

# Les 50 autres Manips de physique de base indispensables pour l'épreuve de montage du Capes

**Version 0**  
**18 mars 2010**

UNIVERSITÉ BORDEAUX 1 | SCIENCES TECHNOLOGIES

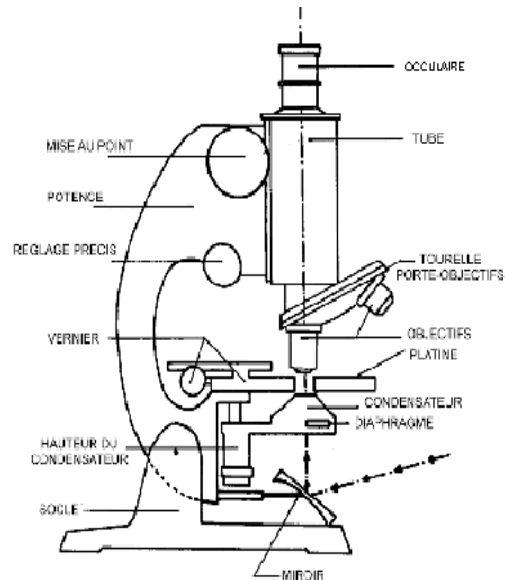
351, cours de la Libération 33405 Talence Cedex - France

Tél. : 05 40 00 60 00 - Fax. : 05 56 80 08 37 | [www.u-bordeaux1.fr](http://www.u-bordeaux1.fr)



**Le microscope**

## 1) Microscope réel :



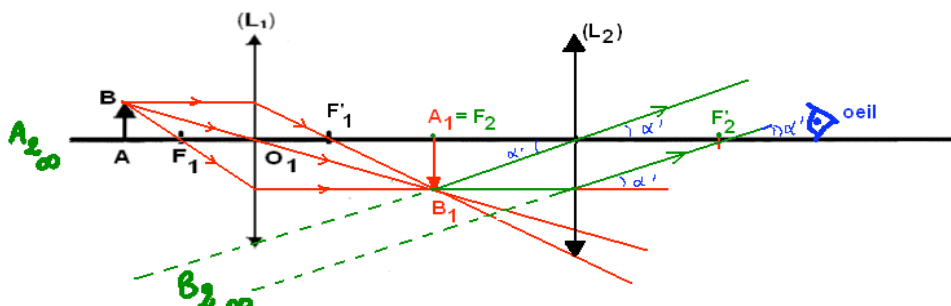
## 2) Microscope modélisé :

Un microscope se compose essentiellement de deux systèmes convergents que nous pourrions assimiler à deux lentilles minces :

**\*L'objectif**, lentille très convergente (distance focale de l'ordre de quelques millimètres). L'objectif donne d'un très petit objet situé devant l'objectif une image réelle, renversée, très agrandie. L'objet  $AB$  à observer se trouve très proche du plan focal objet de l'objectif.

**\*L'oculaire**, lentille convergente (distance focale de quelques centimètres). L'oculaire, fonctionnant comme une loupe, examine l'image  $A_1B_1$  donnée par l'objectif. Pour observer une image  $A_2B_2$  virtuelle agrandie et rejetée à l'infini à travers le microscope, il faut que l'image  $A_1B_1$  de l'objet  $AB$  se trouve dans le plan focal objet de l'oculaire.

L'objectif et l'oculaire sont centrés sur le même axe ; leurs centres optiques sont distants d'environ 15 à 20 cm.



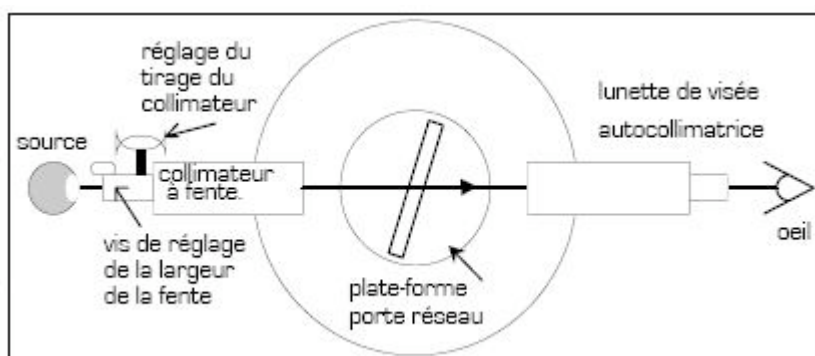
<b>Optique</b>		<b>Manip N° : 2</b>
Montage 5		
<b><u>Interférences à ondes multiples avec un réseau de fentes</u></b>		

=> Montage n°02 : Expériences portant sur les prismes et les réseaux. Applications.

=> Montage n°05 : Expériences portant sur les interférences lumineuses. Applications.

=> Montage n°30 : Expériences portant sur la diffraction dans différents domaines de la physique. Applications.

Pour cette manipulation on utilisera un goniomètre constitué d'une lentille autocollimatrice, d'un plateau tournant et d'un collimateur à fente :



### Réglages préliminaires.

#### 1°) Réglage de la lunette de visée autocollimatrice:

- Régler d'abord le tirage de l'oculaire de la lunette de façon à voir nettement, sans accommodation, les fils du réticule. Assurez vous qu'un des fils du réticule est situé suivant l'horizontale.
- Mettre en service la lame semi-transparente
- Réglez le tirage de la lunette pour une observation à l'infini par autocollimation à l'aide d'un miroir plan.

Remarque : Par la suite on pourra toujours modifier le réglage de l'oculaire (en cas d'un changement d'observateur par exemple), en prenant soin toutefois de ne pas toucher au tirage de la lunette.

#### 2°) Réglage du collimateur à fente.

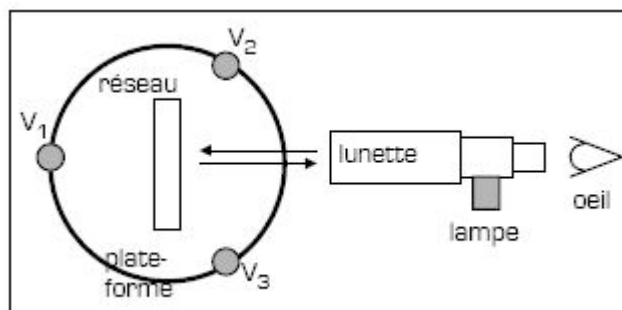
- Éclairer la fente du collimateur avec la source spectrale fournie. (lampe à vapeur de sodium).
- Aligner la lunette de visée (réglée sur l'infini) dans le prolongement du collimateur.
- Agir sur le tirage du collimateur pour observer dans la lunette une image nette de cette fente.

Diminuez alors la largeur de cette fente pour la rendre fine et ajustez éventuellement la netteté en jouant sur le tirage du collimateur.

- Agir sur la vis de réglage horizontal de l'axe optique de la lunette de visée pour centrer verticalement dans l'instrument l'image de la fente du collimateur

### 3°) Positionnement du réseau sur la table goniométrique.

Tourner le plateau porte réseau par rapport au support pour placer le plan du réseau comme indiqué sur la figure ci-dessous par rapport aux trois vis V1, V2 et V3 du support.



- Il faut d'abord placer le réseau dans le plan perpendiculaire à l'axe optique de la lunette de visée. Utiliser sur la vis V1 pour faire coïncider le fil horizontal du réticule avec son image.
- Régler ensuite le parallélisme des traits du réseau avec l'axe de rotation de son support.

Pour cela, observer la lumière diffractée en transmission par le réseau à travers la lunette dans l'ordre  $\pm 1$ .

En jouant sur les vis V2 et V3 (manoeuvrées simultanément et en sens inverse), centrer verticalement les images de la fente source dans la lunette.

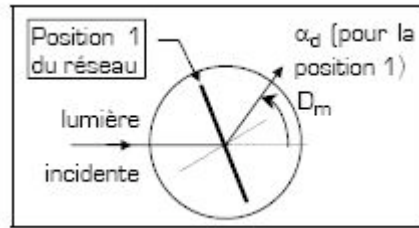
Remarque: il est fort possible qu'en fin de réglage, le support porte réseau soit fortement incliné par rapport au plateau goniométrique: c'est dû à un mauvais positionnement des traits du réseau par rapport à la diapositive elle-même.

### Mesure du pas du réseau.

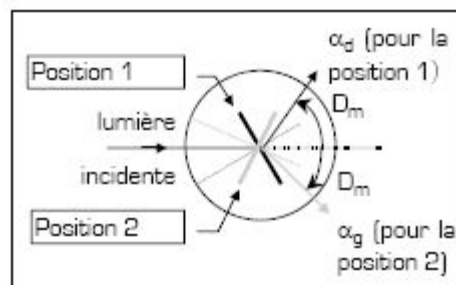
#### 1°) Étude expérimentale du minimum de déviation.

