- **Une unité de durée** dont l'unité légale est la **seconde (symbole s)**.

3- La trajectoire

La trajectoire d'un point mobile est l'ensemble des positions occupées par ce mobile au cours de son mouvement.

II- La vitesse d'un mobile

1- Vitesse moyenne d'un mobile

La vitesse moyenne est le quotient de la distance d parcouru par la durée Δt mise pour la parcourir :

$$v_m = \frac{d}{\Delta t}$$

Exemple : Un automobiliste effectue le trajet Lomé-Sokodé, long de 345km, en 3h45min. Calculer sa vitesse moyenne.

2- Vitesse instantanée d'un mobile

La vitesse instantanée notée v , est la vitesse à un instant précis. Elle est souvent indiquée par le compteur de vitesse (automobiles, motos, ...).

3- Vecteur-vitesse d'un mobile

La vitesse d'un mobile est une grandeur vectorielle notée $\vec{v}$. Il est caractérisé par :

- Direction : tangente à la trajectoire.
- Sens : Celui du mouvement.
- Intensité : valeur de la vitesse à la date t . Elle est notée v et s'exprime en m/s .

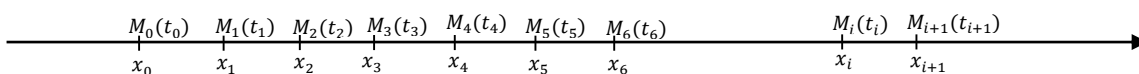
III- Vecteur-vitesse pour un mouvement rectiligne

1- Le mouvement rectiligne uniforme

• Définition

Un point mobile M est animé d'un mouvement rectiligne uniforme, s'il parcourt sur une même droite, toujours dans le même sens, des distances égales pendant des durées égales.

• Vitesse moyenne et vitesse instantanée.



$$M_0M_1 = M_1M_2 = M_2M_3 = M_3M_4 = M_4M_5 = \dots = M_iM_{i+1} = l = 2cm$$

$$t_1 - t_0 = t_2 - t_1 = t_3 - t_2 = t_4 - t_3 = t_5 - t_4 = \dots = t_{i+1} - t_i = \tau = 80ms$$

- Vitesse moyenne entre les dates t_0 et t_5 :

$$v_m = \frac{M_0M_5}{t_5 - t_0} = \frac{M_0M_5}{5\tau} \quad \text{AN : } v_m = 0,25m/s$$

- La vitesse instantanée v_i à la date t_i est définie par la relation :

$$v_i = \frac{M_{i-1}M_{i+1}}{t_{i+1}-t_{i-1}}$$

Exemples : $v_1 = \frac{M_0M_2}{t_2-t_0} = \frac{M_0M_2}{2\tau} = 0,25m/s$; $v_2 = \frac{M_1M_3}{t_3-t_1} = \frac{M_1M_3}{2\tau} = 0,25m/s$; $v_3 = \frac{M_2M_4}{t_4-t_2} = \frac{M_2M_4}{2\tau} = 0,25m/s$

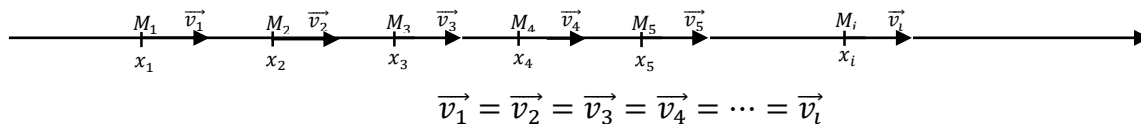
On en déduit donc que pour un mouvement rectiligne uniforme $v_1 = v_2 = v_3 = \dots = v_m$

• Vecteur vitesse

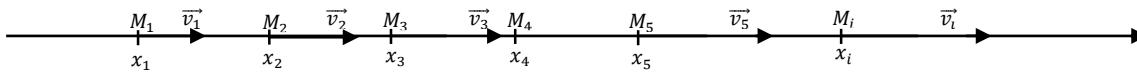
A la date t_i le vecteur vitesse $\vec{v}_i$ du point mobile M est donné par la relation :

$$\vec{v}_i = \frac{\vec{M_{i-1}M_{i+1}}}{t_{i+1}-t_{i-1}}$$

- **Direction** : celle de la trajectoire
- **Sens** : celui du mouvement
- **Norme** : valeur de la vitesse à la date t_i ; $v_i = \frac{M_{i-1}M_{i+1}}{t_{i+1}-t_{i-1}}$



2- Le mouvement rectiligne uniformément varié



Un mouvement est rectiligne uniformément varié si le vecteur-vitesse varie donc $\vec{v}_1 \neq \vec{v}_2 \neq \vec{v}_3 \neq \vec{v}_4 \neq \dots \neq \vec{v}_i$ soit $v_1 \neq v_2 \neq v_3 \neq \dots$

- Si $v_0 < v_1 < v_2 < v_3 < \dots$ alors le mouvement est rectiligne uniformément accéléré.
- Si $v_0 > v_1 > v_2 > v_3 > \dots$ alors le est rectiligne uniformément retardé.

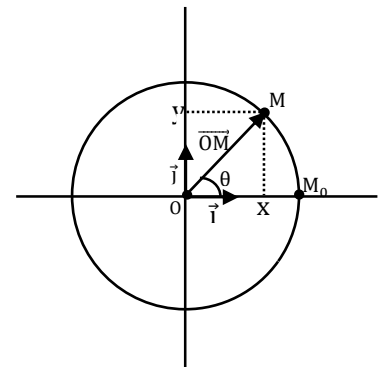
IV- Mouvement circulaire uniforme

1- Repérage d'un mobile sur un cercle

Un point mobile M est animé d'un mouvement circulaire uniforme si sa trajectoire est une droite et si sa vitesse est constante.

La position d'un point mobile M peut être défini par :

- L'abscisse angulaire θ tel que $\theta = (\vec{OM}_0; \vec{OM})$
- L'abscisse curviligne $s = \vec{M_0M}$ tel que $s = r\theta$.



