

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

Université Abderrahmane Mira
Béjaïa



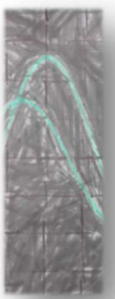
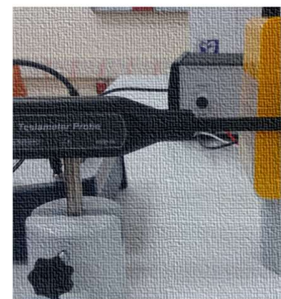
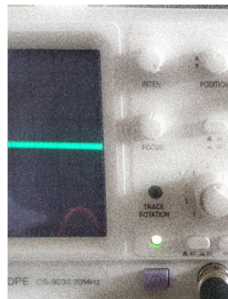
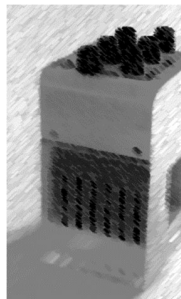
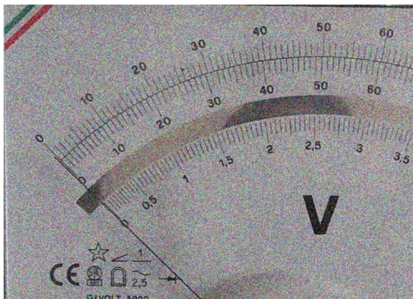
وزارة التعليم العالي
و البحث العلمي
جامعة عبد الرحمان ميرة
بجاية

Faculté de Technologie Département de Technologie

IST3.2 : Travaux Pratiques en Physique 2 (Partie théorique)

- TP N° 1 : Mesure de tensions avec l'oscilloscope
TP N° 2 : Mesures des résistances et Pont de Wheatstone
TP N° 3 : Charge et décharge d'un condensateur
TP N° 4 : Induction magnétique

Equipe pédagogique



2024/2025

Introduction & terminologie

Pour aborder et bien comprendre les TP d'électricité, il est important d'avoir des connaissances de base sur certains concepts électriques. Voici les prérequis essentiels :

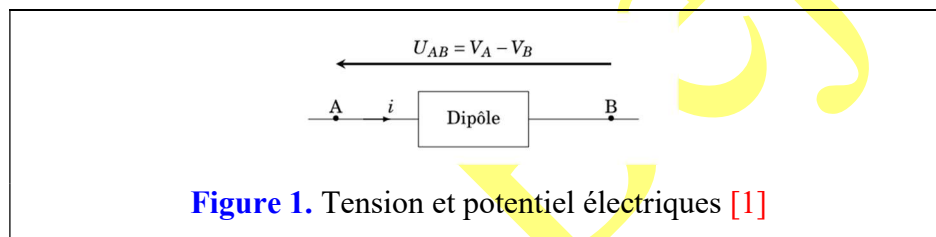
1. Tension et potentiels électriques

La tension électrique est une différence de potentiels, on note :

$$U_{AB} = V_A - V_B \quad (1)$$

Avec : V_A et V_B sont les potentiels électriques en A et B respectivement.

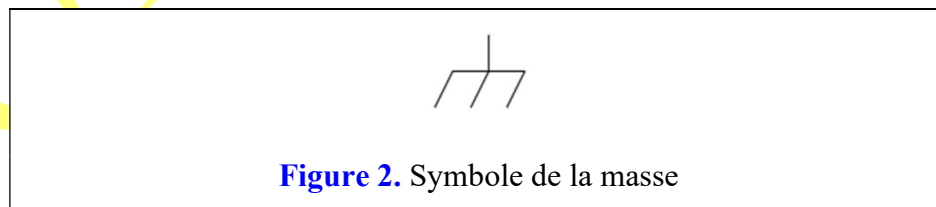
On peut également représenter cette tension par une flèche pointant de B vers A, indiquant la direction du potentiel plus élevé vers le potentiel plus bas. (Fig.1).



La tension est positive si le potentiel en A est supérieur au potentiel en B. Alors, le courant d'intensité i circulera de A vers B si le circuit est fermé.

2. Générateur et masse

Le générateur possède une borne positive et une borne négative, le potentiel de la borne positive du générateur « + » est égal à la force électromotrice (f.é.m.), notée E . La borne « - » du générateur est la référence des potentiels électriques, fixée à 0 V : on l'appelle la masse du montage, notée aussi *GRD* ; *Ground* (Fig. 2).



3. Conventions

Lorsque l'on flèche la tension aux bornes d'un générateur, on utilise la convention générateur (Fig. 3) : les flèches de la tension et de l'intensité du courant sont dans le même sens.

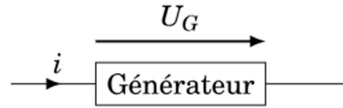


Figure 3. Convention générateur

Lorsque l'on flèche la tension aux bornes d'un récepteur (lampe, conducteur ohmique, condensateur, ...), on utilise la convention récepteur (Fig. 4) : les flèches de la tension et de l'intensité du courant sont en sens contraire.

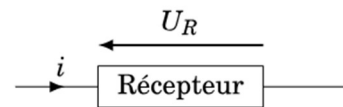


Figure 4. Convention récepteur

3. Vocabulaire

Un réseau électrique est formé de nœuds, branches et de mailles. Par exemple, sur le schéma ci-contre (Fig. 5) :

- ✦ La portion de circuit CD est une **branche** : on y trouve deux dipôles en série, le générateur E_1 et la résistance R ;
- ✦ B est un **nœud**, c'est-à-dire un point du circuit où se rejoignent au moins trois branches ; le courant va alors se diviser ;
- ✦ Une **maille** est une **boucle** du circuit que l'on parcourt une et une seule fois : ABEFA ou BCDEB sont des mailles.

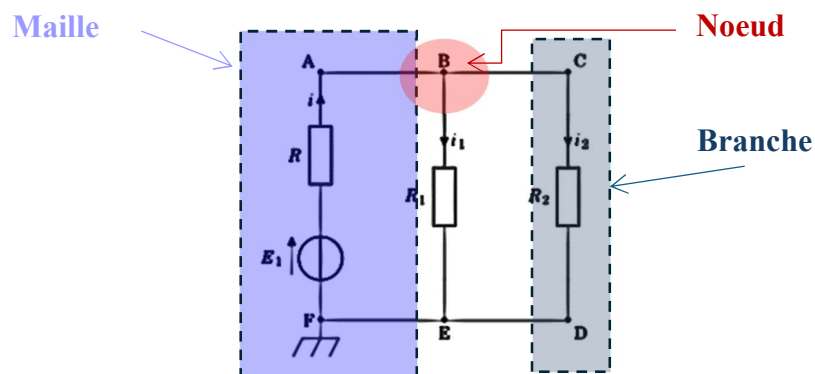


Figure 5. Nœud, branche et maille [1]

4. Lois de Kirchhoff

1. À tout point où il y a une jonction, notée aussi nœud, entre diverses branches portant du courant, la somme des courants entrant dans le nœud doit être égale à la somme des courants sortant du nœud :

$$I_{\text{Entrant}} = I_{\text{Sortant}} \quad (2)$$

2. La somme des chutes de tension, ΔV_i , à travers tout élément de circuit formant un circuit fermé, notée maille, est nulle. C'est simplement l'affirmation que le champ électrique n'effectue aucun travail en déplaçant une charge autour d'un chemin fermé :

$$\sum \Delta V_i = 0 \quad (3)$$

5. Circuits Électriques

Les circuits électriques relient les alimentations aux « charges » telles que les résistances, les moteurs, les chauffages ou les lampes. La connexion entre l'alimentation et la charge se fait avec des fils isolants souvent appelés « fils de connexion » et par soudage, ou avec de nombreux types de connecteurs et de bornes. L'énergie est délivrée de la source à l'utilisateur via un simple interrupteur. Parfois, de nombreux composants de circuit sont connectés au même fil, ce qui est appelé un « *fil commun* » pour ces éléments.

Différentes parties des circuits peuvent être en série ou en parallèle, ou en série-parallèle. Les éléments sont en parallèle lorsqu'ils sont connectés « à travers » la même différence de potentiel (Fig. 6).

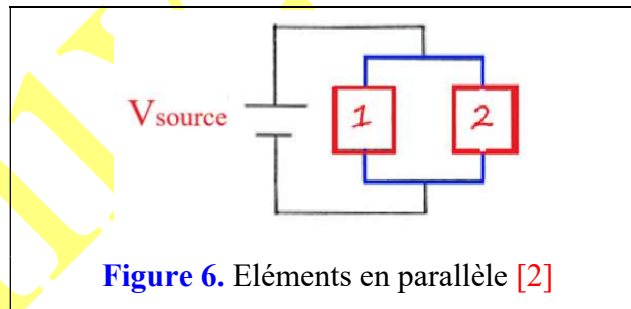


Figure 6. Éléments en parallèle [2]

Lorsque les éléments sont connectés les uns après les autres, de sorte que le courant passe à travers chaque élément sans aucune branche, les éléments sont en série (Fig. 7).