Éclairer la fente du collimateur avec la lampe à vapeur de sodium.

Placer le réseau sous incidence sensiblement normale (un réglage grossier à l'oeil suffira ici) et observer dans la lunette, pour le doublet jaune orange du sodium, les images diffractées par le réseau: l'image centrale (la plus lumineuse) et de chaque côté les images de diffraction de moins en moins lumineuses à mesure que l'on s'éloigne de la frange centrale correspondant aux maxima principaux d'intensité diffractée dans les ordres  $\pm 1$  ou  $\pm 2$ ).



Déterminer les positions angulaires  $\alpha_d$  et  $\alpha_g$  du minimum de déviation à droite et à gauche pour l'ordre considéré (angles mesurés à la minute d'arc près).



l'angle de déviation entre ces deux positions est :

$$D_m = \frac{|\alpha_d - \alpha_g|}{2}$$

## 2°) Calcul du pas du réseau.

Calculer  $a = 1/d$  représentant la fréquence spatiale du réseau (nombre de traits par millimètre). Comparez la valeur expérimentale à celle indiquée sur le réseau. On donne les longueurs d'onde du doublet jaune du sodium:  $\lambda_1 = 589.0 \text{ nm}$  et  $\lambda_2 = 589.6 \text{ nm}$ .

Calcul d'incertitude sur la mesure de a : On considère que la précision sur  $\lambda$  est infinie, et que les positions angulaires (donnant  $\alpha_d$  et  $\alpha_g$ ) sont connues à 1 minute d'arc près.

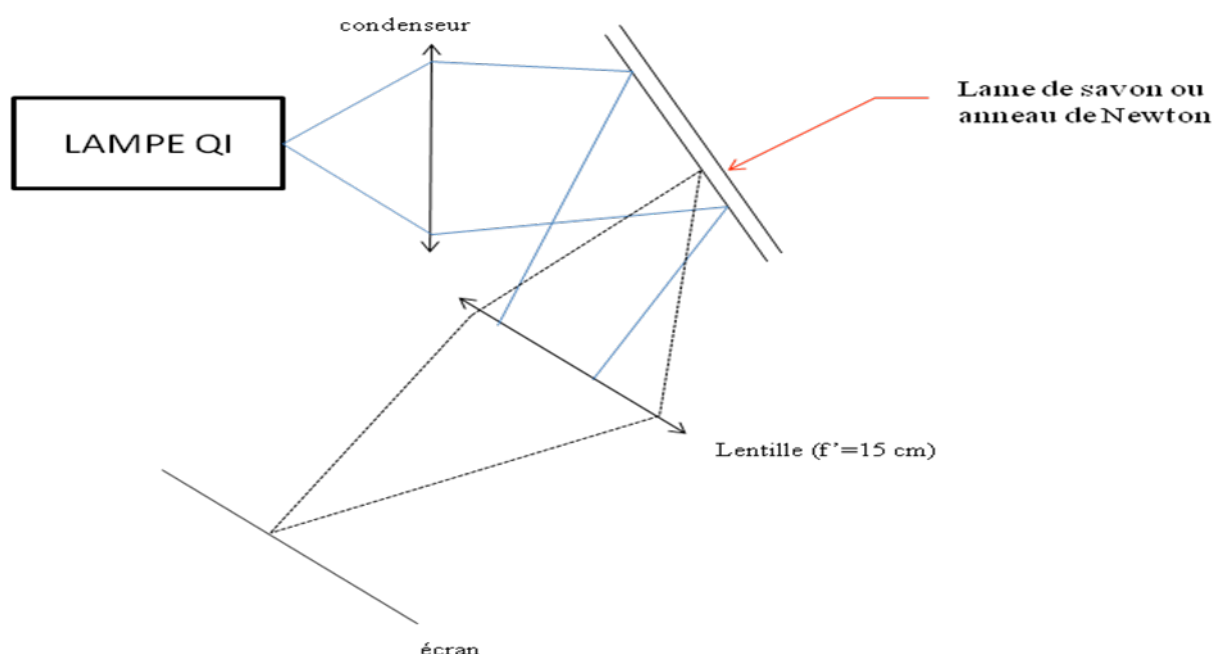
$$\frac{\Delta a}{a} = \frac{\Delta(D_m)}{2 \tan\left(\frac{D_m}{2}\right)}$$

<b>Optique</b>		<b>Manip N° : 3</b>
Montage 5		
<b><u>Interférences par division d'amplitude</u></b>		

- Objectifs : observer les interférences données par **une bulle ou lame de savon** (expérience qualitative) et par **les anneaux de Newton** (expérience quantitative)
- Bibliographie : Optique expérimentale-Sextant Ed. Hermann (p155 à 161)  
Expériences d'optique Agrégation- R.DUFFAIT Ed. Bréal (p 55-56)

### **A. MONTAGE EXPERIMENTAL :**

Le montage expérimental pour les 2 expériences est le suivant :



On observe donc **les interférences en réflexion** plutôt qu'en transmission (plus faible intensité mais meilleur contraste voir bibliographie pour l'explication). Les interférences étant localisées au voisinage de la lame ou des anneaux, il faut projeter la figure d'interférence pour pouvoir l'observer ce qui explique l'utilisation de la lentille.

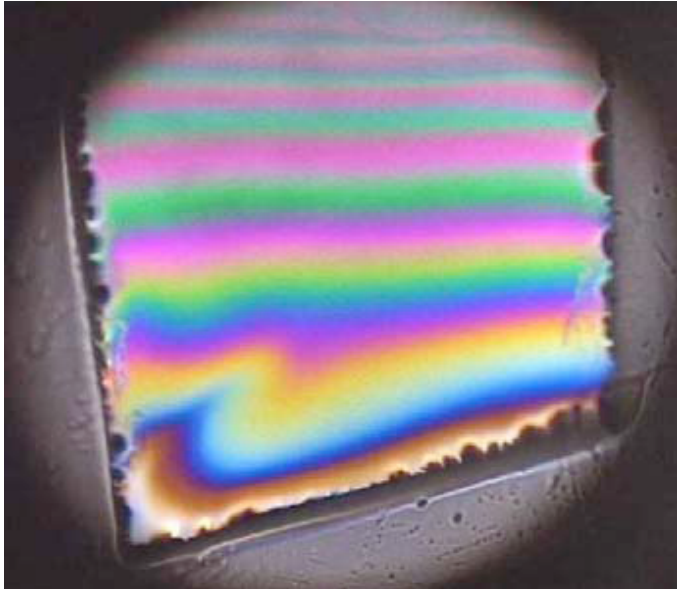
### **B. LAME DE SAVON :**

Dans la nature, on observe des irisations à la surface des bulles de savon ou des flaques recouvertes d'une fine pellicule huileuse. Ceci est dû à un phénomène d'interférence par division d'amplitude.

#### **1. Expérience et observations :**

On fabrique une solution savonneuse assez concentrée avec du liquide vaisselle par exemple. On y plonge un cadre fin : en retirant le cadre de la solution, un film de savon doit être accroché à celui-ci. On réalise alors l'expérience précédente.

- Observations :



On observe qu'au fur et à mesure du drainage (écoulement de l'eau vers le bas) la lame est tout d'abord blanche puis des franges colorées apparaissent et défilent verticalement. Enfin un film noir apparaît juste avant le claquage de la lame de savon. Les couleurs constituent **l'échelle des teintes de Newton**

## 2. Interprétation rapide :

Les franges colorées sont caractéristiques des phénomènes d'interférences à 2 ondes observées en lumière blanche. Ceci est dû aux interférences entre les deux types de faisceaux lumineux réfléchis par la lame : le faisceau (1) réfléchi au niveau de la première interface - air / savon - et celui (2) réfléchi au niveau de la seconde interface - savon / air. On obtient alors des franges d'égale épaisseur car la différence de marche (en incidence proche de la normale) est donnée par :  $\delta = \lambda/2 + 2ne$  avec  $e$  épaisseur de la lame. L'épaisseur de la lame variant avec le drainage, les franges défilent. (Très bien expliquer dans le Sextant)

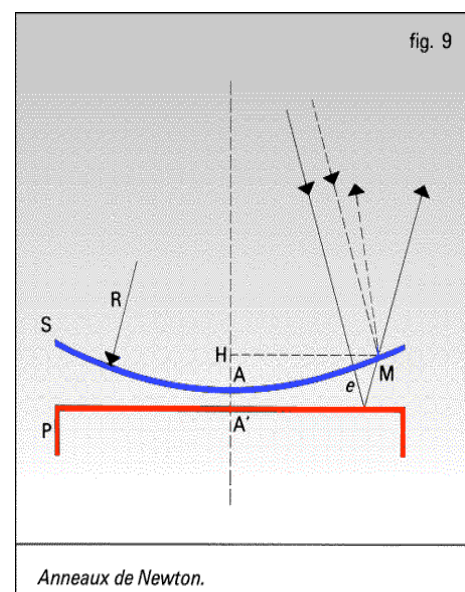
## C. ANNEAUX DE NEWTON :

### 1. Les anneaux de Newton :

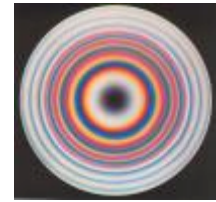
Les anneaux de Newton sont un dispositif équivalent à la lame de savon.