2- Vitesse angulaire et vitesse linéaire

Un mouvement circulaire uniforme est caractérisé par :

- La vitesse angulaire ω exprimée en rad/s :

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \Rightarrow \Delta\theta = \omega \cdot \Delta t$$
avec $\Delta\theta = \theta_f - \theta_i$ angle balayé et $\Delta t = t_f - t_i$ durée de balayage.
- La vitesse linéaire $\vec{v}$ qui est tangente à la trajectoire et orientée dans le sens du mouvement et qui s'exprime en m/s .

$$\mathbf{v} = \mathbf{r} \cdot \boldsymbol{\omega}$$

3- Période et fréquence

- La période T d'un mouvement circulaire uniforme est la durée d'un tour

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

- La fréquence N ou f est le nombre de tours effectués en une seconde

$$N = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \Rightarrow \omega = 2\pi N$$

EXERCICES SUR LE MOUVEMENT

EXERCICE 1

- 1) Quelles sont les unités S.I. de longueur, de temps et de vitesse ?
- 2) Préciser la direction du vecteur vitesse d'un mobile par rapport à sa trajectoire.
- 3) Définir : - trajectoire – mouvement rectiligne uniforme – mouvement circulaire – vitesse moyenne – vitesse instantanée - .
- 4) Dans un mouvement rectiligne uniforme, le vecteur vitesse reste-t-il constant ?
- 5) Dans un mouvement circulaire uniforme, le vecteur vitesse reste-t-il constant ?

EXERCICE 2

Le record du monde de 200 m plat était détenu en 1987 par l'athlète Italien Pietro Menea avec le temps de 19,72 s.

- 1) Calculer en m/s et en km/h, la vitesse moyenne du coureur.
- 2) Quelle distance parcourrait-il s'il pouvait maintenir cette vitesse pendant 5 minutes ?
- 3) Combien de temps mettra-t-il pour parcourir 1 km s'il pouvait maintenir la même vitesse de course sur cette distance ?

EXERCICE 3

Le T.G.V. n° 603 quitte Paris à 7h et arrive à Lyon-Part Dieu à 9 h 02. En sens inverse, le T.G.V. n° 711 quitte Lyon-Part Dieu à 7 h 25 et arrive à Paris à 9 h 29. La distance entre les deux villes est de 480 km. On suppose que chaque train a un mouvement uniforme.

- 1) À quelle heure les deux trains se croisent-ils ? À quelle distance de Paris le croisement a-t-il lieu ?
- 2) Calculer, en m/s, la vitesse moyenne du T.G.V. le plus rapide.
- 3) Avec quelle vitesse le T.G.V. n° 711 devrait-il rouler pour que le croisement s'effectue exactement à mi-parcours ?

EXERCICE 4

Pierre et Paul courent sur la même route dans le même sens. Leurs vitesses constantes ont pour valeurs respectives $V = 8 \text{ m/s}$ et $V' = 5 \text{ m/s}$.

À la date $t = 0$, Paul est à 21 m devant Pierre.

- 1) À quelle date Pierre rattrapera-t-il Paul ?
- 2) Quelle sera la distance entre Pierre et Paul ,
 - a) à la date $t_1 = 5 \text{ s}$? b) à la date $t_2 = 10 \text{ s}$?
- 3) à quelle date la distance séparant Pierre et Paul vaudra-t-elle 50 m ?

La FORCE

Objectifs pédagogiques

- Identifier les actions mécaniques à partir de leurs effets.
- Modéliser une action mécanique.
- Appliquer le principe des actions réciproques.

I- Actions mécaniques

1. Actions de contact

a) Actions de contact ponctuel

- Appuyons avec une pointe sur un ballon. L'action de la pointe est localisée à la pointe : c'est une action de **contact ponctuel**. Cette action a pour effet de déformer le ballon, elle a un **effet statique**.
- Lorsqu'une charge, attachée à une corde, est soulevée par un hélicoptère, l'action de la corde sur la charge est localisée au niveau du point d'attache : c'est une action de contact ponctuel. Cette action a pour effet de mettre la charge en mouvement : elle a un **effet dynamique**.

b) Actions de contact réparties

Poussons une éponge, les actions de contact de la main sur l'éponge sont réparties sur toute la surface de l'éponge. Ces actions ont pour effet de **déformer** l'éponge et de la mettre en mouvement. Elles ont des effets **statique et dynamique**.

2. Actions à distance

Lançons une balle en l'air : elle retombe sur le sol. Elle est soumise à **l'action à distance** de la Terre. Cette action a pour effet de mettre la balle en **mouvement** ou **modifier son mouvement**.

3. Conclusion.

Une action mécanique exercée sur un corps peut :

- Le mettre en mouvement ou modifier son mouvement,
- Le déformer ou le maintenir au repos.

4. Notion de force

Nous attribuerons tous les effets observés lors des situations précédentes, effets dynamique et statique, à la même cause. Cette cause commune est appelée force.

5. Vecteur force

Une action mécanique est représentée par un vecteur appelé vecteur force.

Le vecteur force est caractérisé par :

- **Direction** : Direction dans laquelle s'exerce l'action.
- **Sens** : Sens dans lequel s'exerce l'action.
- **Point d'application** : C'est le point où s'exerce l'action mécanique
- **Norme** : L'intensité de la force. Elle est mesurée à l'aide d'un dynamomètre et s'exprime en Newton.

II. Etude de quelques forces

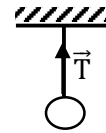
1. Forces de contact

a) Tension d'un fil

L'action mécanique exercée par un fil tendu sur un objet auquel il est attaché est représentée par une force appelée **Tension** ($\vec{T}$).

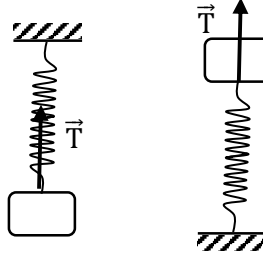
Les caractéristiques de la tension sont :

- **Direction** : celle du fil tendu.
- **Sens** : de l'objet vers le fil.
- **Point d'application** : au point d'attache.
- **Norme** : L'intensité de la force notée T .



b) Tension d'un ressort

L'action mécanique exercée par un ressort sur un objet auquel il est attaché est représentée par une force appelée aussi **Tension** ($\vec{T}$).

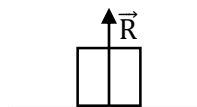


Les caractéristiques de la tension sont :

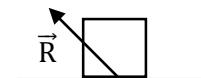
- **Direction** : elle est dirigée suivant l'axe du ressort.
- **Sens** : de l'objet vers le ressort s'il est tendu et du ressort vers l'objet s'il est comprimé.
- **Point d'application** : au point d'attache.
- **Norme** : La tension du ressort est proportionnelle à son allongement ou à sa compression dans certaines limites d'étirement ou de compression: $T = k|\Delta l| = k|l - l_0|$
 k : La raideur du ressort en N/m ; l_0 : longueur à vide du ressort ; l : longueur du ressort étiré ou comprimé

c) Les réactions

Les actions mécaniques d'un support sur un solide avec lequel il est en contact sont réparties sur toute la surface du solide en contact avec le support. Elles sont représentées par une force unique appelée réaction du support ($\vec{R}$).