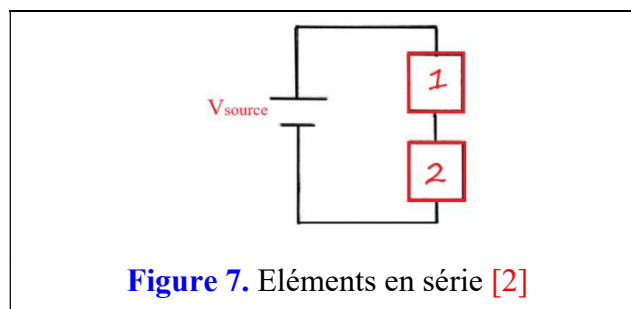


Figure 7. Éléments en série [2]

Il existe des « diagrammes visuels » qui montrent les fils et les composants à peu près tels qu'ils apparaissent, et des « diagrammes schématiques » qui utilisent des symboles conventionnels, analogues aux cartes routières. Souvent, il y a un interrupteur en série ; lorsqu'il est ouvert, la charge est déconnectée ; lorsqu'il est fermé, la charge est connectée.

On peut avoir des circuits fermés, à travers lesquels le courant circule, ou des circuits ouverts dans lesquels il n'y a pas de courant. Parfois des fils peuvent se toucher, provoquant un « court-circuit », la grande quantité du courant passe par le court-circuit, tandis que très peu circule à travers la charge. Cela peut endommager un équipement électrique comme un transformateur. Pour prévenir les dommages, un « fusible » ou un « disjoncteur » est placé en série et lorsqu'il y a un court-circuit, le fusible fond ou le disjoncteur s'ouvre.

6. Résistance et loi d'Ohm

Lorsqu'une différence de tension ΔV (d.d.p : différence de potentiel) est appliquée à un élément de circuit, un courant s'écoule à travers celui-ci. La quantité de courant est une fonction de la tension $I = f(\Delta V)$. Trois exemples sont montrés sur la Fig. 8 : (a) montre une relation linéaire lorsque l'élément est un résistor à composition carbone, (b) montre une relation non linéaire plus compliquée, et (c) la relation non linéaire asymétrique pour une diode.

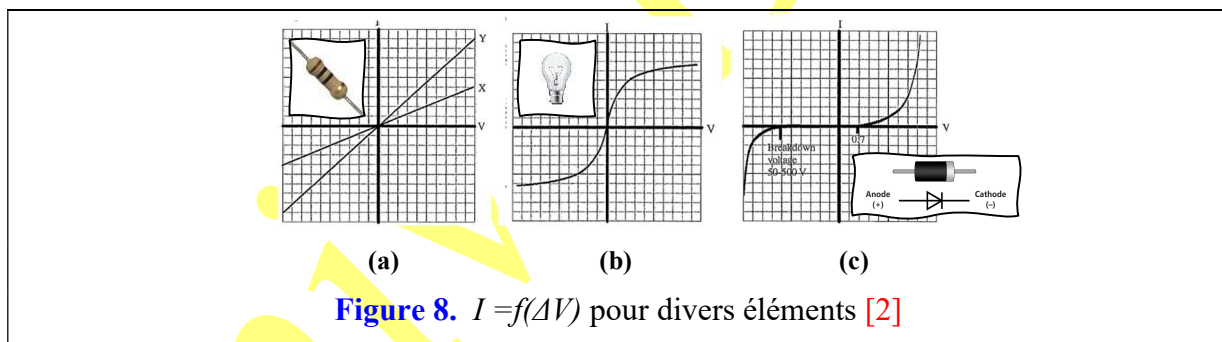


Figure 8. $I = f(\Delta V)$ pour divers éléments [2]

Lorsque la courbe $I = f(\Delta V)$ est linéaire, la résistance R est définie comme étant la pente de la courbe : $R = \Delta V / I$

La loi d'Ohm est couramment énoncée étant : la chute de tension à travers une résistance est $V = RI$, l'unité de résistance est l'ohm $[\Omega]$, avec $[\Omega] = [V]/[A] \Rightarrow (1 \text{ ohm}) = (1 \text{ volt})/(1 \text{ ampère})$.

La résistance peut dépendre de plusieurs variables telles que la température ou la tension appliquée.

7. Diviseur de tension

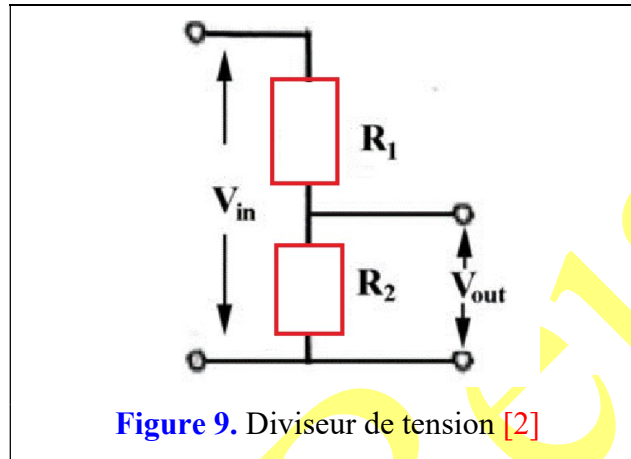
Considérons une source de tension V_{in} , qui est connectée en série à deux résistances R_1 et R_2 (Fig. 9). La différence de tension V_{out} à travers R_2 sera inférieure à V_{in} . Ce circuit est appelé un diviseur de tension.

D'après la loi des mailles :

$$V_{in} - IR_1 - IR_2 = 0 \quad (4)$$

Ainsi, le courant dans le circuit est donné par l'Eq.5 :

$$I = \frac{V_{in}}{R_1 + R_2} \quad (5)$$



Ainsi, la différence de tension V_{out} à travers la résistance R_2 est donnée par l'Eq. 6

$$V_{out} = IR_2 = \frac{V_{in}}{R_1 + R_2} R_2 \quad (6)$$

Notez que le rapport des tensions caractérise le diviseur de tension est déterminé par les résistances :

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (7)$$

8. Résistance interne d'une source de tension

Les sources de tension ont une résistance intrinsèque qui peut varier avec le courant, la température, etc. Cela signifie que lorsqu'une résistance est placée à travers l'alimentation, la tension à l'entrée V_{source} chutera (Fig. 10).

Lorsque la charge est connectée, la tension V_{source} peut être écrite selon l'Eq. 8 :

$$V_{source} = V_{à\ vide} - I r_i \quad (8)$$

Le circuit externe a une chute de tension donnée par la loi d'Ohm :

$$V_{source} = IR \quad (9)$$

Par conséquent, le courant dans le circuit est :

$$I = V_{source} / R \quad (10)$$

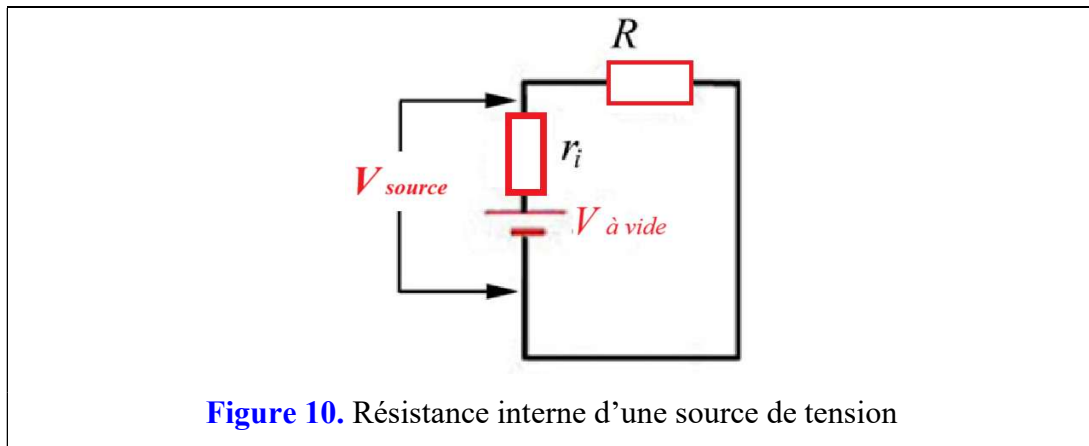


Figure 10. Résistance interne d'une source de tension

La résistance interne peut maintenant être calculée :

$$r_i = (V_{à\ vide} - V_{source}) / I \quad (11)$$

Selon la loi des mailles :

$$V_{à\ vide} - I r_i - IR = 0 \quad (12)$$

donc le courant dans le circuit peut également être exprimé en fonction de $V_{à\ vide}$ et R :

$$I = V_{à\ vide} / (R + r_i) \quad (13)$$

La perte d'énergie dans la résistance interne est donnée par le calcul de la puissance électrique selon l'Eq. 14 :

$$P_{(joule)} = I^2 r_i = (V_{à\ vide} / (R + r_i))^2 r_i \quad (14)$$

Lorsque les bornes d'une alimentation sont court-circuitées par un fil ayant une résistance négligeable, il existe une limite supérieure au courant du court-circuit (Eq. 15) :

$$I_{court-circuit} = V_{à\ vide} / r_i \quad (15)$$

9. Elément de calculs

En régime continu (DC) on utilise la loi d'Ohm $V = RI$:

- En série $R_{eq.} = \sum R_i$
- En parallèle $1/R_{eq.} = \sum 1/R_i$
- Le condensateur se comporte comme un interrupteur : le courant tend vers zéro
- La bobine se comporte comme un fil : aucun effet sur le courant

En régime alternatif (AC) on utilise la loi d'Ohm généralisée $U = ZI$:

- La résistance résiste au passage du courant et sa résistance $R = U/I$
- En série et en parallèle les lois d'association en régime continu sont maintenues.
- Le condensateur entrave le passage du courant et son impédance (du latin *impedir*) $Z_C = U/I$; d'un autre coté $Z_C = 1/C \omega \Rightarrow 1/C = \omega U/I$ d'où on déduit sa capacité $C = I/\omega U$.
- C en série : $1/C_{eq.} = \sum 1/C_i$; C en parallèle : $C_{eq.} = \sum C_i$
- La bobine entrave le passage du courant et son impédance $Z_L = U/I$ d'un autre coté $Z_L = \sqrt{(r_i^2 + L^2 \omega^2)}$, pour une bobine idéale, $r_i = 0$ (résistance interne de la bobine est nulle) $Z_L = L\omega$ d'où on déduit son inductance $L = U/\omega I$.
- L en série $L_{eq.} = \sum L_i$; L en parallèle $1/L_{eq.} = \sum 1/L_i$

L'erreur sur la valeur de R , C et L revient aux erreurs de mesures faites sur I et U :

$$\Delta R/R = \Delta I/I + \Delta V/V ; \Delta C/C = \Delta I/I + \Delta U/U ; \Delta L/L = \Delta I/I + \Delta U/U$$

10. Présentation des instruments de mesure et des composants utilisés

a) Voltmètre : Le voltmètre est un appareil qui permet de mesurer la tension (ou différence de potentiel électrique) entre deux points, grandeur dont l'unité de mesure est le volt (V). Le plus souvent, il peut mesurer des tensions continues et alternatives (Fig.11a).

b) Ampèremètre : L'ampèremètre est l'appareil qui sert à mesurer l'intensité du courant qui circule dans une portion d'un circuit électrique (Fig.11a).

c) Multimètre numérique : Un multimètre est indispensable pour mesurer le courant électrique : ampères, volts, ohms (Fig.11a), dans notre cas, il est utilisé pour la mesure de très faibles courants.

d) Oscilloscopes : Le principal objectif des oscilloscopes est de mesurer et d'afficher une tension en fonction du temps. Ils sont largement utilisés pour la conception électrique et /ou électronique, pour le test et la réparation de la plupart des objets fonctionnant avec l'électricité (Fig.11b).

e) Générateur : Le générateur est destiné à maintenir une différence de potentiel constante entre deux points d'un réseau ; un générateur de tension linéaire est caractérisé par deux grandeurs : sa f.é.m. et son r_i (Fig.11c)

f) Boîtes à décades : Les boîtes à décades sont conçues pour la résistance, la capacité et l'inductance, dont les valeurs peuvent être ajustées de manière incrémentielle en tournant un bouton ou un interrupteur, les contacts de l'interrupteur se déplaçant le long d'une série de composants respectifs (Fig.11d).

g) Teslamètre : L'appareil est constitué d'une sonde à effet Hall sensible au champ magnétique (thyristor). La sonde est montée sur un support et reliée à une unité de mesure qui enregistre les données. Le détecteur mesure le champ perpendiculaire à la sonde (Fig.11e).



Figure 11. Instruments et composants électriques qu'on rencontre au laboratoire

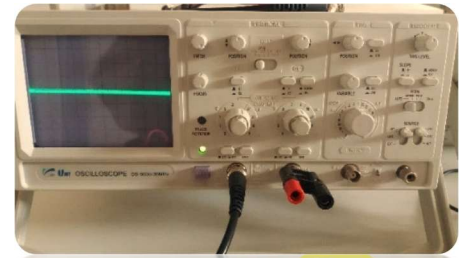
Références

[1] M.N. Sanz, A.E. Badel, F. Clausset, 2008, PHYSIQUE TOUT-EN-UN : 1re ANNÉE, Cours et exercices corrigés, 3^e Edition, Dunod, France.

[2] A. Brooks, 2001, Electrical Current, Voltage and Resistance, Physics Factsheet (7), <https://physicsfact.wordpress.com/physics-fact-sheets/>

TP N° 1

Mesures de tensions avec l'oscilloscope



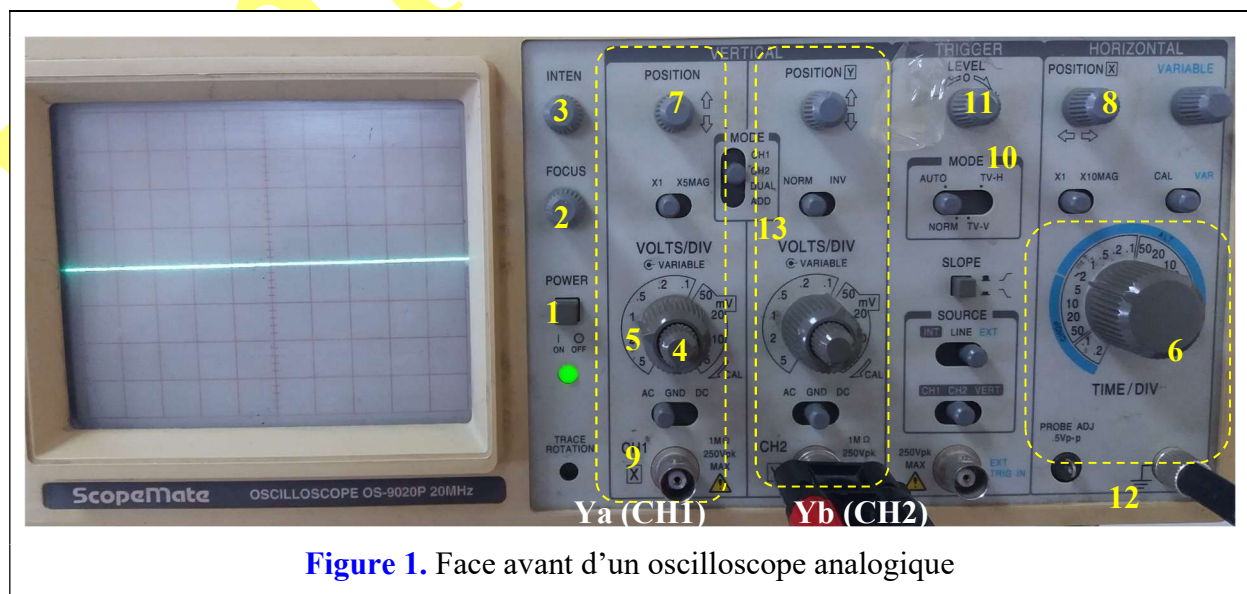
But

1. Observer une tension « V »
2. Différencier $V_{\text{crête à crête}}$, V_{maximal} et V_{efficace}
3. Déterminer la période et tirer la fréquence d'un signal électrique.
4. Calculer le déphasage dans les trois cas : Résistance, condensateur et bobine

1. Théorie

Un oscilloscope est un instrument de mesure utilisé principalement en électronique pour visualiser et analyser des signaux électriques. Il permet de visualiser des signaux électriques en temps réel sur un écran. Les signaux sont ainsi affichés sous forme d'onde sur un graphique, avec le temps représenté sur l'axe horizontal (X) et la tension (ou amplitude) sur l'axe vertical (Y). Il peut mesurer la forme d'onde, la fréquence, l'amplitude. Il aide à observer comment un signal évolue dans le temps, ce qui est crucial pour diagnostiquer des circuits électriques et des systèmes électroniques.

Il contient deux voies verticales (CH1 : Ya et CH2 : Yb), deux voies horizontales (X et t) et une synchronisation externe (Fig. 1)



1.1 Voies verticales

Ce sont des circuits qui permettent de mesurer et d'afficher les signaux électriques sur l'axe vertical de l'écran. Ils reçoivent les signaux à mesurer via des sondes et transforment ces signaux en tension, qui sera alors affichée sur l'écran de l'oscilloscope. Les valeurs de tension sont représentées en fonction du temps (axe horizontal), ce qui permet de visualiser l'évolution du signal électrique.

3. Mode Chop : pour les basses fréquences

4. MODE alterné et DUAL Ya et Yb ensemble : Pour les hautes fréquences

5. Mode ADD et SUB : Les tensions des différentes voies peuvent être additionnées pour visualiser la somme sur un seul canal, ou soustraire les signaux d'une voie à ceux d'une autre, utile pour des analyses spécifiques.