Ils sont constitués par une lentille plan convexe en contact avec la face plane d'une lame de verre.

La différence de marche entre 2 rayons est :  $\delta = \frac{x^2}{R} + \frac{\lambda}{2}$  avec  $x=HM$  et  $R$  rayon de courbure de la lentille plan convexe.







## 2. Expériences et observations :

On réalise l'expérience décrite précédemment.

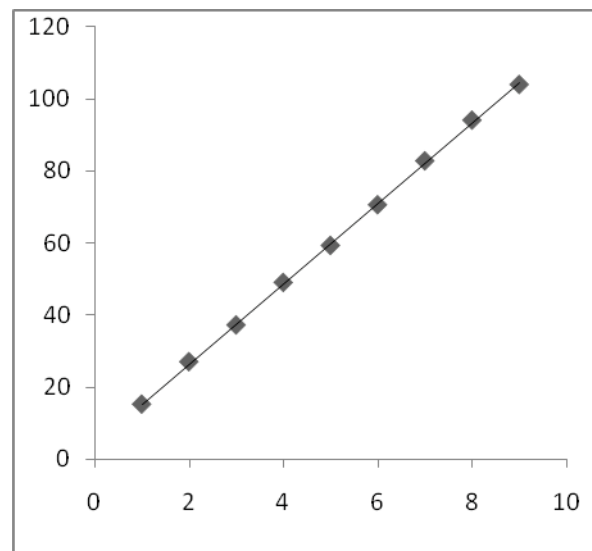
- Observations :

On observe des anneaux colorés dont le centre est noir (le centre est blanc pour les anneaux observés en transmission). C'est le même phénomène que pour la lame de savon. On retrouve les teintes de Newton. En interposant un filtre monochromatique entre la source et les anneaux, on voit plus d'anneaux sur l'écran.

## 3. Exemple de mesures :

On peut par exemple vérifier que le rayon  $\rho_k$  du k-ième anneau sombre est donné par  $\rho_k = \sqrt{k} \sqrt{R\lambda}$ .

Résultat obtenu avec une lampe à vapeur de sodium avec la raie D du sodium (d'après expérience des laboratoires Leybold)



Numéro anneau k	$\rho$ (mm)	$\rho^2$ (mm)
2	3,9	15,2
3	5,2	27
4	6,1	37,2
5	7,0	49
6	7,7	59,3
7	8,4	70,6
8	9,1	82,8
9	9,7	94,1
10	10,2	104

En traçant  $\rho^2$  en fonction de k, on trouve bien une droite.

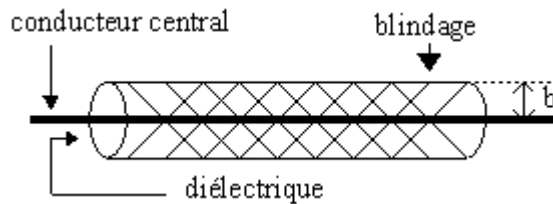
## **CONCLUSION :**

On montre à partir de ces 2 expériences des interférences par division d'amplitude qui peuvent apporter un plus au montage sur les interférences qui souvent se limite aux interférences par division du front d'onde. La partie quantitative sur la mesure du rayon des anneaux n'est peut être pas à faire le jour de l'oral (par manque de temps).

**Câble coaxial**

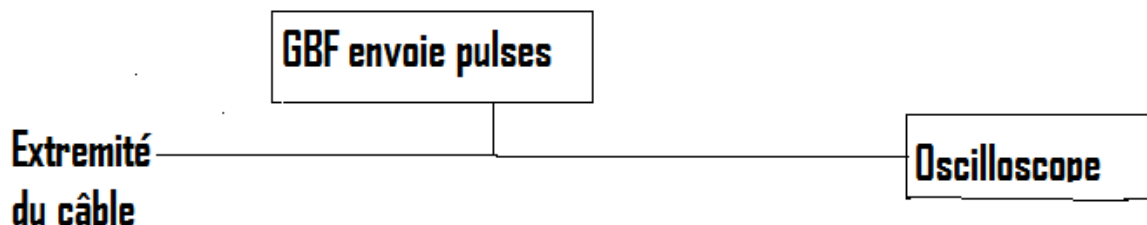
Les ondes électromagnétiques n'ont pas besoin de milieu matériel pour se propager.

Le câble coaxial se compose de deux conducteurs séparés par un isolant. Il sert à protéger le signal que l'on veut transmettre des perturbations électromagnétiques extérieures.



Le rôle de l'isolant est d'éviter qu'il y ait contact entre les deux conducteurs (cage de Faraday). En revanche, l'isolant atténue l'amplitude du signal à transmettre donc à très grande distance il faut mettre des amplificateurs. Le câble est remplacé par la fibre optique qui engendre moins de pertes.

On réalise le montage suivant :



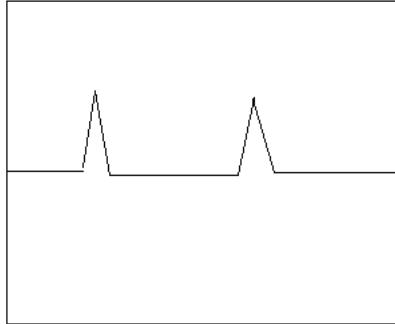
3 configurations sont possibles :

- Impédance de sortie nulle : On met un court circuit et on a sur l'oscilloscope un pulse inversé.
- Impédance de sortie infinie : on laisse l'extrémité du câble à l'air libre. On a un pulse de retour donc une perte de puissance.
- Adaptation d'impédance  $Z=50\text{ohm}$ , le bouchon. Il n'y a plus de pulse retour toute la puissance est conservée c'est le cas des installations télévisuelles par exemple.

Coefficient de réflexion  $\rho$  à l'extrémité :  $\rho = \frac{R_s - R_l}{R_s + R_l}$  avec  $R_s$  : résistance de sortie et  $R_l$  : résistance du câble

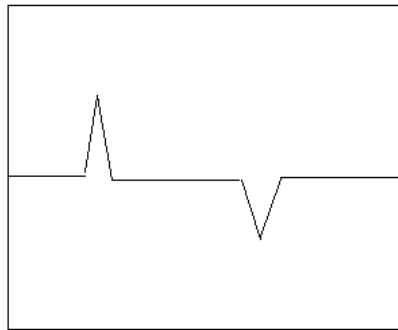
### 1- Etude de l'impédance de sortie infinie

On étudie donc le câble avec rien à la sortie donc  $\rho=1$  (circuit ouvert)



### 2- Etude de l'impédance de sortie nulle

On étudie donc le câble avec un court circuit au bout  $\rho = -1$



### 3- Etude de l'adaptation d'impédance

On étudie le câble avec un bouchon de  $50\Omega$



### 4- Détermination de la célérité de l'onde dans le câble

On travaille en impédance infinie, on cherche à déterminer la célérité de l'onde dans le câble.

On mesure le décalage en temps des pulses sur l'oscillo en fonction des longueurs de câble... NE PAS OUBLIER DE MULTIPLIER PAR 2 LA LONGUEUR DU CÂBLE CAR LE DEUXIEME PULSE A FAIT UN ALLER RETOUR DANS LE CÂBLE.

On trace le graphe  $d=f(t_{\text{retard}})$  on trouve une allure linéaire et le coefficient directeur de la droite nous donne la vitesse.