Réaction sans frottements



Réaction sans frottements $\rightarrow$

Les caractéristiques de la réaction sont :

- **Direction** : orthogonale au support s'il n'y a pas de frottement. Dans le cas contraire elle fait un angle avec l'horizontale à déterminer.
- **Sens** : du support vers l'objet.
- **Point d'application** : un point de la surface de contact avec le support.
- **Norme** : L'intensité de la force notée R .

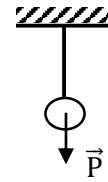
2. Forces à distance

a) Poids d'un corps

Le poids d'un solide est l'attraction que la Terre exerce sur ce solide. C'est une force à distance.

Les caractéristiques du poids sont :

- **Direction** : verticale.
- **Sens** : du haut vers le bas.
- **Point d'application** : centre de gravité.
- **Norme** : L'intensité du poids notée P . $P = mg$
 m : la masse du solide ; g : champs de pesanteur en N/kg



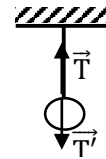
b) Forces électriques

Un objet chargé exerce sur un autre objet chargé une force à distance répartie sur le volume de l'objet. Cette force est représentée par une force unique appelée force électrique.

III- Interaction

1. Exemple d'interaction mécanique

Le fil exerce une force $\vec{T}$ sur S et dans le même temps S exerce sur le fil une force $\vec{T}'$: il s'agit d'interaction entre les deux systèmes. On a $\vec{T} = -\vec{T}'$



2. Principe des actions réciproques

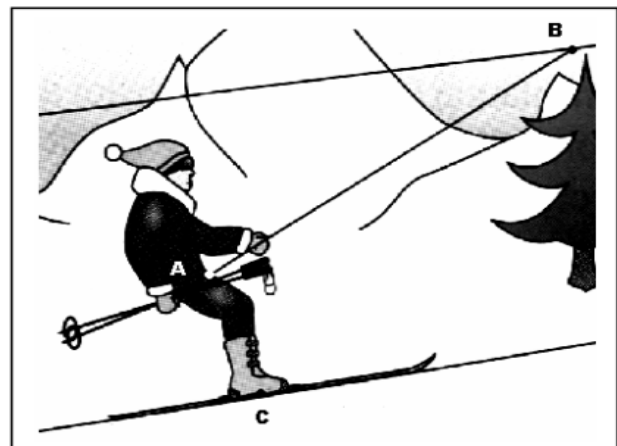
Lorsque deux solides A et B sont en interaction, le solide A exerce une force $\vec{F}_{A/B}$ sur le corps B et le corps B exerce une force $\vec{F}_{B/A}$ sur le corps A telle que : $\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$

Exercice n°1: Ce skieur est tracté par une force $\vec{F}_1$ de 50 N.

a) Représenter cette force de traction à l'échelle 1cm = 10 N

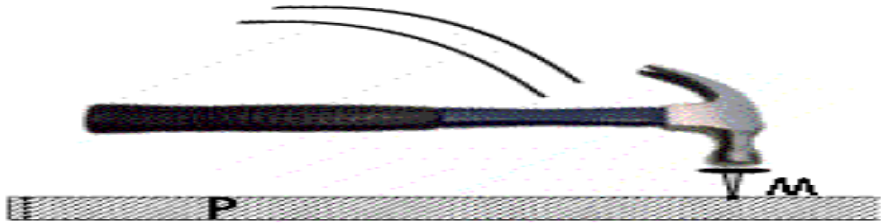
b) Compléter son tableau de caractéristique:
 La droite (AB) fait un angle de 30° avec l'horizontale.

Point d'application	
droite d'action	
sens	
intensité	
notation	



Exercice : 2

Compléter le tableau de caractéristique et représenter graphiquement la force suivant l'échelle indiquée



Action du clou ,C, sur la planche, P (au moment de la frappe) :
300 N
Echelle : 1cm $\hat{=}$ 100 N

Point d'application	
droite d'action	
sens	
intensité	
notation	

Exercice : 3

Pour le repassage des nappes et des serviettes, on utilise un fer à repasser dont la masse est égale à 1,2 kg.

- 1) Calculer, en N, le poids P de ce fer à repasser. On donne $g = 10 \text{ N/kg}$.
- 2) Posé sur une table, le fer à repasser est en équilibre, soumis à deux forces. Déterminer les caractéristiques de ses deux forces
- 3) Représenter ces deux forces sur le schéma. Échelle graphique : 1 cm représente 4 N.

CENTRE D'INERTIE-QUANTITE DE MOUVEMENT

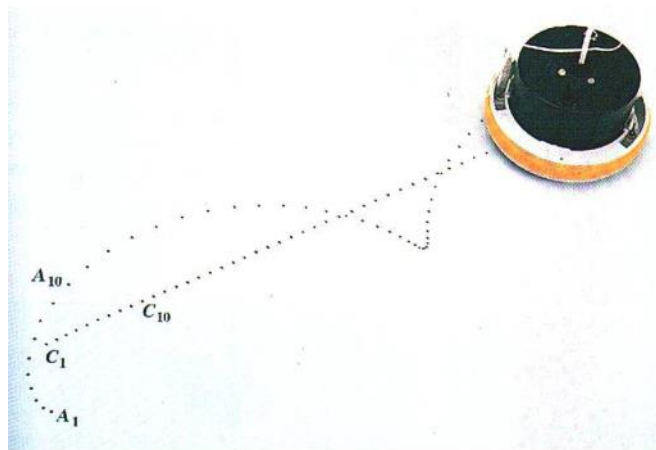
Objectifs pédagogiques

- Définir le centre d'inertie d'un solide.
- Définir la quantité de mouvement d'un solide.
- Définir un choc élastique et un choc mou.

I- Mise en évidence expérimentale du centre d'inertie d'un corps solide. Principe d'inertie

1. Mise en évidence du centre d'inertie

Plaçons un mobile autoporteur sur une table à coussin d'air horizontale.