6. Mode DC : permet de visualiser la composante directe et alternative du signal.

7. Position O ou $\perp$ ou GND : L'entrée de la masse, permet de régler la position initiale.

8. Mode AC : Affiche seulement la composante alternative du signal en annulant la composante directe.

9. Sensibilité verticale VOLTS/DIV : Correspond à l'échelle de tension (en volts par division) utilisée pour chaque voie. Il peut généralement être ajusté pour permettre l'observation de signaux de différentes amplitudes.

10. Sensibilité horizontale TIME/DIV : Correspond à l'échelle de temps (en seconde par division) utilisée pour chaque voie. Il peut généralement être ajusté pour permettre l'observation de signaux de différentes périodes (fréquence).

11. Shift $\updownarrow$: Cela permet de modifier la position de la forme d'onde sur l'axe vertical.

12. Shift $\leftrightarrow$: Il s'agit de décaler la forme d'onde sur l'axe horizontal. Cela peut être réalisé en ajustant le réglage du temps (time base) ou en utilisant le bouton de décalage horizontal. Ce paramètre permet de voir plus clairement les détails du signal sur une période spécifique.

Ajuster le shift vertical ou horizontal peut aider à mieux visualiser les signaux, à effectuer des mesures précises ou à comparer plusieurs formes d'onde simultanément.

1.2 Voies horizontales

- 1. Sweep Horizontal (Balayage Horizontal):** C'est le déplacement de l'affichage de gauche à droite à travers l'écran de l'oscilloscope, représentant le temps. Ça permet de visualiser les variations du signal au fil du temps. Le réglage de la base de temps (par exemple, en ms/DIV) permet d'ajuster la durée pendant laquelle le signal est affiché.

2. **Sweep Trigger** (Déclenchement du Balayage): C'est le mécanisme qui initialise le début du balayage. Ça permet de stabiliser l'affichage de la forme d'onde. Il synchronise le balayage avec un point spécifique du signal, afin que la forme d'onde apparaisse stationnaire sur l'écran au lieu de défiler de manière aléatoire.

Le balayage est crucial pour analyser des signaux qui changent rapidement, car il permet d'observer les cycles répétés d'un signal ou de capturer des événements transitoires. Un bon réglage du balayage et du déclenchement est essentiel pour obtenir une forme d'onde claire et utile. Cela aide à éviter le flou ou le défilement chaotique.

3. **Xshift** (Décalage Horizontal) : Permet de déplacer la forme d'onde vers la gauche ou vers la droite sans modifier la base de temps. C'est utile pour centrer immédiatement une caractéristique spécifique du signal (comme un pic ou un creux) sur l'écran. Bien que le Xshift déplace l'affichage horizontalement, le réglage du déclenchement (trigger) configure le point à partir duquel commence l'affichage, donc il est important d'utiliser ces deux réglages en tandem pour une analyse efficace.
4. **Mode de Synchronisation Trigger** : C'est un mécanisme qui permet de définir un point de référence dans le signal à partir duquel le balayage commence. Cela facilite l'affichage d'une forme d'onde stable et répétable. (i) *Normal Trigger*: Le balayage ne s'initie que si un signal atteignant un certain niveau est détecté. Cela permet de capturer des événements spécifiques dans le signal. (ii) *Auto-Trigger* : En mode automatique, l'oscilloscope déclenche même s'il ne détecte pas de signal. Cela permet de visualiser des signaux de faible amplitude ou intermittents. (iii) *Single Trigger*: Ce mode fait en sorte que l'oscilloscope capture un seul événement de déclenchement. Cela est utile pour analyser des signaux transitoires. Le signal synchro provient de Ya, de Yb, EXT et dans ce cas-là on utilise « trigg-EXT » ou « synchro-EXT ». l'utilisation du déclenchement « INT » laisse l'appareil choisir Ya ou Yb pour la synchronisation.
5. **Seuil, niveau, LEVEL** : Pour le choix de l'instant de la synchronisation, le choix de la position « AUTO » est très souhaité.

1.3 Utilisation de l'oscilloscope

- Il faut s'assurer du branchement de l'appareille à une source de courant et appuyer sur power (bouton 1)
- Mettre focus (bouton 2) et intensité (bouton 3) au maximum, ensuite régler votre signal pour une bonne lecture

- Mettre la position « O » ou « GND » pour régler la symétrie de votre signal (bouton 9)
- Mettre les calibre VOLTS/DIV (bouton 4) au maximum
- Régler la base des temps (bouton 6) sur 5ms/DIV
- Régler le Mode (bouton 10) sur Auto
- Magner le shift verticale et horizontale (les bouton 7 et 8) pour régler la position et commencer vos mesures

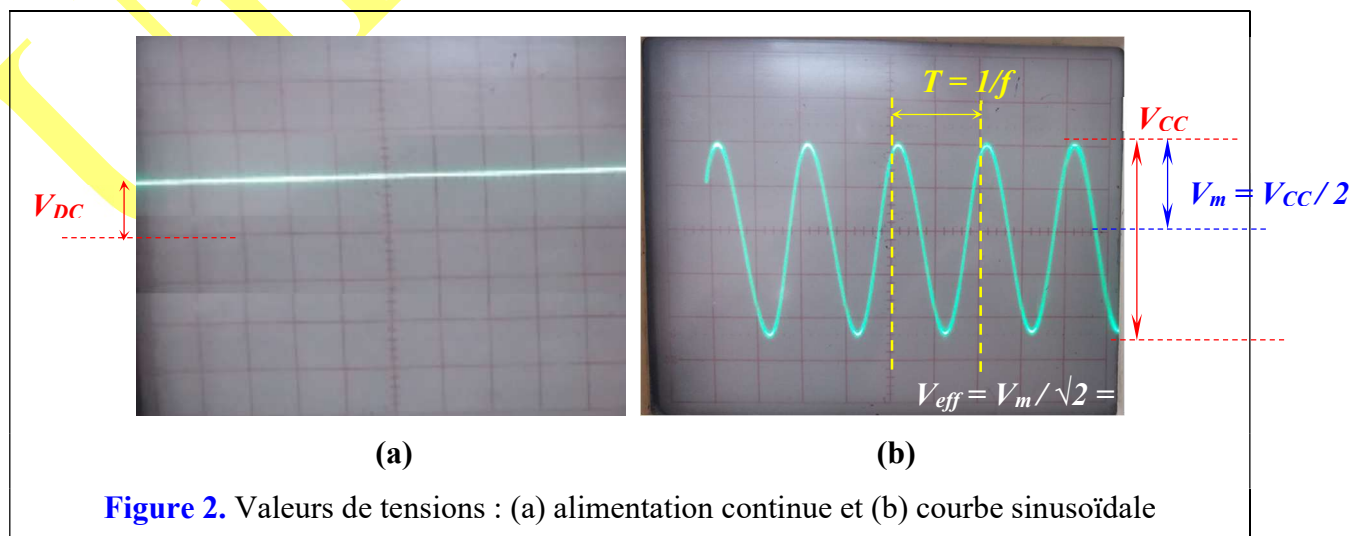
NB. : Ne laisser pas le point lumineux longtemps affiché sur l'écran pour ne pas l'abimer.

1.3.1 Mesure d'une tension continue

- Brancher un générateur de tension continue à l'oscilloscope
- Passer en Mode DC (bouton 9)
- Une barre horizontale apparaîtra sur l'écran (Fig. 2a)
- La sensibilité (bouton 5) permettra d'estimer la valeur de V_{DC} (1 carreau = 1 DIV, 1 graduation = 0,2 DIV)