On peut aussi calculer  $v$  avec la formule  $v=1/(\sqrt{LC})$

On mesure  $C$  avec un capacimètre en  $Z$  infini et  $L$  avec un inductance mètre en  $Z=0$ . Les valeurs que l'on a doivent être divisées par la longueur du câble que l'on considère

**Transmission et Réception d'un Signal Sonore****Modulation d'amplitude:**

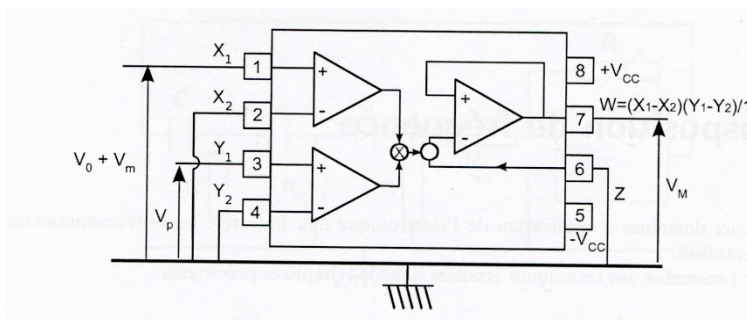
Matériels: 2 GBF, un générateur +15/-15V, un oscilloscope numérique, multiplieur AD633

Manipulation:

-Réaliser une tension sinusoïdale  $v(t)$  porteuse de 1Volt d'amplitude et de fréquence 100kHz

-Réaliser une tension sinusoïdale  $w(t)$  modulante de 1Volt d'amplitude, de fréquence 500Hz et de composante continue 2Volts avec le deuxième GBF

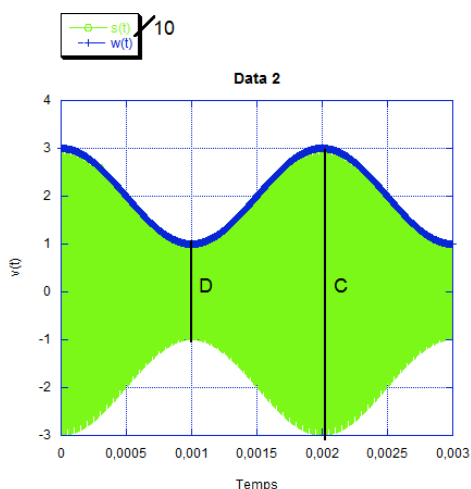
-Relier les sorties de GBF sur les entrées du multiplieur AD633 comme sur le schéma:



-Relier la sortie +Vcc au +15V et -Vcc au -15V du générateur

-Visualiser sur l'oscilloscope la tension  $s(t)$  CH1 ( $V_m$  sur schéma) ainsi que  $w(t)$  CH2.

le facteur  $k$  de l'AD633 vaut  $1/10$ , on aura  $s(t)$  qui sera le 10ème de  $w(t)$  en volt.



On peut calculer le facteur de modulation  $m$  directement sur le signal temporel

$$m = (C - D) / (C + D)$$

-Passer en mode XY sur l'oscilloscope.

-Modifier la tension  $w(t)$  pour chaque cas:

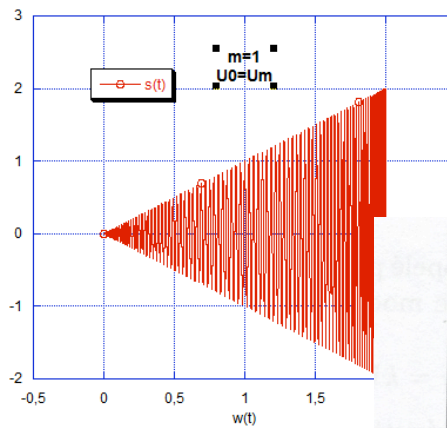
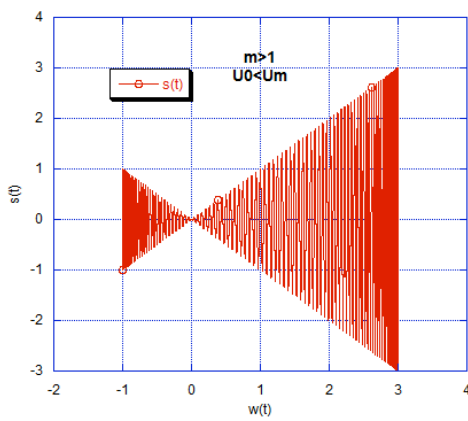
-1er Cas: Avec valeur donné si avant

-2ème Cas: Composante continue à 1Volt au lieu de 2

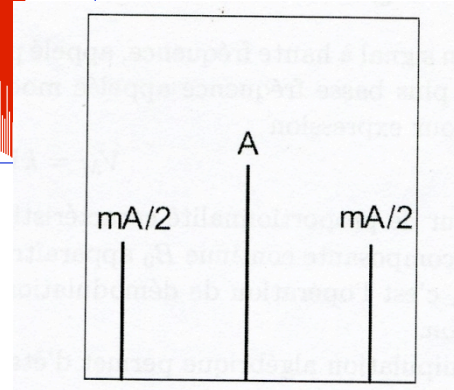
-3eme Cas: Amplitude 2V et Composante continue à 1V

Le facteur de modulation peut être calculé:

$$m = \frac{Y_{\max} - Y_{\min}}{Y_{\max} + Y_{\min}}$$



-Passer en analyse de Fourier



On retrouve bien la fréquence  $F$  de la porteuse et deux autres fréquences  $(F+f)$  et  $(F-f)$ .

Correspond bien au signal:

$$s(t) = K \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot F \cdot t) + \frac{K \cdot m}{2} \cdot (\cos(2 \cdot \pi \cdot (F+f) \cdot t) + \cos(2 \cdot \pi \cdot (F-f) \cdot t))$$

On peut aussi calculer le facteur  $m$ .

-Repasser en signal temporel puis faites varier la fréquence  $F$ .

Lorsque  $F$  augmente, le signal de sortie se déforme. On atteint les limites de fréquences du multiplieur.

-Revenir à une fréquence inférieure à la fréquence limite puis faire varier la fréquence  $f$  de la modulante de 0 à 20kHz afin de montrer que le signal n'est pas déformé pour une plage de fréquences audibles.

### Démodulation d'un signal modulé en amplitude:

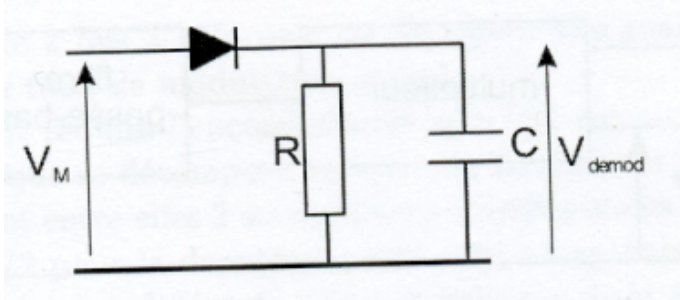
#### \*Détecteur de crêtes:

Matériels: celui pour moduler, diode, résistance variable, condensateur variable.

Manipulation:

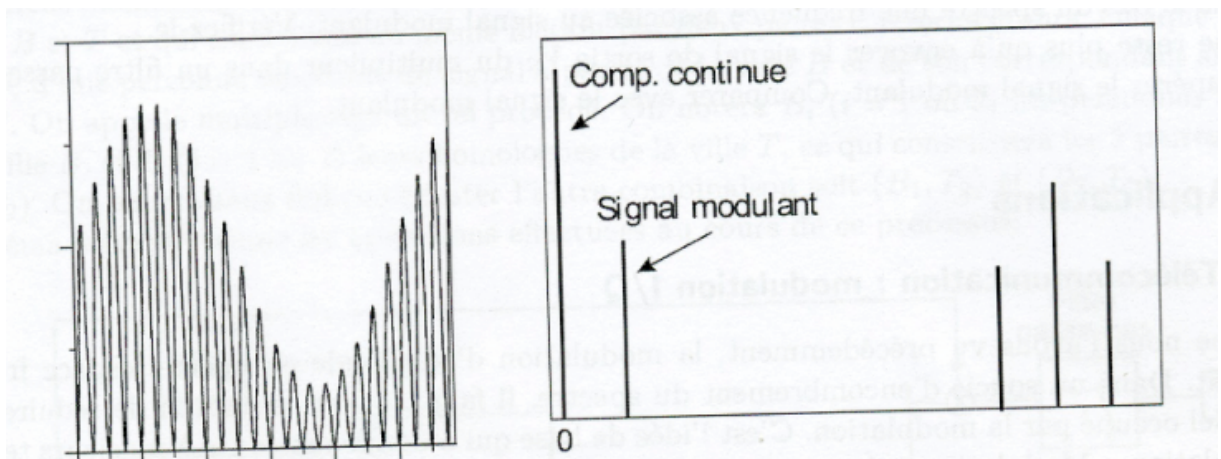
-Réaliser le signal modulé en amplitude de la même façon que précédemment

-Ajouter à la sortie  $s(t)$ , ces éléments:



-Enlever dans un 1er temps le condensateur. La résistance est de l'ordre du kOhms.