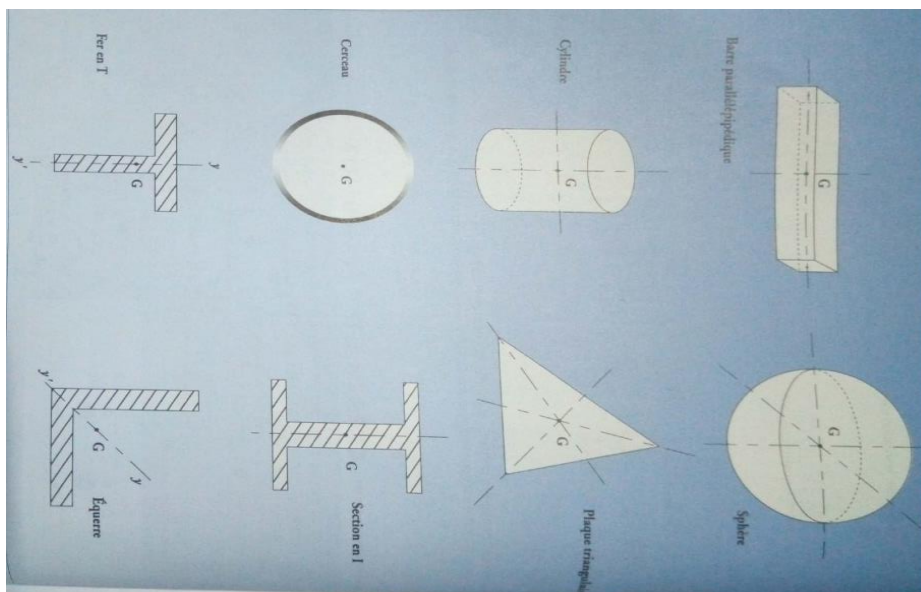


Le centre du mobile est animé par un mouvement rectiligne uniforme alors que les autres points font un mouvement de rotation autour du centre.

2. Définition du centre d'inertie.

Le centre d'inertie d'un solide est le point unique de ce solide qui est animé d'un mouvement rectiligne et uniforme lorsque le solide se déplace sans frottement sur un plan horizontal. Il sera noté G .

3. Centre d'inertie de quelques solides homogènes



4. Centre d'inertie de deux solides rigidement liés

Considérons un système de deux solides S_1 (masse m_1 et centre d'inertie G_1) et S_2 (masse m_2 et centre d'inertie G_2). Soit O un point quelconque du plan.

Le centre d'inertie G du système est donné par la relation suivante :

$$m_1 \overrightarrow{OG_1} + m_2 \overrightarrow{OG_2} = \overrightarrow{OG} (m_1 + m_2) \Rightarrow \overrightarrow{OG} = \frac{m_1 \overrightarrow{OG_1} + m_2 \overrightarrow{OG_2}}{m_1 + m_2}$$

5. Principe de l'inertie

a) Système

Un système est un solide ou un ensemble de solides, déformable ou non.

Tout ce qui n'appartient pas au système choisi s'appelle le milieu extérieur.

b) Système isolé

Un système isolé est un système qui ne subit aucune force de la part du milieu extérieur.

c) Système pseudo-isolé

Un système pseudo-isolé est un système qui est soumis à des forces qui, à chaque instant, se compensent : $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$.

d) Enoncé du principe de l'inertie

Le centre d'inertie G d'un système isolé ou pseudo-isolé :

- reste au repos s'il est initialement au repos,
- est animé d'un mouvement rectiligne uniforme, s'il est initialement en mouvement.

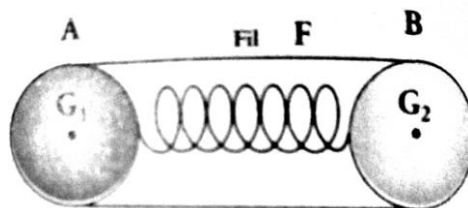
- **Un solide peut être en mouvement sans être soumis à aucune force. Mais alors le centre d'inertie G du solide est soit animé d'un mouvement rectiligne soit au repos et le solide tourne alors autour de G .**

II- Quantité de mouvement

1. Eclatement d'un système de deux solides.

a) Expérience

Soient deux mobiles $S_1(A)$ et $S_2(B)$ de masses respectives m_1 et m_2 munis de bagues élastiques. A l'aide d'un fil de nylon F , associons les mobiles en comprimant les ressorts des bagues. Les mobiles étant au repos sur la table horizontale, brûlons le fil qui les relie.



b) Observation

G_1 et G_2 se déplacent sur une même droite mais en sens inverse. Donc $\vec{v}_{G_1}$ et $\vec{v}_{G_2}$ sont des vecteurs colinéaires de sens opposés avec $m_1 v_{G_1} = m_2 v_{G_2}$ alors on a $m_1 \vec{v}_{G_1} = -m_2 \vec{v}_{G_2}$ d'où $m_1 \vec{v}_{G_1} + m_2 \vec{v}_{G_2} = \vec{0}$

2. Vecteur quantité de mouvement d'un solide

Le vecteur quantité de mouvement $\vec{P}$ est le produit de sa masse m par le vecteur vitesse $\vec{v}_G$ de son centre d'inertie.

$$\vec{P} = m \vec{v}_G \text{ avec } P \text{ en kg.m.s}^{-1}, m \text{ en kg et } v_G \text{ en m.s}^{-1}$$

3. Vecteur quantité de mouvement d'un système de deux solides

La quantité de mouvement du système $\{S_1 S_2\}$ est égale à la somme vectorielle des quantités de mouvement des solides S_1 et S_2 : $\vec{P} = \vec{P}_1 + \vec{P}_2$

- En désignant par G le centre d'inertie du système S₁ et S₂ et M la masse du système on a $\vec{P} = M\vec{v}_G$

4. Conservation de la quantité de mouvement d'un système pseudo-isolé

a) Retour à l'expérience d'éclatement

L'expérience de l'éclatement montre que S₁ et S₂ possèdent avant l'éclatement une quantité de mouvement totale nulle : $\vec{P} = \vec{0}$ et $\vec{v}_G = \vec{0}$.

Mais après l'éclatement S₁ et S₂ possèdent respectivement : $\vec{P}_1 = m_1\vec{v}_{G_1}$ et $\vec{P}_2 = m_2\vec{v}_{G_2}$

or $m_1\vec{v}_{G_1} + m_2\vec{v}_{G_2} = \vec{0}$ donc $\vec{P}_1 + \vec{P}_2 = \vec{P}$.

La quantité de mouvement s'est conservée pendant l'éclatement.

- **La quantité de mouvement d'un système pseudo-isolé se conserve lorsqu'il éclate en plusieurs fragments.**

b) Applications aux chocs

Un choc de plein fouet est un choc se produisant entre deux solides dont les quantités de mouvement sont et restent colinéaires. On distingue deux types de chocs de plein fouet : Choc mou et choc élastique.

b₁) Choc mou

Un choc est dit mou si après le choc les deux mobiles restent accrochés l'un à l'autre.