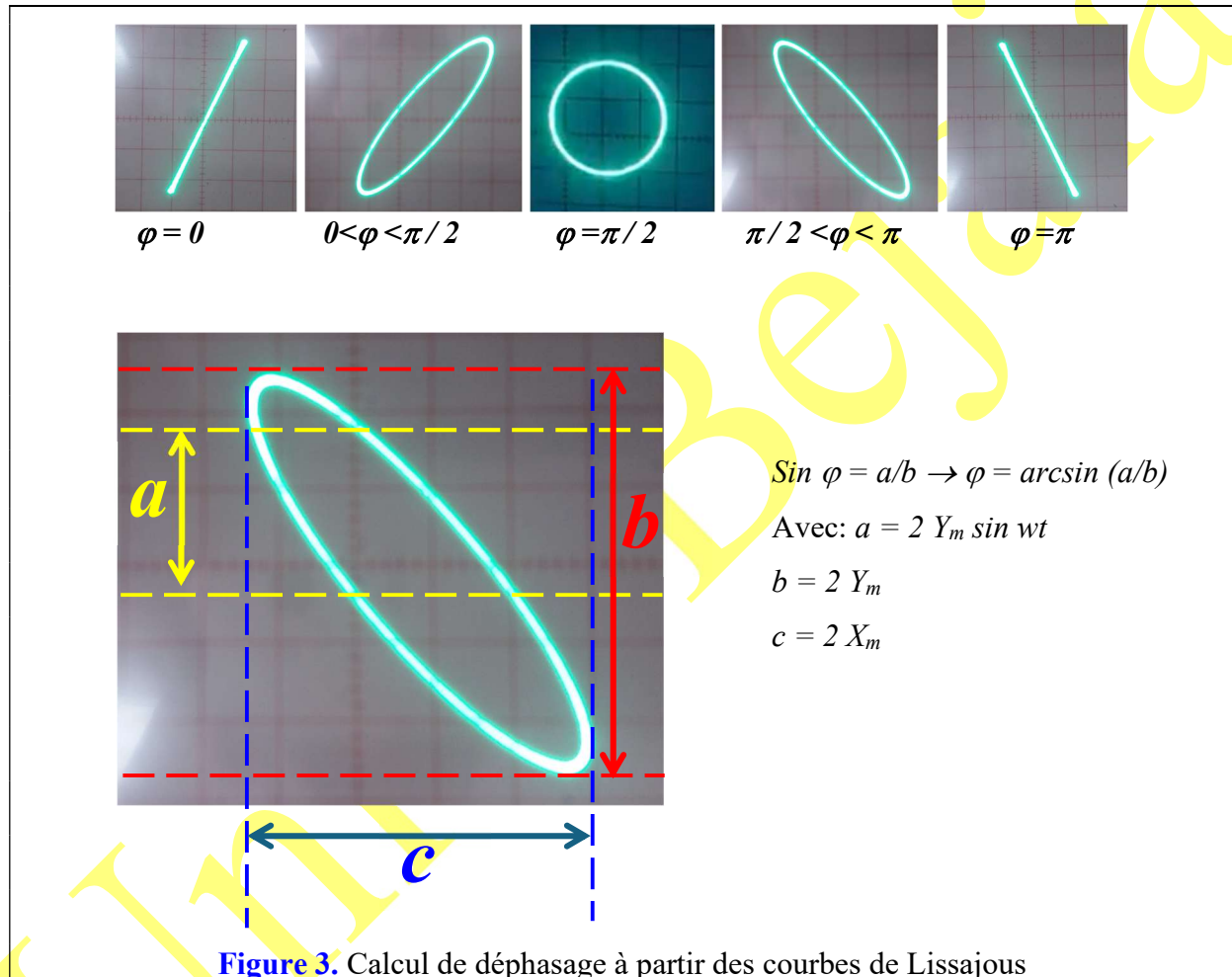
1.3.2 Mesure d'une tension alternative (V_{CC} crête-à-crête, V_m maximale et V_{eff} efficace)

- Mettre le bouton 9 sur GND
- Régler la symétrie de votre lecture en utilisant le bouton 7, Shift $\uparrow\downarrow$
- Brancher votre générateur de tension alternatif à l'oscilloscope
- Brancher la masse (entrée 12) entre les deux appareils
- Passer en Mode AC (bouton 9) : Une sinusoïdale apparaîtra sur l'écran
- La sensibilité (bouton 5) permettra d'estimer la valeur de V_{CC} (Fig. 2b)
- Utiliser le Shift $\rightleftarrows$ pour mesurer la période du signal, la sensibilité permettra de déterminer sa valeur (bouton 6)
- La fréquence étant $1/T$



1.3.3 Mesure de déphasage

- Appliquer deux tensions sinusoïdales de même fréquences , $X = X_m \sin (\omega t)$ et $Y = Y_m \sin (\omega t + \varphi)$, sur les deux entrées Ya et Yb
- Tourner le bouton 6 au max (position xy ou Lissajous) pour éliminer le temps entre les deux signaux et obtenir des courbes qu'on appelle courbes de Lissajous, d'équation : $X/X_m + Y/Y_m - [2XY \cos (\varphi) / X_m Y_m] = \sin^2(\varphi)$
- Les courbes de Lissajous aident à calculer le déphasage (Fig. 3)



- Utiliser le bouton 13 et choisir le MODE DUAL pour observer sur l'écran les deux signaux (Fig. 4)
- Pour déterminer le déphasage utiliser la relation : $\varphi = (t/T) \times 360^\circ$

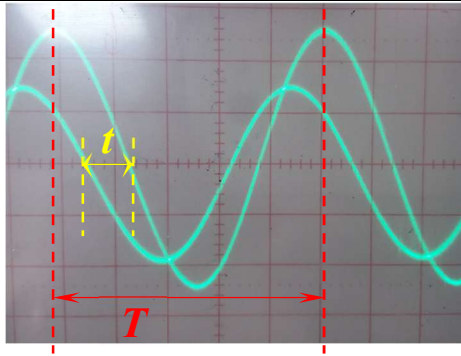
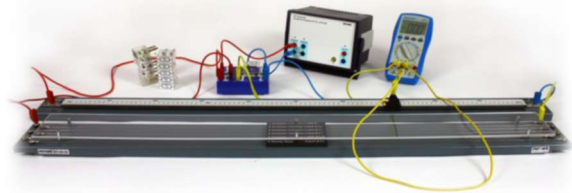


Figure 4. Calcul de déphasage à partir du décalage temporel

NB. : Pour la manipulation de l'oscilloscope numérique à mémoire, utiliser ce lien :
https://youtu.be/i5wF_aTTHXc?feature=shared
https://youtu.be/r9YqUbjatco?si=Sp6l4ZT3T_yGPlri

TP N° 2

Mesures des résistances et Pont de Wheatstone



But

1. Déterminer la valeur d'une résistance inconnue par un code couleur
2. Mesurer une résistance inconnue R_X par la méthode voltampèremétrique
3. Etudier l'effet du montage amont et aval sur l'exactitude de mesure dans le cas de petites et grandes résistances
4. Déterminer la résistance R_X en utilisant le pont de Wheatstone

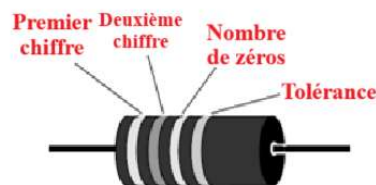
1. Théorie

La résistance peut être mesurée directement par un ohmmètre ou par une lecture du code couleur. Indirectement par un montage voltampèremétrique ou encore avec plus de précision à l'aide d'un pont de Wheatstone.

1.1 Méthode direct ; Code couleur

Les bandes colorées sur une résistance indiquent les nombres selon le tableau ci-dessus (2 à 7 suivent le spectre arc-en-ciel). En partant de l'extrémité la plus proche des bandes, les deux premiers nombres indiquent les chiffres significatifs de la valeur de la résistance et le troisième nombre représente une puissance de dix par laquelle les deux premiers nombres doivent être multipliés (l'or vaut 10^{-1}). Le quatrième indique la « tolérance » ou la précision, l'or étant de 5 % et l'argent de 10 %.

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



Aucun	+/- 20 %
Argent	+/- 10 %
Doré	+/- 5 %
Rouge	+/- 2 %



(a)

(b)

Figure 1. Résistances à sorties axiales à anneaux de couleur (a) Code couleur et (b) Exemple

1.2 Méthode indirecte ; Voltampèremétrique

La résistance est déterminée grâce à la loi d'ohm :

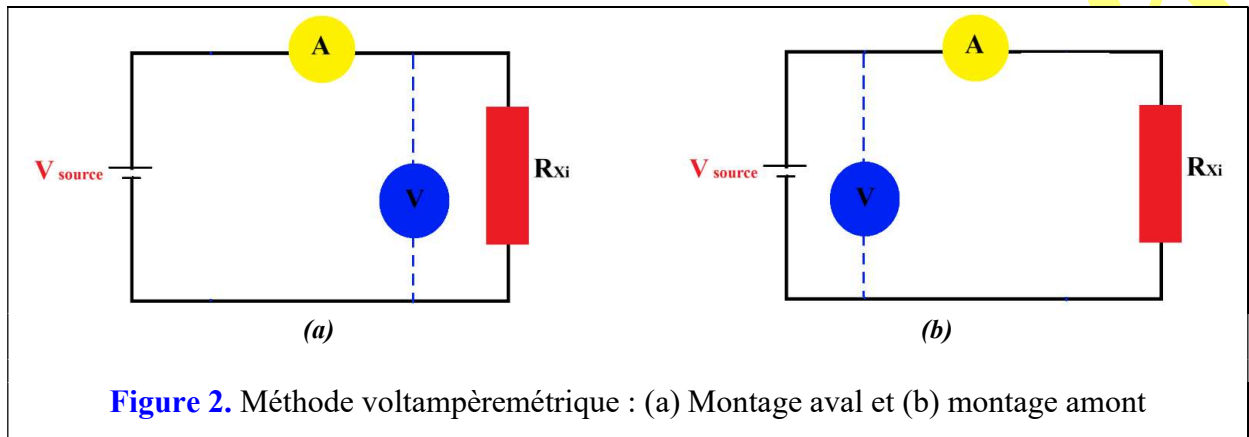
$$V=RI \quad (1)$$

$$R = \frac{V}{I} \quad (2)$$

Avec une erreur de mesure :

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta I}{I} \quad (3)$$

Cette erreur est de plusieurs origines (erreur de lecture, erreur due au montage et erreur instrumentales ou de classe)



a) Erreur de lecture :

$$\Delta U = 0,25 \times \text{calibre/Echelle} \quad \text{et} \quad \Delta I = 0,25 \times \text{calibre/Echelle} \quad (4)$$

b) Erreurs dues aux appareils :

$$\Delta U = \text{calibre} \times \text{classe}/100 \quad \text{et} \quad \Delta I = \text{calibre} \times \text{classe}/100 \quad (5)$$

c) Erreur due à la méthode :

* Montage aval : le voltmètre mesure exactement la tension aux bornes de R ($\Delta U=0$) tandis que l'ampèremètre mesure en plus le courant traversant le voltmètre.

$$\Delta I = U/R_V \quad (6)$$

$$\Delta R/R = 0 + U/R_V I = R/R_V \quad (7)$$

R_V indiquée sur le voltmètre en Ω/V (Multiplier la valeur indiquée par le calibre utilisé).