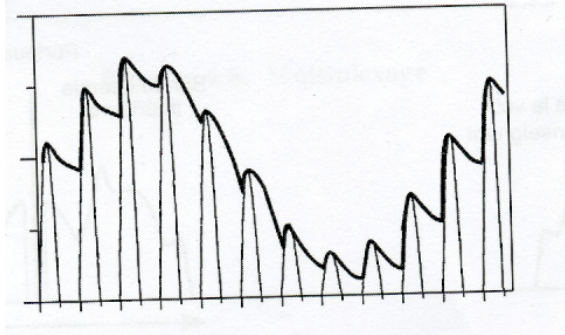
-Visualiser l'effet de la diode avec l'oscilloscope en mode temporel et Fourier.



-Insérer le condensateur de valeur  $C$  sachant que  $500\text{Hz} < 1/RC < < 100\text{kHz}$

On réalise ainsi un détecteur d'enveloppe.



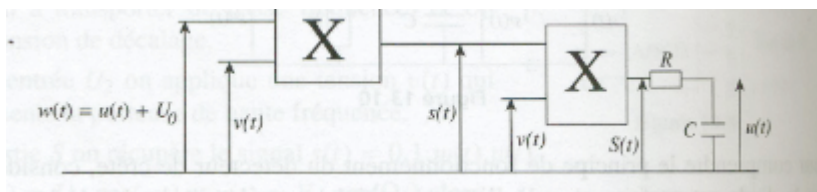


**\*Détection synchrone:**

Matériel: celui pour moduler, amplificateur AD633, Resistance variable, Condensateur Var

Manipulation:

-Réaliser ce schéma avec en les mêmes variables que pour la partie modulation d'amplitude



Le deuxième multiplieur permet d'obtenir un signal  $S(t)$  composé d'une fréquence  $f$ , d'une fréquence de  $2F-f$ , d'une de  $2F$ , et d'une de  $2F+f$

Il ne reste donc plus qu'à filtrer les fréquences parasites grâce à un filtre passe bas (RC)

-Prendre  $R=470 \text{ Ohms}$  et  $C=0,1\mu\text{F}$

La fréquence de coupure  $f_c=3386\text{Hz}$  vérifie bien la condition  $f \ll f_c \ll 2F-f$

-Visualiser la tension de sortie.

**2<sup>ème</sup> loi de newton : dispositif à coussin d'air**

Matériel :

Table à coussin d'air ( table + 2 mobiles autoporteurs)

Poulie (supposée idéale)

Ficelle

Masselotte

Protocole :

Accrocher la masselotte avec la ficelle au mobile autoporteur, passer la ficelle dans la poulie.

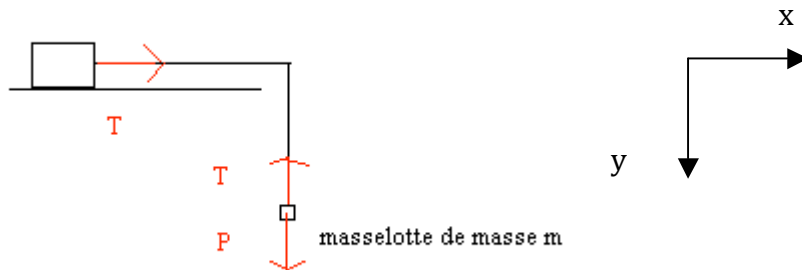
Lâcher la masselotte et faire l'acquisition.

Mesurer l'accélération en différents points

Comparer la valeur avec celle attendue.

Théorie :

mobile de masse  $M$



Le système : le mobile et la masselotte

Référentiel terrestre supposé galiléen

Bilan des forces :

Le poids de la masselotte :  $\mathbf{P} = mg \mathbf{e}_y$

La tension du fil au niveau de la masselotte :  $\mathbf{T}$

La tension du fil au niveau du mobile :  $\mathbf{T}$

La norme des tensions est la même car la ficelle n'est pas extensible

On applique le principe fondamental de la dynamique

$$\left. \begin{array}{l} M\mathbf{a} = \mathbf{T} \\ m\mathbf{a} = \mathbf{T} + \mathbf{P} \end{array} \right\} \begin{array}{l} Ma_x = T \\ ma_y = -T + mg \end{array}$$

On a :  $a_x = a_y$  et

D'où  $a = mg / (M + m)$

**Oscillations libres et amorties du pendule****1-Introduction**

-Un oscillateur mécanique est un système animé d'un mouvement de va et vient, en général autour d'une position d'équilibre stable. C'est par exemple le cas d'une balançoire, du balancier d'une horloge, de la membrane d'un haut parleur, etc.

·Un pendule pesant est un solide qui oscille autour d'un axe horizontal ne passant pas par son centre d'inertie.

·Un pendule simple est constitué d'un solide de petite dimensions, de masse  $m$ , suspendu à un point fixe  $O$  par un fil inextensible de longueur  $L$ , de masse négligeable. Écarté de sa position d'équilibre, il oscille dans le champ de pesanteur terrestre  $g$ .

**2-Etude des oscillations libres non amorties du pendule simple**

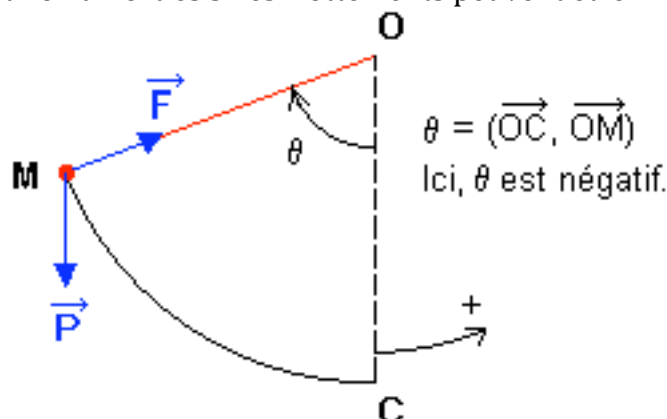
Considérons un pendule simple constitué d'une petite bille de masse  $m$ , suspendue à un fil de longueur  $L$ .

1) Oscillations libres non amorties :

Une oscillation est le trajet du pendule entre deux passages consécutifs par un point dans le même sens.

Les oscillations sont libres s'il n'y a aucune intervention extérieure.

Elles sont non amorties si les frottements peuvent être



négligés.

2) Etude du mouvement

a) Grandeurs caractéristiques :

La position du pendule est repérée par l'angle orienté  $\theta$  ou écart à l'équilibre, entre la verticale OA et la direction du fil.

L'amplitude  $\theta_m$  du mouvement est la valeur maximale de l'angle  $\theta$ .

L'angle  $\theta$  varie de  $-\theta_m$  à  $+\theta_m$ .

La période T du mouvement du pendule est la durée séparant deux passages consécutifs par le même point, dans le même sens. ( T en seconde (s))

La fréquence f est l'inverse de la période :  $f = 1 / T$ . (f en Hertz (Hz))

#### b) Etude expérimentale :

A l'aide d'un dispositif d'acquisition, on enregistre l'abscisse angulaire  $\theta$  du pendule au cours du temps.

Pour un petit nombre d'oscillations, l'amplitude  $\theta_m$  reste constante.

Le mouvement du pendule est périodique.

La période T est la durée d'une oscillation.

Les oscillations sont libres et non amorties.

#### c) Etude théorique

La bille (système) est étudié dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

Les forces appliquées sont le poids P et la force F (action du fil )

Application de la 2<sup>ème</sup> loi de Newton dans le référentiel terrestre supposé galiléen :

$$P + F = m \cdot a$$

#### d) parametres influents sur $T_0$ :

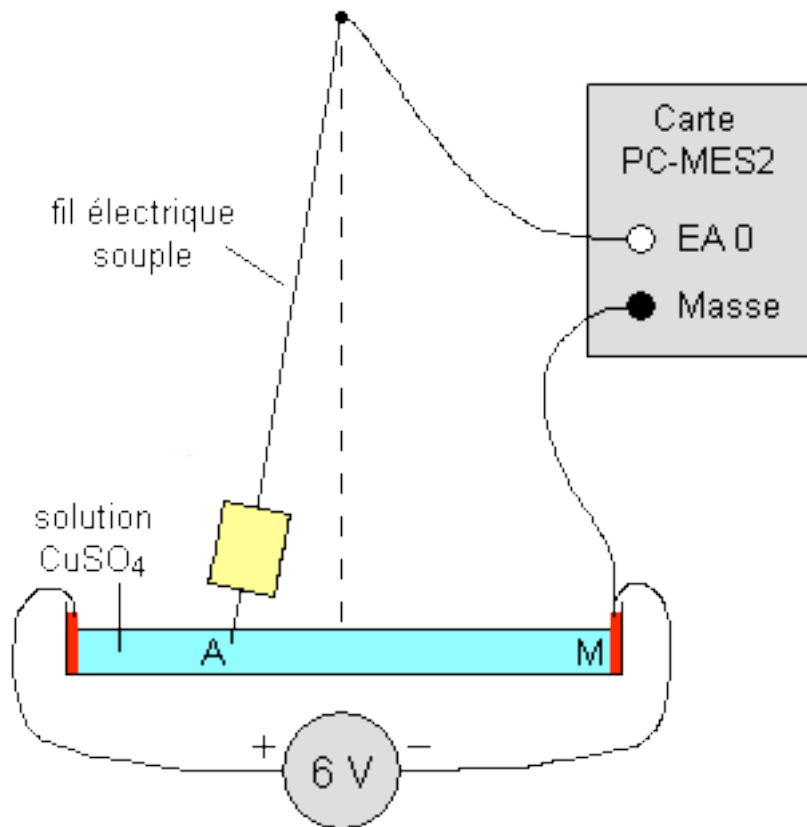
faire varier la masse sur le pendule ( faire un tableau )