- Avant le choc : $\vec{P} = m_1\vec{v}_{G_1} + m_2\vec{v}_{G_2}$
- Après le choc : $\vec{P}' = (m_1 + m_2)\vec{v}_G$
- Conservation : $(m_1 + m_2)\vec{v}_G = m_1\vec{v}_{G_1} + m_2\vec{v}_{G_2}$

b₂) Choc élastique

Un choc est dit élastique si après le choc les deux mobiles redeviennent indépendants l'un de l'autre.

- Avant le choc : $\vec{P} = m_1\vec{v}_{G_1} + m_2\vec{v}_{G_2}$
- Après le choc : $\vec{P}' = m_1\vec{v}'_{G_1} + m_2\vec{v}'_{G_2}$
- Conservation : $m_1\vec{v}'_{G_1} + m_2\vec{v}'_{G_2} = m_1\vec{v}_{G_1} + m_2\vec{v}_{G_2}$

5. Variation de quantité de mouvement

a) Exemple d'un solide non isolé

Si un solide est soumis à une force $\vec{F}$, sa quantité de mouvement $\vec{P}$ varie.

Dans le cas du mouvement de chute libre, si entre deux instants voisins, t₁ et t₂, $\vec{v}_G$ varie de $\Delta\vec{v}_G = \vec{v}_{G_2} - \vec{v}_{G_1}$ alors $\vec{P}$ varie de $\Delta\vec{P} = m(\vec{v}_{G_2} - \vec{v}_{G_1}) = m\Delta\vec{v}_G$. $\Delta\vec{P}$ a donc même direction, même sens, même origine G que $\Delta\vec{v}_G$. Entre les instants t₁ et t₂, le poids $\vec{p}$ qui s'exerce sur le solide a même direction et même sens que $\Delta\vec{P}$.

b) Exemple d'un système de deux solides en interaction

Si nous reprenons l'étude de l'éclatement du système formé de deux mobiles S₁ et S₂, la variation $\Delta\vec{P}_1$ de la quantité de mouvement de S₁ est due à la force $\vec{F}_{2/1}$ exercée par S₂ sur S₁,

réciroquement $\Delta\vec{P}_2$ est due à la force $\vec{F}_{1/2}$ exercée par S₁ sur S₂.

Le principe des actions réciroques donne $\vec{F}_{2/1} = -\vec{F}_{1/2}$ d'où $F_{2/1} = F_{1/2}$ par ailleurs on a

$$\Delta\vec{P}_1 = -\Delta\vec{P}_2 \text{ d'où } \Delta P_1 = \Delta P_2.$$

Les deux solides S₁ et S₂ soumis pendant la même durée à des forces de même intensité subissent des variations de quantité de mouvement de même norme.

- Si entre deux instants voisins t₁ et t₂, la quantité de mouvement d'un solide varie de $\Delta\vec{P} = \vec{P}_2 - \vec{P}_1$ le solide est soumis à une force $\vec{F}$ caractérisée par :
- Direction : celle de $\Delta\vec{P}$

- Sens : celui de $\Delta \vec{P}$
 - Norme : F proportionnelle à ΔP .
- Un système peut être soumis à des forces sans que sa quantité de mouvement varie. C'est le cas par exemple d'un solide tournant autour d'un axe fixe si son centre d'inertie est sur cet axe.

EXERCICE1

1. Deux mobiles de masse $m_1=880\text{g}$ et 480g peuvent glisser sans frottement sur une table horizontale. Le mobile de masse m_1 se déplace à la vitesse $v_1=1,2\text{m.s}^{-1}$ sur l'axe $x'x$ et entre en collision avec le mobile de masse m_2 initialement au repos. Après le choc le mobile m_2 se déplace dans le sens $x'x$ avec la vitesse $v'_2=0,8\text{m.s}^{-1}$. Déterminer complètement le vecteur-vitesse $\vec{v}'_1$ du mobile 1 après le choc.
2. Un obus de 5kg est lancé horizontalement avec une vitesse de 600 m.s^{-1} par un canon de 1000 kg . Quelle est la vitesse de recul du canon juste après le tir ?

EXERCICE2

Sur une table à coussin d'air horizontale, deux palets aimantés qui se repoussent, sont attachés l'un à l'autre par un fil court. A l'instant $t=0\text{s}$. Les palets étant immobiles, on brûle le fil ; ceux-ci s'éloignent l'un de l'autre. Les masses des palets sont $m_1=790\text{g}$ et $m_2 = 1090\text{g}$.

1. Quelles sont les trajectoires des centres d'inertie G_1 et G_2 de chaque palet ? Quelle est la trajectoire du centre d'inertie de l'ensemble ?
2. Au bout de $1,6\text{s}$, le palet de masse m_1 a parcouru la distance de 80cm . En déduire la vitesse de chaque palet.

EXERCICE3

Deux patineurs, Pierre et Anne, de masses respectives $m_1= 50\text{kg}$ et $m_2= 40\text{ kg}$, initialement immobile sur un patinoire, se repoussent mutuellement et se séparent à la date $t=0$.

1. Pierre après la séparation a une vitesse $v_1= 2\text{m.s}^{-1}$. Quelle est la vitesse v_2 d'Anne ?
2. Quelle est la vitesse du centre d'inertie G de l'ensemble des deux patineurs ?
3. Quelle distance séparera Pierre et Anne à la date $t=2\text{s}$.

EXERCICE4

Un palet D_1 , de masse 200g se déplaçant sur une table à coussin d'air horizontale, heurte un autre palet D_2 immobile, de masse 300g . Après le choc, D_1 est dévié de 40° . La vitesse du centre d'inertie de D_1 est $0,4\text{ m.s}^{-1}$ avant le choc est de $0,2\text{ m.s}^{-1}$ après le choc.

1. Déterminer graphiquement la direction et la vitesse de D_2 après le choc.
2. Retrouver ce résultat par le calcul.

EXERCICE5

Sur un banc à coussin d'air que l'on supposera très long, sont disposés trois mobiles A ($m_A= 300\text{g}$), B ($m_B=200\text{g}$) et C ($m_C= 200\text{g}$). On lance A vers B (à l'arrêt) avec une vitesse $v_A = 80\text{ cm.s}^{-1}$.

1. Après le choc, A continue sa course à la vitesse $v'_A = 16\text{ cm.s}^{-1}$. Quelle est la vitesse de B ?
2. B rencontre C (à l'arrêt) et ces deux mobiles s'accrochent. Quelle est la vitesse de l'ensemble ?
3. A peut-il rattraper l'ensemble B U C ?