* Montage amont : l'ampèremètre mesure exactement le courant traversant R ($\Delta I=0$) tandis que le voltmètre mesure en plus la chute de tension aux bornes de l'ampèremètre

$$\Delta U = R_A I \quad (8)$$

$$\Delta R/R = R_A I/U + 0 = R_A/R \quad (9)$$

R_A est assez faible, de l'ordre de 1-10 Ω (Prendre 1 Ω pour tous les calibres).

Récapitulatif

Erreur de mesure = Erreur due à la lecture + Erreur due à la classe + Erreur due au montage

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta I}{I} = \frac{\Delta V_{lecture} + \Delta V_{classe} + \Delta V_{montage}}{V} + \frac{\Delta I_{lecture} + \Delta I_{classe} + \Delta I_{montage}}{I}$$

Montage aval : $\frac{\Delta R}{R} = \frac{1}{V} \left(\frac{0,25 \times \text{Calibre}}{\text{Echelle}} + \frac{\text{Classe} \times \text{Calibre}}{100} \right) + \frac{1}{I} \left(\frac{0,25 \times \text{Calibre}}{\text{Echelle}} + \frac{\text{Classe} \times \text{Calibre}}{100} \right) + \left(\frac{R}{R_V} \right) \quad (10)$

Montage amont : $\frac{\Delta R}{R} = \frac{1}{V} \left(\frac{0,25 \times \text{Calibre}}{\text{Echelle}} + \frac{\text{Classe} \times \text{Calibre}}{100} \right) + \frac{1}{I} \left(\frac{0,25 \times \text{Calibre}}{\text{Echelle}} + \frac{\text{Classe} \times \text{Calibre}}{100} + R_A \right) \quad (11)$

La Fig. 3 représente la variation de l'erreur relative, $\Delta R_x/R_x = f(R_x)$ pour les montages amont et aval. Le choix du montage sera fait selon la règle suivante :

Si $R_x < \sqrt{(R_A R_V)}$: montage aval

Si $R_x > \sqrt{(R_A R_V)}$: montage amont

Si $R_x = \sqrt{(R_A R_V)}$: les deux montages sont équivalents du point de vue précision.

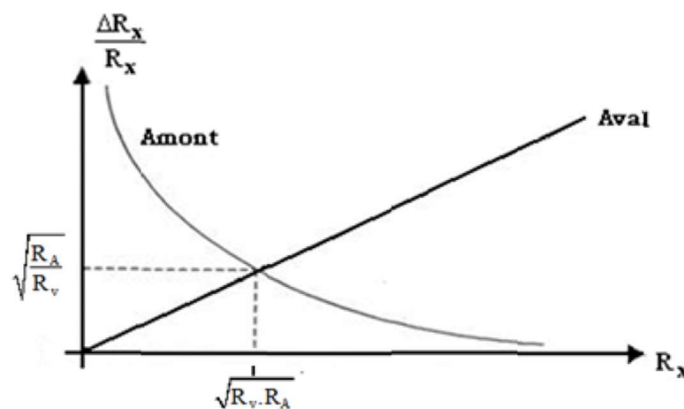


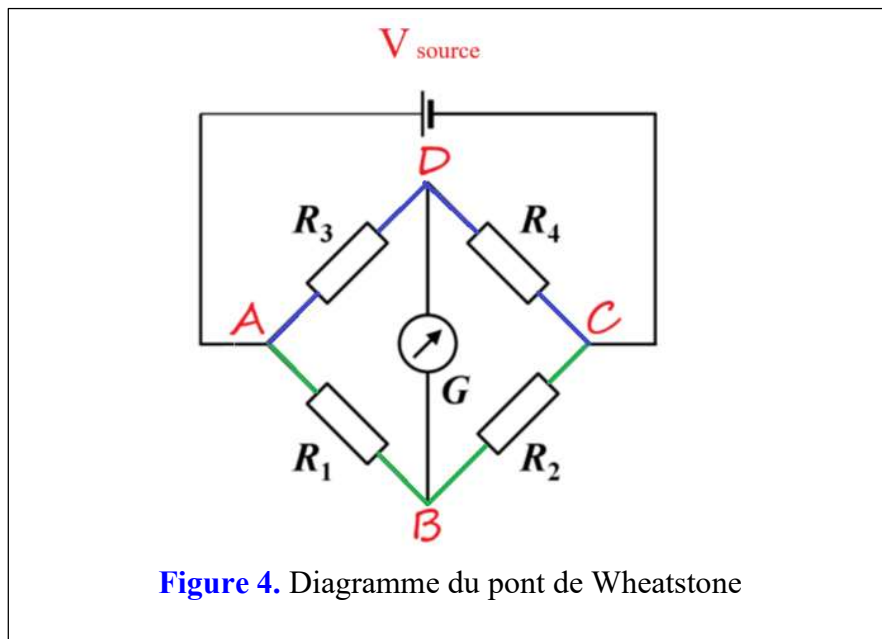
Figure3. Evolution des incertitudes relatives en fonction de la valeur de résistance à mesurer

1.3 Méthode plus précise ; pont de Wheatstone

En électronique et en électromagnétisme, la résistance électrique d'un objet est une mesure de son opposition au flux de courant électrique. Les résistances sont très importantes en électronique et ont de nombreuses applications en informatique et dans d'autres types de circuits. Le pont de Wheatstone est utilisé pour déterminer une résistance inconnue avec une grande précision en ajustant une combinaison connectée de résistances connues. Il se compose de quatre résistances connectées comme le montre la Fig. 4. Une source de tension est

connectée aux jonctions A et C, tandis que le galvanomètre G mesure le flux de courant entre les jonctions B et D. La deuxième loi de Kirchhoff implique que l'application d'une certaine tension entre A et C provoque une chute de potentiel égale entre les branches A–B–C et A–D–C, les deux « *jambes* » servent de « diviseur de tension » particulier. Les potentiels aux jonctions B et D dépendent des proportions des résistances le long des branches respectives.

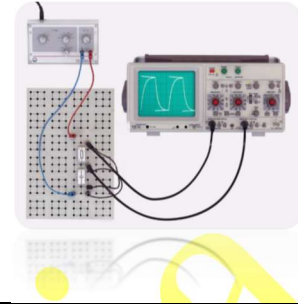
$$V_B = \frac{R_2}{R_1+R_2} V_{source} ; V_D = \frac{R_4}{R_3+R_4} V_{source} \quad (12)$$



Si les proportions des résistances sont ajustées de manière que les potentiels V_B et V_D s'égalent, le courant qui traverse l'ampèremètre s'annule.

La détection d'un courant nul est très facile et peut également être réalisée avec un simple galvanomètre. Cet état est appelé le point d'équilibre du pont de Wheatstone. Dans ce cas, l'Eq. 12 peut être combinée : si trois résistances sont connues et que la quatrième (R_3) peut être identifiée, après avoir réglé le pont au point d'équilibre (Eq. 13) :

$$\frac{R_2}{R_1+R_2} = \frac{R_4}{R_3+R_4} \Rightarrow \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \Rightarrow R_3 = \frac{R_1}{R_2} R_4 \quad (13)$$

TP N° 4**Charge et décharge d'un condensateur****But**

1. Maîtriser les processus de charge et de décharge d'un condensateur inséré dans un circuit série RC
2. Etudier la variation de la tension entre les deux bornes du condensateur avec le temps $U_C=f(t)$
3. Calculer la constante de temps « τ »
4. Vérifier la loi d'association des condensateurs

1. Théorie

Le condensateur agit comme un réservoir de charges, similaire aux piles. Lorsqu'on connecte un condensateur (C) à une source de courant continu, l'intensité (I) atteint un maximum avant de redescendre à zéro, ce qui indique que le condensateur est entièrement chargé. Le temps nécessaire pour le chargement dépend de la capacité du condensateur. Si l'on ajoute une résistance R dans ce circuit, le temps de chargement augmente avec sa valeur. Le comportement de la tension aux bornes du condensateur peut être décrit par une fonction exponentielle.