faire varier la longueur du pendule (faire un tableau)

conclure

### 3- Oscillations amorties du pendule

En réalité, existent toujours des forces de frottement qui dissipent de la chaleur vers le milieu extérieur et font diminuer l'énergie du pendule placé dans le champ de pesanteur



terrestre.

Un cylindre de laiton de masse  $m$  est suspendu à un fil électrique souple par l'intermédiaire d'une pince en bois fixée sur un support.

L'extrémité A d'une pointe en cuivre, traversant le cylindre de laiton, peut osciller dans une cuve rhéographique contenant une solution conductrice de sulfate de cuivre et dont les deux plaques de cuivre sont reliées à un générateur fournissant une tension continue de 6 V.

On mesure l'évolution de la tension  $u_{AM}$  au cours du temps, quand les oscillations du système sont amorties (ou non amorties).

Remarque

Pour que le pendule puisse être assimilé à un pendule simple il faut choisir une longueur de fil souple telle que le diamètre de l'objet suspendu soit inférieur au dixième de la longueur du fil.

### 1. Influence de la masse $m$ du pendule sur la période propre $T_0$

A l'aide du logiciel Synchronie, enregistrer successivement sur 3 s les oscillations de trois pendules de masses  $m_1 = 0,05$  kg,  $m_2 = 0,10$  kg,  $m_3 = 0,15$  kg et de longueur  $l = 0,50$  m. Mesurer, sur chaque enregistrement, la période propre des oscillations en utilisant le réticule.

### 2. Influence de la longueur $l$ du pendule sur la période propre $T_0$

A l'aide du logiciel Synchronie, enregistrer successivement sur 3 s les oscillations du même pendule pour différentes longueurs  $l$ . Mesurer, sur chaque enregistrement, la période propre des oscillations en utilisant le réticule.

Conclusion : pas d'influence de la masse mais influence de la longueur

**Etude expérimentale en statique et en dynamique d'un solide mobile autour d'un axe fixe.**

**Etude statique**

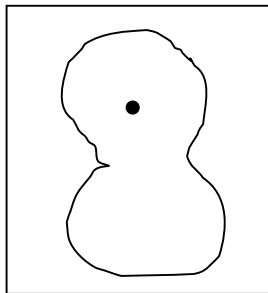
**1- Mise en évidence de facteurs influençant l'équilibre**

Tout d'abord, il faut définir le système.

Système : solide en rotation autour d'un axe fixe

Référentiel : Laboratoire supposé galiléen

Bilan des forces : le poids **P** et la réaction du support **R**



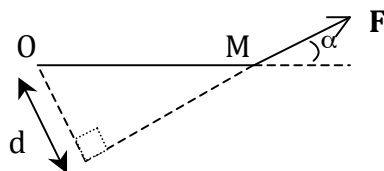
(Le point noir est l'attache.)

On remarque qu'on a un équilibre indifférent : quand on tourne le solide autour de l'axe, il est de nouveau immobile.

Ceci est dû au fait que le point d'attache est le centre de gravité (ou d'inertie) du solide : le poids et la réaction sont donc toujours opposées et de même intensité.

Lorsqu'on applique d'autres forces au solide, on remarque que leurs intensités, leurs points d'application et leurs directions sont autant de facteurs qui influencent l'équilibre.

Pour calculer le moment d'une force, on applique la méthode suivante :



On définit le moment d'une force

$$\mathbf{M}_O(\mathbf{F}) = \mathbf{OM} \wedge \mathbf{F} = OM.F.\sin(\alpha) \mathbf{e}_z$$

$$= \pm d.F. \mathbf{e}_z$$

On doit donc définir un sens de rotation (arbitraire) pour le signe de  $\sin(\alpha)$ . Par exemple, on comptera positivement le moment des forces qui font tourner le solide dans le sens trigonométrique.



Dans notre cas particulier, les moments seront toujours pris par rapport à l'axe de rotation plutôt que par rapport au pont O puisqu'on considère une rotation autour d'un axe fixe.

$$M(\mathbf{F}) = \pm d.F$$

## 2- Etude quantitative

Le but de cette manipulation est de vérifier le Théorème du moment cinétique à l'équilibre.

$$\text{Soit, } \sum M = 0.$$

Pour cela, le matériel utilisé est un solide en rotation autour d'un axe fixé à un tableau.

Le mobile est percé de plusieurs trous permettant d'y attacher de nombreuses ficelles.

Ces ficelles sont ensuite reliées à des poulies aimantées.

Diverses masselottes ( 20g, 50g, 100g etc...) sont disponibles.

On peut ainsi les fixer aux extrémités des ficelles pour appliquer des forces de différentes intensités à l'objet.

On peut par exemple ajouter trois forces au solide précédent.

Système : solide en rotation autour d'un axe fixe

Référentiel : Laboratoire supposé galiléen

Bilan des forces :  $\mathbf{P}$ ,  $\mathbf{R}$ ,  $\mathbf{F}_1$ ,  $\mathbf{F}_2$ ,  $\mathbf{F}_3$ .

Avec  $F_1 = m_1g$

$$F_2 = m_2g$$

$$F_3 = m_3g$$

Les moments du poids et de la réaction sont nuls car leurs points d'application est sur l'axe de rotation et leurs directions sont opposées. On ne considère donc que les moments engendrés par les autres forces.

On mesure la distance d à l'aide de la règle.

Exemple :

$$\Delta d = 0,1 \text{ cm} ; \Delta m = 1 \text{ g} ; \Delta M(\mathbf{F}_i) = M(\mathbf{F}_i)(\Delta d_i/d_i + \Delta m_i/m_i)$$

$$m_1 = 50 \text{ g}, d_1 = 3,2 \text{ cm}, F_1 = 0,5 \text{ N}, M(\mathbf{F}_1) = 1,60 \cdot 10^{-2} \text{ N.m}, \Delta M(\mathbf{F}_1) = 0,08 \cdot 10^{-2} \text{ N.m}$$

$$m_2 = 70 \text{ g}, d_2 = 2,6 \text{ cm}, F_2 = 0,7 \text{ N}, M(\mathbf{F}_2) = 1,8 \cdot 10^{-2} \text{ N.m}, \Delta M(\mathbf{F}_2) = 0,1 \cdot 10^{-2} \text{ N.m}$$

$$m_3 = 100 \text{ g}, d_3 = -3,5 \text{ cm}, F_3 = 1,0 \text{ N}, M(\mathbf{F}_3) = -3,6 \cdot 10^{-2} \text{ N.m}, \Delta M(\mathbf{F}_3) = 0,1 \cdot 10^{-2} \text{ N.m}$$

Retrouve-t-on le théorème du moment cinétique à l'équilibre ?

$$M(\mathbf{F}_1) + M(\mathbf{F}_2) + M(\mathbf{F}_3) = (0,2 \pm 0,3) \cdot 10^{-2} \text{ N.m} \approx 0$$

## Etude dynamique : Mouvement de rotation uniforme : mise en évidence de la $f_{ie}$

Référentiel : le plateau, non galiléen.