EXERCICE6

1. Soit un disque homogène de faible épaisseur, de centre O_1 , de diamètre d_1 . Ce disque est percé d'une ouverture circulaire d_2 est de centre O_2 .

Trouver la position du centre de masse G de ce système.

On donne : $d_1= 20\text{cm}$; $d_2 = 2\text{cm}$; $O_1O_2= 5\text{ cm}$.

2. La masse volumique du fer est 7800 kg.m^{-3} .

a) Quelle est la longueur d'une barre de section carrée de côté $a= 2\text{ cm}$ sachant que la masse de cette barre est 20 kg ?

b) Quelle est la position de son centre d'inertie ?

3. Deux cylindres à base circulaire ont même masse, l'un est en cuivre, l'autre en aluminium. Assemblée par leur base, ils forment un cylindre de hauteur $h = 50\text{ cm}$.

a) Quelle est la hauteur de chacun des cylindres ?

b) Quelle est leur masse commune si leur section est 20 cm^2

c) Quelle est la position du centre d'inertie de chacun des solides ?

d) Quelle est la position du centre d'inertie du système formé par les deux solides ?

4. Une tige homogène $AB = 20 \text{ cm}$ a une masse $m = 100 \text{ g}$. On place en A un objet ponctuel de masse $m_1 = 100 \text{ g}$ et en B un autre objet ponctuel de masse $m_2 = 200 \text{ g}$.

Quelle est la position du centre de masse de l'ensemble ?

5. On considère une plaque mince carrée ABCD. On découpe dans cette plaque le carré IBJO (I et J sont les milieux de AB et BC). Déterminer le centre de masse de la plaque AIOJCD.

EXERCICE 7

Deux solides S_1 et S_2 de masses respectives $m_1 = 100 \text{ g}$ et

$m_2 = 200 \text{ g}$ se déplacent sans frottement sur une même droite $x'x$ à la vitesse $v_1 = 2 \text{ m.s}^{-1}$. Le solide S_2 se déplace dans le sens contraire à la vitesse $v_3 = 3 \text{ m.s}^{-1}$.

Les deux solides, se dirigeant l'un vers l'autre, provoquent un choc au cours duquel il y a conservation du vecteur-quantité de mouvement. Les vecteurs-vitesses des solides avant et après le choc sont colinéaires.

1. Dans une 1^{ère} expérience, on suppose que les solides s'accrochent au moment du choc. Le centre d'inertie de l'ensemble est alors animé d'une vitesse $\vec{V}$. Dans quel sens et à quelle vitesse V se déplace l'ensemble (S_1 et S_2) après le choc ?

2. Dans une 2^{ème} expérience, on suppose que les solides S_1 et S_2 ne s'accrochent pas après le choc. Le solide S_2 rebrousse chemin après le choc à la vitesse $V'_2 = 33 \text{ cm.s}^{-1}$.

3. Dans une 3^{ème} expérience, le solide S_1 lancé à la vitesse $v_1 = 2 \text{ m.s}^{-1}$ s'immobilise au moment du choc avec le solide S_2 lancé à la vitesse $v_2 = 0,5 \text{ m.s}^{-1}$.

Dans quel sens et à quelle vitesse se déplace le solide S_2 après le choc ?

EQUILIBRE D'UN SOLIDE SOUMIS A DEUX OU TROIS FORCES EXTERIEURES NON PARALLELES

Objectifs pédagogiques

- Définir un système.
- Identifier les forces qui s'exercent sur un système.
- Utiliser les conditions d'équilibre d'un solide soumis à deux forces ou à trois forces non parallèles.
- Exprimer le moment d'une force par rapport à un axe fixe.
- Etablir les conditions d'équilibre d'un solide mobile autour d'un axe fixe.

I- Le système

1. Définition

Un système est un solide ou un ensemble de solide que l'on désire étudier.

Tout ce qui n'appartient pas au système est le milieu extérieur.

2. Système indéformable, système déformable.

a) Système indéformable

On dit qu'un système est indéformable lorsque la distance entre deux points quelconques du système reste invariable.

Exemple :

b) Système déformable

On dit qu'un système est déformable lorsque la distance entre deux points quelconques du système varie au cours de son évolution.

Exemple :

II-Equilibre d'un solide soumis à deux forces extérieures

1. Condition d'équilibre

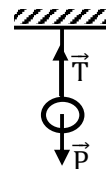
Un solide soumis à deux forces extérieures $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ est en équilibre si :

- $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ ont la même droite d'action
- Leur somme vectorielle est nulle : $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{0} \Rightarrow \vec{F}_1 = -\vec{F}_2$

2. Equilibre d'un solide suspendu à un fil

- Bilan des forces appliquées au système :

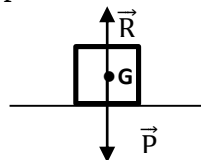
- Poids $\vec{P}$ du solide
- Tension $\vec{T}$ du fil



- A l'équilibre on a : $\vec{P} + \vec{T} = \vec{0} \Rightarrow \vec{T} = -\vec{P} \Rightarrow T = P$.

3. Equilibre d'un solide posé sur un support plan

- Solide posé sur un plan horizontal sans frottement

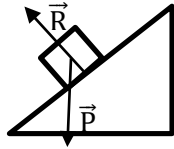


- Bilan des forces appliquées au système :

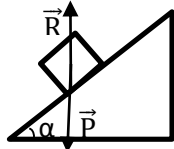
- Poids $\vec{P}$ du solide
- Tension $\vec{R}$ du plan

- A l'équilibre on a : $\vec{P} + \vec{R} = \vec{0} \Rightarrow \vec{R} = -\vec{P} \Rightarrow R = P$.