1.1 Cas de chargement

L'interrupteur K en position 1, la résistance interne du générateur est supposée négligeable, On note la tension entre les deux bornes du condensateur est V_C , la tension entre les deux bornes de la résistance V_R et la tension fournie par la source $U_{source} = E = U_0$:

$$U_C = \frac{q}{C} \quad (1)$$

$$U_R = R I \quad (2)$$

Avec :

$$I = \frac{dq}{dt} \Rightarrow U_R = R \frac{dq}{dt} \quad (3)$$

Dans cette maille,

$$U_0 = U_C + U_R \quad (4)$$

$$U_0 = \frac{q}{C} + R \frac{dq}{dt} \Rightarrow \frac{U_0}{R} = \frac{dq}{dt} + \frac{1}{RC} q \quad (5)$$

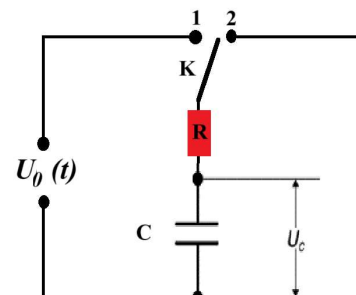


Figure 1. Circuit de chargement et déchargement d'un condensateur

Eq. 5 est une équation différentielle de premier ordre avec second membre, elle admet une

solution générale (Eq. 6) pour $\frac{dq}{dt} + \frac{1}{RC} q = 0$; et une solution particulière (Eq. 7) pour $\frac{dq}{dt} +$

$$\frac{1}{RC} q = \frac{U_0}{R} :$$

$$q = A e^{-\frac{t}{RC}} \quad (6)$$

$$\frac{1}{RC} q = \frac{U_0}{R} \Rightarrow q = EC \quad (7)$$

D'où la solution totale :

$$q = A e^{-\frac{t}{RC}} + U_0 C \quad (8)$$

Pour la résolution de l'Eq. 8 et la détermination de A , on utilise les conditions initiales : à $t = 0$ le condensateur est déchargé complètement $q = 0$, on aura : $A = -CU_0$:

$$q = CU_0 (1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (9)$$

De l'Eq. 9 permet de déterminer la variation de I et U_C :

$$I = \frac{dq}{dt} \Rightarrow I = \frac{U_0}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \quad (10)$$

$$U_C = \frac{q}{C} \Rightarrow U_C = U_0 (1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (11)$$

Récapitulatif

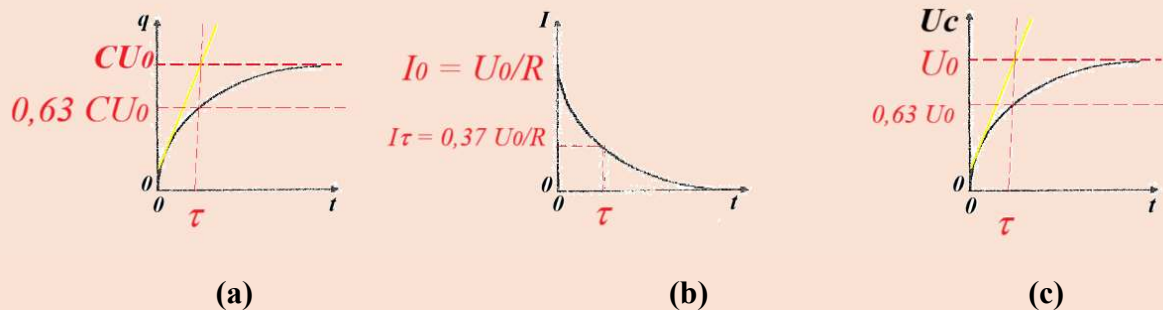


Figure 2. Variation de (a) la charge, (b) l'intensité du courant et (c) la tension entre les deux bornes du condensateur lors du chargement

Variation de q : La charge croît exponentiellement avec le temps (Fig. 2a). Le temps nécessaire pour que le condensateur atteigne environ 63 % de sa charge maximale est appelé **constante de temps** ($\tau = RC$). Le condensateur est considéré comme complètement chargé après environ 5τ et sa charge $q = CU_0$.

Variation de I : L'intensité du courant décroît exponentiellement avec le temps (Fig. 2b). Théoriquement, l'intensité du courant $I \rightarrow 0$ quand $t \rightarrow \infty$; à $t = 0$, le courant est maximal $I_0 = U_0/R$ et à $t = \tau = RC$ la décroissance de I devient plus lente et $I_\tau = \frac{E}{R} e^{-1} \approx 0,3679 \frac{U_0}{R}$

Variation de U_C : La tension entre les deux bornes du condensateur croît exponentiellement avec le temps (Fig. 2c). Lorsque le condensateur commence à se charger, la tension U_C augmente progressivement. Une fois complètement chargé (à l'équilibre), U_C atteint une valeur égale à la tension de la source, soit $U_C = U_0$

1.2 Cas de déchargement

L'interrupteur K en position 2, le condensateur se décharge dans R , la charge diminue avec le temps et le courant devient $I = -\frac{dq}{dt}$, la tension fournie par la source $U_{source} = E = 0$ et c'est le condensateur qui devient une source :

$$U_C = \frac{q}{C} \quad (12)$$

$$U_R = R I \quad (13)$$

Avec :

$$I = -\frac{dq}{dt} \Rightarrow U_R = -R \frac{dq}{dt} \quad (14)$$

Dans cette maille,

$$U_C = U_R \Rightarrow U_C - U_R = 0 \quad (15)$$

$$0 = \frac{q}{C} + R \frac{dq}{dt} \Rightarrow 0 = \frac{dq}{dt} + \frac{1}{RC} q \quad (16)$$

Eq. 15 est une équation différentielle de premier ordre sans second membre qui admet une solution de la forme :

$$q = A e^{-\frac{t}{RC}} \quad (17)$$

Pour la résolution de l'Eq. 6 et la détermination de A , on utilise les conditions initiales : à $t = 0$ le condensateur est chargé complètement $q = CU_0$. On aura $A = CU_0$ et Eq. 6 devient :

$$q = CU_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad (18)$$

L'Eq. 7 permet de déterminer la variation de I et U_C :

$$I = -\frac{dq}{dt} \Rightarrow I = \frac{U_0}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \quad (19)$$

$$U_C = \frac{q}{C} \Rightarrow U_C = U_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad (20)$$

Récapitulatif

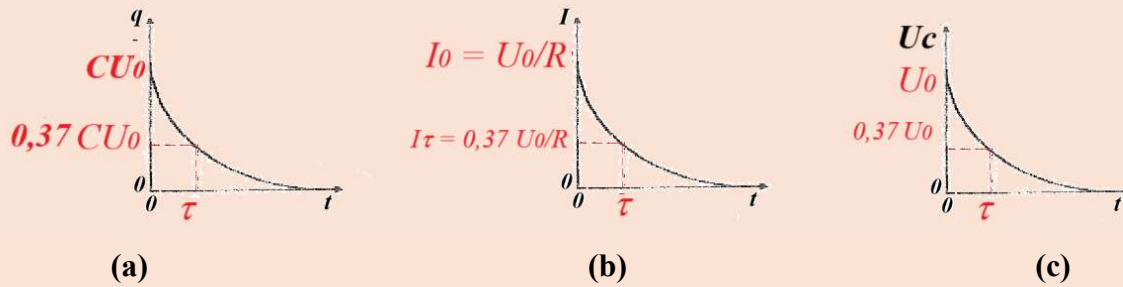


Figure 3. Variation de (a) la charge, (b) l'intensité du courant et (c) la tension entre les deux bornes du condensateur lors du déchargement

Variation de q : La charge décroît exponentiellement avec le temps (Fig. 3a). La charge qui valait CU_0 au départ, ne vaut plus que $\approx 37\%$ de sa valeur initiale après un temps $t = \tau = RC$.

Variation de I : L'intensité du courant décroît exponentiellement avec le temps (Fig. 3b). De nouveau à l'instant $t = 0$ que le courant est maximum ; il vaut U_0/R . Il ne vaut plus que 37% de sa valeur initiale au bout d'un temps $t = \tau = RC$ exactement comme pour le courant de charge.

Variation de U_C : La tension entre les deux bornes du condensateur décroît exponentiellement avec le temps (Fig. 2c).

Initialement la tension $U_C = U_0$, en se déchargeant à travers une résistance, U_C diminue jusqu'à atteindre 0 V. Lorsque le condensateur est complètement déchargé (à l'équilibre), sa tension devient $U_C = 0$ V.

NB. : D'après les Équations 10 et 19, il est crucial de ne jamais charger un condensateur en le branchant directement aux bornes de la source, ni de le décharger en court-circuitant ses plaques. En effet, dans de tels cas, la résistance $R \approx 0$, ce qui engendre un courant initial exorbitant de U/R , pouvant provoquer la fusion des fils de connexion.

Pour déterminer graphiquement τ on trace la tangente à la courbe $U_c(t)$ en $t = 0$ s. Cette tangente coupe l'asymptote $U_C = U_0$ en un point d'abscisse $t = \tau$.