Système : la masse sur le plateau

Bilan des forces : Poids  $\mathbf{P}$

Réaction du support  $\mathbf{R}$

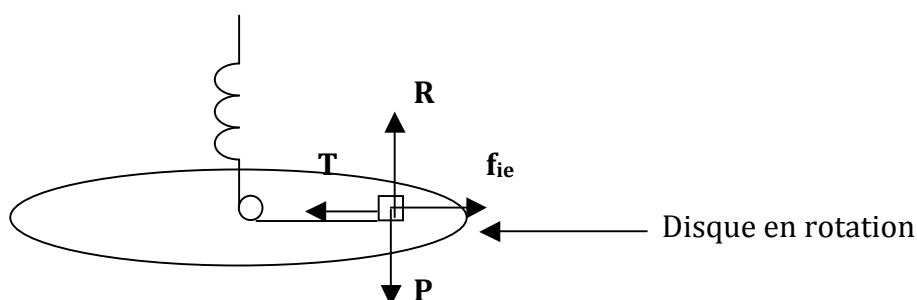
Force d'inertie d'entraînement  $f_{ie}$

Force de rappel  $\mathbf{T} = k\mathbf{l}$  (ressort)

On détermine préalablement à l'expérience la constante de raideur du ressort  $k$ .

Pour ce faire, on suspend des masses différentes et on mesure l'allongement du ressort  $l$ . On trace  $m=f(l)$ . La pente est égale à  $k/g$ .

Le schéma de l'expérience est le suivant :



Dans le référentiel du plateau, la masse ne bouge pas.

D'après le principe d'inertie, on a :

$$\mathbf{P} + \mathbf{R} + \mathbf{f}_{ie} + \mathbf{T} = \mathbf{0}$$

Si on projette :  $P = R$  et  $f_{ie} = T$  (tension du ressort)

Pour déterminer la force d'inertie d'entraînement, il suffit de déterminer l'allongement du ressort. On mesure cet allongement  $\Delta l$  en faisant varier la masse  $m$ , la vitesse de rotation  $\omega$  et la distance de la masse à la poulie  $R$ .

On trace les droites correspondant à  $\omega^2 = f(\Delta l)$  ;  $R = f(\Delta l)$  ;  $m = f(\Delta l)$

On remarque que l'on a trois droites qui passe par l'origine donc notre force est proportionnelle à ces trois grandeurs à un facteur de proportionnalité près.

On montre ainsi que  $f_{ie} = mR\omega^2$ .

<b>Mécanique</b>		<b>Manip N° : 9</b>
Montage 14		
<b><u>Chocs élastiques</u></b>		

Utilisation de la table à coussin d'air et de 2 mobiles autoporteurs.

Mettre en route la soufflerie. Faire partir els deus mobiles de sorte à ce qu'ils entrent en collision. Récupérer la feuille et faire l'analyse suivante :

- Tracer les droites liant les centres d'inertie de chaque mobile (attention à bien avoir le même nombre de points pour chaque masse)
- Calculer la position du centre de masse du système, composé des deux masses  $AG = m_1 \cdot AB / (m_1 + m_2)$

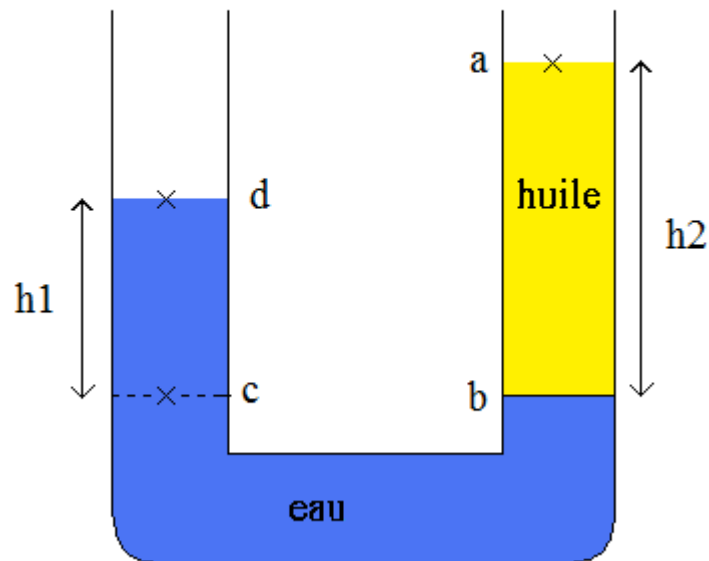
1 Conclusion : mouvement du centre de masse du système déformable rectiligne uniforme.

- Etude le la conservation de la quantité de mouvement : calculer  $p_1 + p_2$  avant le choc, puis après le choc (Rappel :  $p_1 = m_1 \cdot (M_{x+1} - M_{x-1}) / 2\tau$ )

2 Conclusion : Conservation de la quantité de mouvement

**Détermination de la masse volumique d'un liquide. Exemple avec l'huile**

Schéma du montage



On place de l'eau dans un bras du tube en U et délicatement, on insère de l'huile dans l'autre.

Interprétation : Les points  $b$  et  $c$  sont à la même hauteur. On a donc une pression identique en ces deux points :  $P_b = P_c$ . Or d'après la loi de l'hydrostatique, on a :

$$P_b = P_{atm} + \rho(\text{huile})gh_2 \text{ et } P_c = P_{atm} + \rho(\text{eau})gh_1$$

De plus, les points  $a$  et  $d$  se situent à la surface et donc sont à la pression atmosphérique :  $P_a = P_d = P_{atm}$

On a donc  $P_b - P_a = P_c - P_d$

$$\Leftrightarrow \rho(\text{huile})gh_2 = \rho(\text{eau})gh_1$$

$$\Leftrightarrow \rho(\text{huile}) = \rho(\text{eau})h_1/h_2$$

$$\text{Incertitudes : } \Delta\rho(\text{huile}) = \rho(\text{eau}) \times (\Delta h_1/h_1 + \Delta h_2/h_2)$$

<b>Hydrostatique</b>		<b>Manip N° : 11</b>
Montage 15		
<b><u>Détermination de la masse volumique d'un solide</u></b>		

pesez un solide, l'introduire dans une éprouvette graduée contenant un volume connu d'eau, en déduire le volume du solide et donc sa masse volumique par  $\rho=m/V...$

On peut faire de même avec un liquide aussi...

**Mesure de puissance active et réactive**

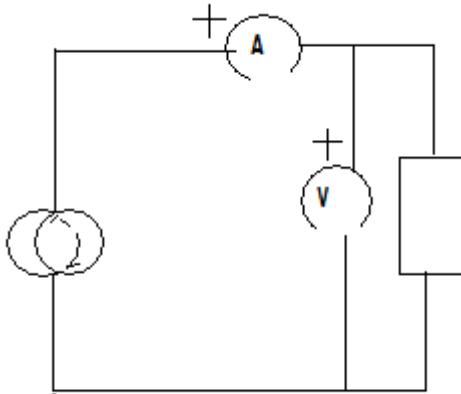
Puissance active : Elle correspond à un travail physique effectif. C'est la valeur moyenne

de la puissance instantanée sur une période : 
$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt$$

En régime sinusoïdal  $P = U_{\text{eff}} I_{\text{eff}} \cos \varphi$  en Watt (W) ou  $P = 1/2 U_{\text{max}} I_{\text{max}} \cos \varphi$

Puissance réactive : C'est la puissance sans effet physique en terme de travail qui correspond à la partie réactive du courant.

Elle n'est défini qu'en régime sinusoïdal :  $Q = U_{\text{eff}} I_{\text{eff}} \sin \varphi$  en VAR (volt ampère réactif)



NB : Les + indiquent le sens de branchement pour le wattmètre. Il donne ainsi les valeurs de P Q et S (puissance apparente)

### 1- Conducteur ohmique



On mesure grâce à un Wattmètre U, I, P et Q et S

Interprétation :  $U=RI$

le déphasage  $\varphi$  correspond à l'argument de l'impédance complexe ici  
 $Z=R$

donc  $\arg(R) = 0$  donc  $\sin \varphi = 0$  et  $\cos \varphi = 1$  donc

$$\boxed{P = UI = RI^2 \text{ et } Q=0}$$

## 2- Une capacité

On fait les mêmes mesures.

Interprétations :  $U = \frac{1}{jC\omega} I = -j \frac{1}{C\omega} I$        $\varphi = -\frac{\pi}{2}$  donc  $\cos \varphi = 0$  et  $\sin \varphi = 1$

Donc  $P=0$  et  $Q=UI$

## 3- Bobine

On fait les mêmes mesures.