- Equilibre sur un plan incliné lisse (absence des forces de frottement)



- Bilan des forces appliquées au système :
 - Poids $\vec{P}$ du solide
 - Tension $\vec{R}$ du plan
- $\vec{P}$ et $\vec{R}$ n'ont pas la même droite d'action donc l'équilibre est impossible.
- Equilibre sur un plan incliné rugueux (présence des forces de frottement)



- Bilan des forces appliquées au système :
 - Poids $\vec{P}$ du solide
 - Tension $\vec{R}$ du plan
- A l'équilibre : $\vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$
- La projection orthogonale de $\vec{R}$ sur le plan incliné s'appelle la force de frottement ; elle est notée $\vec{f}$: $f = R \sin \alpha$ or $P = R \Rightarrow f = P \sin \alpha$

III- Equilibre d'un solide soumis à trois forces extérieures non parallèles

1. Conditions d'équilibre

Un solide soumis à trois forces extérieures $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ et $\vec{F}_3$ est en équilibre si :

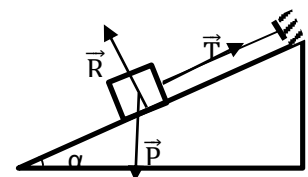
- Les droites d'action des forces sont coplanaires et concourantes
- La somme vectorielle des forces est nulle : $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{0}$

2. Exemple

Considérons un solide S de poids $P = 10 \text{ N}$ sur une table à coussin d'air incliné de 30° sur l'horizontal. Le solide est retenu par un fil à la table.

Déterminons la tension $\vec{T}$ et la réaction $\vec{R}$ de la table.

- Le système étudié le solide S
- Bilan des forces :
 - Poids $\vec{P}$ du solide
 - La tension $\vec{T}$ du fil
 - La réaction $\vec{R}$ du support
- A l'équilibre on a : $\vec{P} + \vec{R} + \vec{T} = \vec{0}$



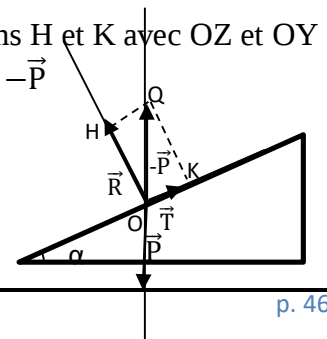
a) Méthode graphique

$$\vec{P} + \vec{R} + \vec{T} = \vec{0} \Rightarrow \vec{R} + \vec{T} = -\vec{P}$$

- A l'aide d'une échelle on représente les vecteurs $\vec{P}$ et $-\vec{P}$
- Soit le vecteur $\vec{OQ}$, représentant $-\vec{P}$ d'origine O
 Traçons les parallèles à OY et à OZ passant par Q ; leurs intersections H et K avec OZ et OY sont les extrémités des vecteurs $\vec{R}$ et $\vec{T}$: $\vec{OH} + \vec{OK} = \vec{OQ}$ car $\vec{R} + \vec{T} = -\vec{P}$
- Mesurons OH et OK et utilisons l'échelle pour déterminer R et T

Echelle : $1 \text{ cm} \rightarrow 5 \text{ N}$

$$L_{\vec{P}} \rightarrow 10 \text{ N} \Rightarrow L_{\vec{P}} = 2 \text{ cm}$$



$$OK = 1\text{cm} \Rightarrow T = \frac{5\text{N} \times 1\text{cm}}{1\text{cm}} = 5\text{N} ; OH = 1,73\text{ cm} \Rightarrow R = \frac{5\text{N} \times 1,73\text{cm}}{1\text{cm}} = 8,65\text{N}$$

b) Méthode analytique

Choisissons un repère orthonormé d'origine O d'axe x'x parallèle au plan incliné et d'axe y'y perpendiculaire au plan.

➤ Les coordonnées des vecteurs forces sont :

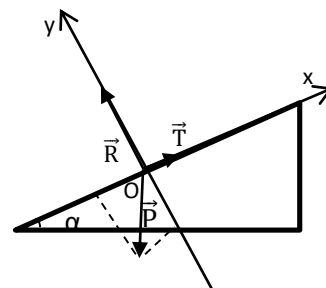
$$\vec{P} \begin{cases} P_x = -P \sin \alpha \\ P_y = -P \cos \alpha \end{cases} ; \vec{T} \begin{cases} T_x = T \\ T_y = 0 \end{cases} ; \vec{R} \begin{cases} R_x = 0 \\ R_y = R \end{cases}$$

➤ A l'équilibre on a :

$$\vec{P} + \vec{R} + \vec{T} = \vec{0} \Rightarrow \begin{cases} P_x + T_x + R_x = 0 \\ P_y + T_y + R_y = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} -P \sin \alpha + T + 0 = 0 \\ -P \cos \alpha + 0 + R = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} T = P \sin \alpha \\ R = P \cos \alpha \end{cases}$$

$$\Rightarrow T = 10 \times \sin 30^\circ = 5\text{N} ; R = 10 \times \cos 30^\circ = 8,66\text{N}$$



IV- Equilibre d'un solide mobile autour d'un axe

1. Définition d'un mouvement de rotation

Un solide est en rotation autour d'un axe lorsque ces différents points décrivent des cercles ou des arcs de cercle centrés sur l'unique droite appelée axe de rotation.

2. Moment d'une force par rapport à un axe

Le d'une force est la capacité d'une force à faire tourner un système autour d'un axe. C'est une grandeur algébrique dont le signe dépend du sens de rotation positif arbitrairement choisi.

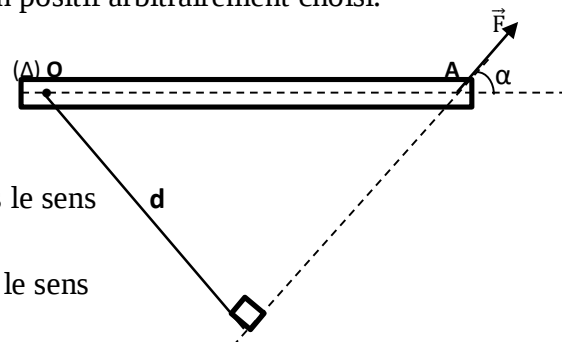
Il s'exprime en N.m.

La valeur absolue moment est égale :

$$|\mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta}| = F \cdot d$$

$d = OA \sin \alpha$: bras du levier

- $\mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta} = + F \cdot d$ lorsque $\vec{F}$ fait tourner le solide dans le sens Positif choisi
- $\mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta} = - F \cdot d$ lorsque $\vec{F}$ fait tourner le solide dans le sens Contraire au sens Positif choisi.