TP N° 5

Induction magnétique



But

Mesurer l'induction magnétique de solénoïdes, à partir de leur rayon R , leur nombre de spires n et x , la distance entre un point p se trouvant sur son axe central

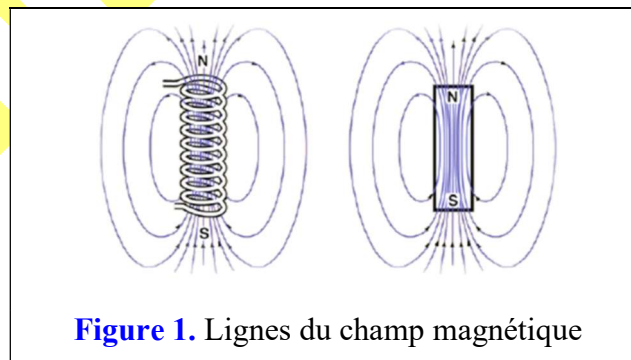
1. Théorie

Tout mouvement de charges, et notamment le courant électrique, est source de champ magnétique. Un phénomène magnétique est représenté par deux vecteurs : le vecteur du champ magnétique $\vec{H}$ et celui de l'induction magnétique $\vec{B}$, ces deux vecteurs sont liés par la relation (Eq. 1).

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} \quad (1)$$

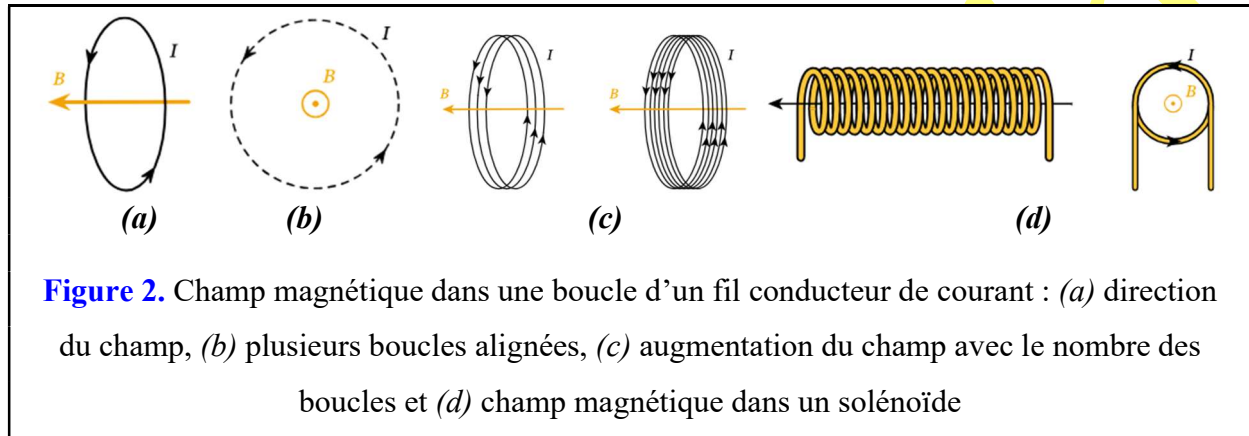
Avec : μ_0 est la perméabilité magnétique du vide et $\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{Tm/A}$

$\vec{B}$ est toujours tangent aux lignes du champ magnétique $\vec{H}$, celles-ci commencent à partir du pôle Nord de l'aimant vers le pôle Sud, ces lignes sont toujours fermées (Fig.1).



Rappelons la direction d'un champ magnétique $\vec{B}$ dans une boucle d'un fil conducteur de courant : Au centre de la boucle, la direction obéit à la règle des trois doigts de la main droite (Fig.2a). Vue de face, la direction du champ magnétique est sortante (Fig.2b). L'intensité du champ magnétique au centre d'une boucle peut être augmentée en plaçant plusieurs boucles

alignées avec la première boucle (Fig.2c). Au lieu d'utiliser un ensemble de boucles, le renforcement du champ magnétique au centre peut être réalisé en utilisant un seul fil avec plusieurs spires (Fig. 2d). Un fil avec une série de spires comme celui-ci est appelé un solénoïde. Chaque spire d'un solénoïde contribue à la force du champ magnétique au centre comme le ferait une boucle supplémentaire. L'intensité et la direction du champ magnétique au centre même d'un solénoïde sont uniformes.



1.1 Effet magnétique du courant électrique ; Loi de Biot-Savart et la loi d'Ampère

La loi de Biot et Savart permet de relier le courant électrique aux effets magnétiques qu'il produit dans l'hypothèse où ce courant est stationnaire. L'induction magnétique $\vec{B}$ produite par un conducteur circulaire traversé par un courant électrique I dans un point P de son axe (Fig. 3), selon la loi de *Biot et Savart*, est la somme des contribution élémentaires $d\vec{B}_1$ produite par chaque élément de courant de longueur orientée $d\vec{\ell}$ traversé par un courant d'intensité I (Eq. 2).

$$d\vec{B}_1 = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \times \frac{d\vec{\ell} \wedge \vec{r}}{r^3} \quad (2)$$

$$\|d\vec{B}_1\| = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \cdot \frac{d\ell}{r^2} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \cdot \frac{d\ell}{x^2 + R^2} \quad (3)$$

$$\vec{dB} = d\vec{B}_1 + d\vec{B}_2 \quad (4)$$

Avec : r est la distance entre le conducteur et le point P .

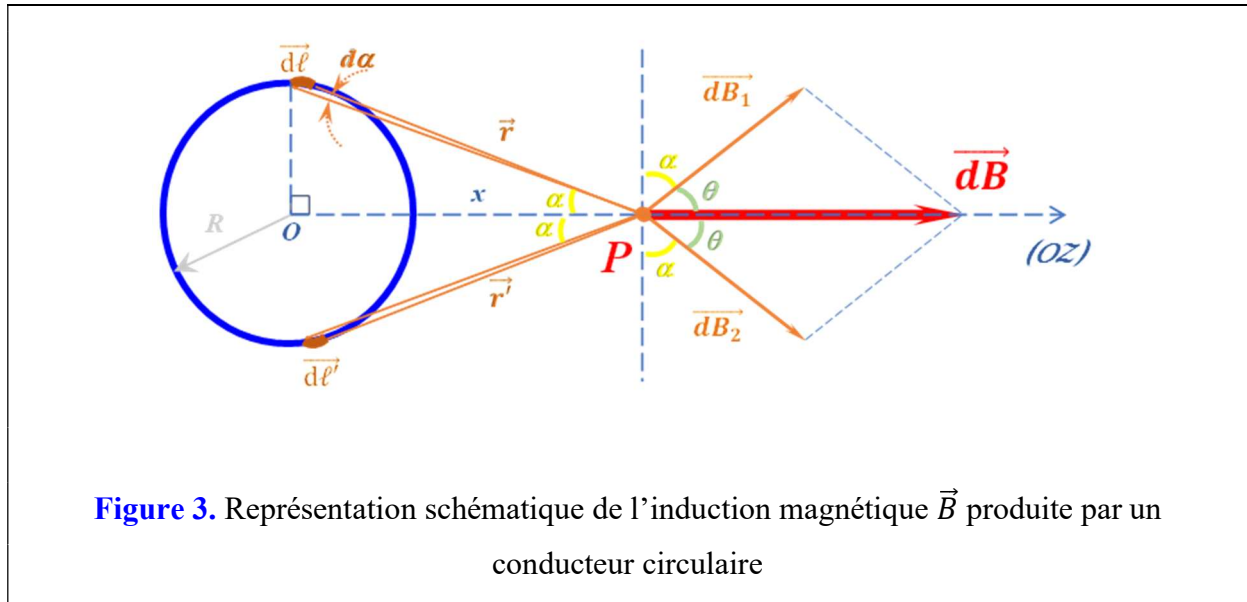


Figure 3. Représentation schématique de l'induction magnétique $\vec{B}$ produite par un conducteur circulaire

En raison de la symétrie via l'axe centrale (OZ) , les composantes verticales de $\vec{dB}_1$ et $\vec{dB}_2$ s'annulent deux à deux et les composantes horizontales s'ajoutent en P pour donner le vecteur de l'induction magnétique $\vec{dB}$ perpendiculaire au conducteur (Eq.5).

$$dB = dB_1 \cos \theta \quad (5)$$

Remplaçant Eq.3 dans Eq.5 :

$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \cdot \frac{d\ell}{r^2} \cos \theta = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \cdot \frac{d\ell}{r^2} \sin \alpha = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \cdot \frac{R}{r^3} d\ell = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \cdot \frac{R}{(x^2 + R^2)^{\frac{3}{2}}} d\ell \quad (6)$$

En intégrant l'Eq. 6, on obtient l'induction magnétique B en P selon l'Eq. 8:

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \cdot \frac{R}{(x^2 + R^2)^{\frac{3}{2}}} \int_0^{2\pi R} d\ell = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \cdot \frac{R}{(x^2 + R^2)^{\frac{3}{2}}} 2\pi R \quad (7)$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2} \cdot \frac{R^2}{(x^2 + R^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (8)$$

B au centre du conducteur circulaire ($x = 0$) est donné par l'Eq. 9, et dans le cas d'un solénoïde de N spires, B est donné par l'Eq. 10 :

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R} \quad (9)$$

$$B = N \frac{\mu_0 I}{2R} \quad (10)$$