Le moment $\mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta}$ est nul si :

- $\vec{F}$ est parallèle à l'axe de rotation.
- La direction de $\vec{F}$ rencontre l'axe de rotation
- $\vec{F}$ s'applique sur l'axe de rotation

3. Equilibre d'un solide mobile autour d'un axe

a) Théorème des moments

Lorsqu'un solide S, mobile autour d'un axe fixe est soumis à des forces extérieures, est en équilibre, la somme des moments par rapport à l'axe de toutes les forces extérieures est nulle : $\sum \mathcal{M}_{\vec{F}_{ext}/\Delta} = 0$.

b) Conditions d'équilibre

Pour un solide, mobile autour d'un axe fixe, en équilibre, les deux conditions suivantes sont vérifiées :

- La somme algébrique des moments, par rapport à l'axe des forces extérieures qui lui sont appliquées, est nulle : $\sum \mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta} = 0$
- La somme vectorielle de ces forces est nulle : $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$

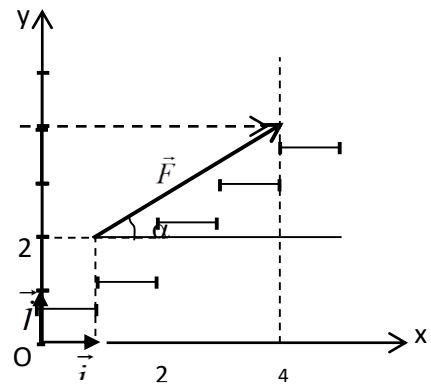
Exercice : 1

1- Dans un repère $(O; \vec{i}; \vec{j})$ dont les axes sont gradués en (Newton : N) on représente une force $\vec{F}$ (Figure 1)

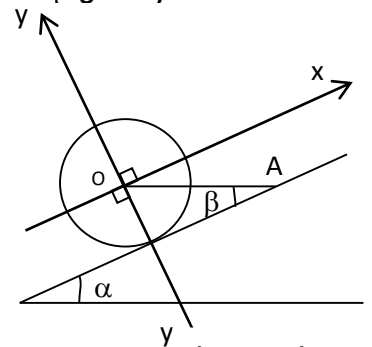
- Déterminer F_x et F_y .
- Exprimer l'intensité de $\vec{F}$ en fonction de F_x et F_y . Calculer F .
- Soit l'angle $\alpha = (\vec{i}; \vec{F})$. Exprimer $\sin \alpha$ en fonction de F_y et F .
- Exprimer $\tan \alpha$ en fonction de F_x et F_y .
- Calculer α et déterminer $\vec{F}$.

2- On considère une sphère homogène de rayon $r = 8\text{cm}$ et de masse $m = 1,7\text{kg}$ maintenue sur un plan incliné d'un angle $\alpha = 40^\circ$ par un fil de longueur 25cm et de masse négligeable. (Figure 2)

- Montrer que l'angle $\beta = 14^\circ$ environ
- En prenant $\beta = 14^\circ$, représenter les forces qui s'exercent sur la sphère.
- Calculer en utilisant le repère indiqué sur la figure la norme de chacune des forces.



(Figure 1)

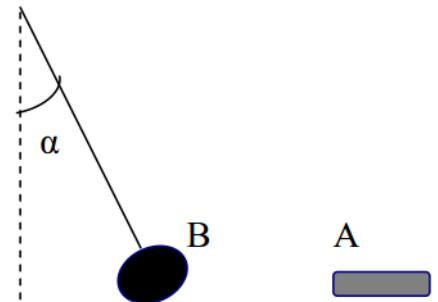


(Figure 2)

Exercice : 2

Soit une boule métallique B de masse $m = 300\text{g}$, attachée à un fil inextensible. On approche un aimant A à cette boule, on remarque une déviation de la boule d'un angle $\alpha = 30^\circ$ par rapport à la verticale et elle reste en équilibre. (voir figure)

- Représenter les forces qui s'exercent sur la boule
- a) Enoncer la condition d'équilibre d'un solide soumis à trois forces
- b) Ecrire la condition d'équilibre de la boule
- c) Déterminer la valeur de la tension de fil
- d) Déterminer la valeur de la force exercée par l'aimant sur la boule



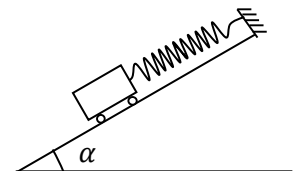
Exercice : 3

Un chariot de masse $m = 10\text{ kg}$, pouvant glisser sans frottement sur un plan incliné parfaitement lisse faisant un angle $\alpha = 30^\circ$ avec l'horizontale est maintenu en équilibre par un ressort voir figure ci-contre.

- a) Faire le schéma en représentant les forces appliquées au chariot.
- b) Ecrire la condition d'équilibre et projeter cette relation vectorielle sur les axes.
- c) Calculer la réaction du plan et la tension du ressort. Prendre $g = 10\text{N.kg}^{-1}$.
- d) En déduire l'allongement du ressort, si sa raideur est $k = 500\text{ N.m}^{-1}$.

2. En réalité le plan est rugueux et le solide est soumis à des forces de frottement équivalent à une force unique $\vec{f}$. On supprime le ressort et le chariot reste toujours en équilibre sur le plan incliné.

- Que peut-on dire de la réaction R du plan incliné sur le chariot ?
- Refaire le schéma en représentant les forces qui s'exercent sur le chariot.
- Montrer que les intensités des forces de frottement $f = 50\text{N}$ et la normale au plan $R_N = 89\text{N}$.



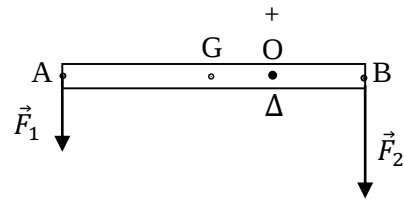
Exercice : 4

Une barre homogène AB de poids P est mobile autour d'un axe fixe (Δ) horizontal passant par O.

La barre est en équilibre en position horizontale quand elle soumise aux forces verticales $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ représentées sur la figure ci-dessous. On donne $OA = 3\text{m}$; $OB = 1,5\text{cm}$; $F_1 = 20\text{N}$ et $F_2 = 42\text{N}$.

- Faire la figure en représentant les autres forces.

2. Ecrire les conditions d'équilibre de la barre.
3. En appliquant ces conditions d'équilibre :
 - a) Calculer le poids P de la barre.
 - b) Déterminer la réaction de l'axe au point O .



CENTRE D'INERTIE D'UN SOLIDE
QUANTITE DE MOUVEMENT

Objectifs pédagogiques

- Définir le centre d'inertie d'un solide.
- Définir la quantité de mouvement d'un solide.
- Définir un choc élastique et un choc mou.

I- Le centre d'inertie d'un solide

1- Définition

Le centre d'inertie d'un solide est le point unique de ce solide qui est animé d'un mouvement rectiligne et uniforme, lorsque le solide se déplace sans frottement sur un plan horizontal. Il est noté G .

Le centre d'inertie G d'un solide est encore appelé centre de masse ou centre de gravité de ce solide.

2- Centre d'inertie d'un solide homogène