Interprétations :

$U=L \frac{di}{dt} = jL\omega I$        $\varphi = \frac{\pi}{2}$  donc  $\cos \varphi = 0$  et  $\sin \varphi = 1$

Donc  $P=0$  et  $Q=UI$

Les dipôles inductifs et capacitifs n'ont pas de puissances actives. Seule la résistance a une puissance active

**NB:** Pour l'inductance on peut avoir une puissance active, dans ce cas c'est que la bobine a une résistance interne

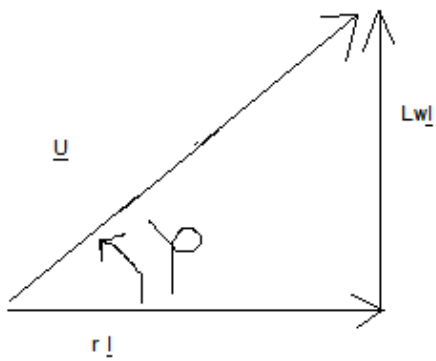
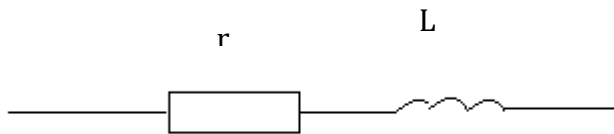
On note alors  $P=$

$U=$                        $I=$                        $Q=$                        $S=$

On a alors accès à  $\cos \varphi = P/S$

On peut donc retrouver les valeurs de  $P$  et  $Q$  mesurées

Schéma de la modélisation de l'inductance imparfaite : soit  $r$  la résistance interne



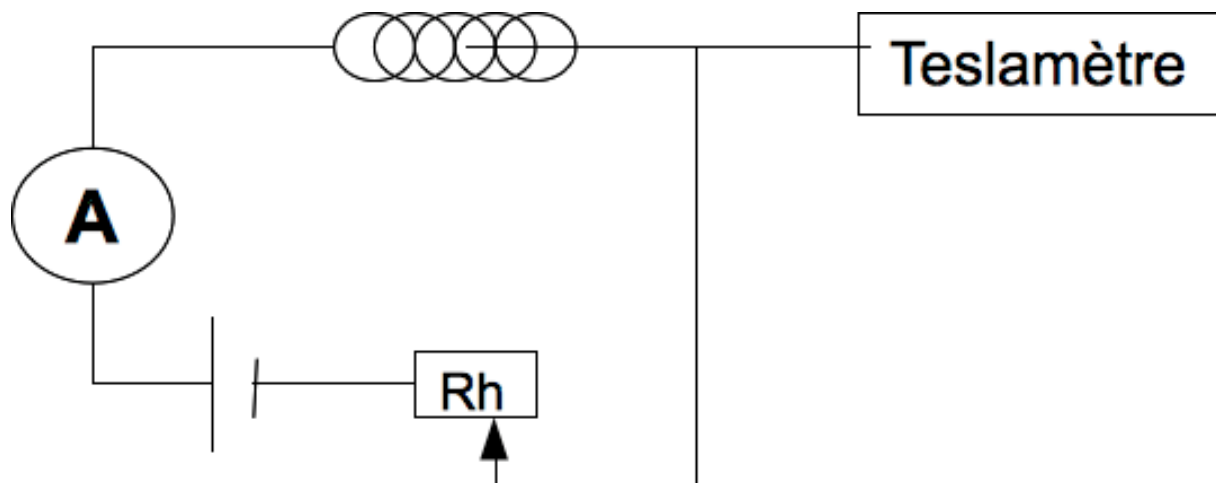
D'où  $P=rI^2$  puisque  $\underline{U} \cos \varphi = r \underline{I}$

**Mesure du champ magnétique dans un solénoïde**

On cherche à montrer la relation  $B = \mu n I$

1/ Etude de la valeur de B le long de l'axe du solénoïde

Montage



On remarque qu'au milieu du solénoïde B est constant et qu'il chute à proximité des bords.

(on peut tracer  $B=f(l)$ )

2/ Champ au centre du solénoïde : Influence de I

On place la sonde au centre du solénoïde et on fait varier I ( on fait alors varier Rh en gardant E fixe)

On trace  $B=f(I)$  Droite : B  $\longrightarrow$  proportionnel à I

3/ Champ au centre du solénoïde : Influence de n

n = nombre de spires par mètre

On place la sonde au centre du solénoïde et on fait varier le nombre de spires.

On trace  $B=f(n)$  Droite : B  $\longrightarrow$  proportionnel à n

**Mesure de la composante horizontale du champ magnétique terrestre  $B_h$** **Montage :**

Boussole des tangentes : Spires comprenant une boussole placée en leur centre.

**Précautions d'utilisation :**

Eloigner toute source de champ magnétique (calculettes, aimants et tout objet métallique ferreux) et travailler de préférence sur une table sans armature métallique.

Les deux fils d'alimentations des spires doivent être non torsadés pour ne pas créer de champ magnétique.

Ne pas dépasser l'intensité maximale admise.

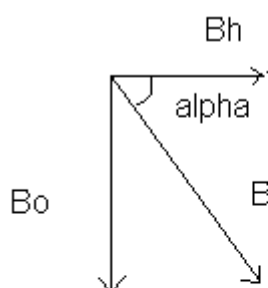
**Manipulation :**

Avant d'alimenter les spires, placer le plan de celle-ci parallèlement à la direction de la boussole (donc parallèlement à la composante horizontale du champ magnétique terrestre).

Faire varier l'intensité du courant alimentant les spires et relever les valeurs de l'angle de déviation de la boussole par rapport à sa position initiale. Pour chaque intensité, on peut inverser le sens du courant et faire une moyenne des deux angles de part et d'autre de la position initiale.

Le champ  $B_0$  créé par la bobine en son centre est :

$$B_0 = (N\mu_0 I) / (2R)$$



$$B_0 = B_h \cdot \tan(\alpha)$$

On en déduit donc des valeurs de  $B_h$  que l'on peut moyenner ou encore tracer la courbe  $\tan(\alpha) = f(I)$  et en déduire une valeur de  $B_h$ .

**Additivité du champ magnétique : Bobine de Helmutz**

Objectif : Montrer que le champ crée dans 2 bobines s'additionnent et que si 2 bobines de même dimension sont espacées d'une distance égale au rayon, le champ entre les bobines est continu.

***Matériel :***

Bobine de Helmutz

Générateur de courant

Teslametre

**Protocole :**

Mesurer le rayon  $R$  d'une bobine

Mesurer pour une bobine, le champ magnétique par le courant imposé ( $I = 1A$ ) en fonction de la distance. Commencer à une distance plus grande que le rayon

Tracer les courbes : pour la bobine 1, la bobine 2 et la somme des 2

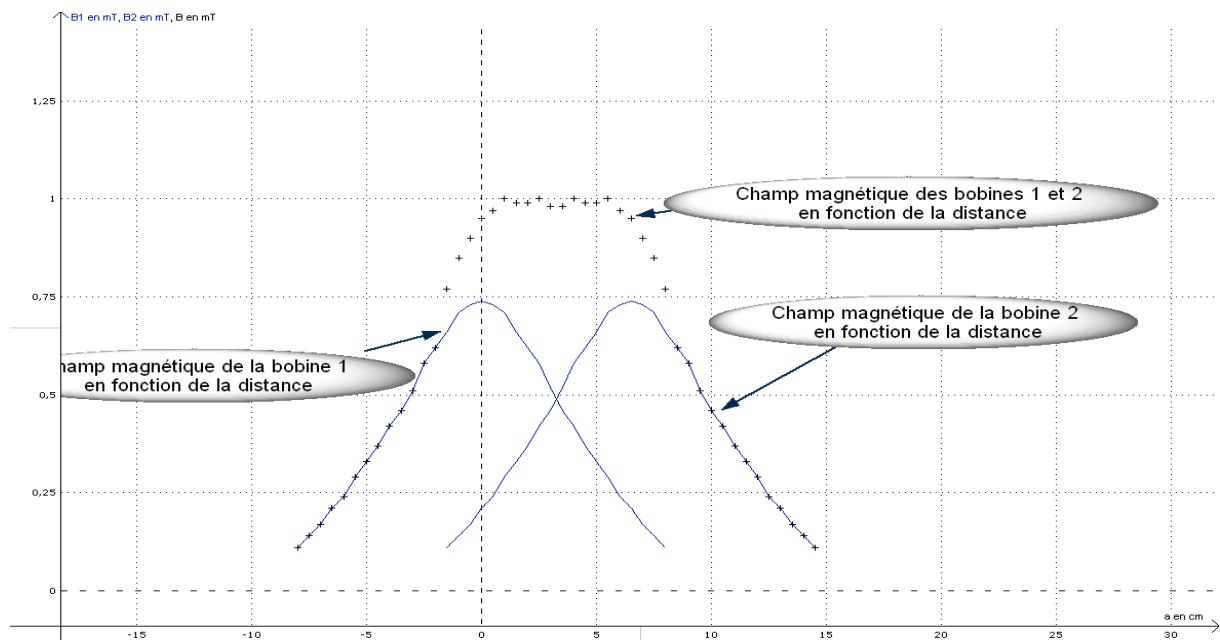
Mettre les 2 bobines en série, espacée de  $R$ .

Mesurer pour quelque point entre les bobines le champ magnétique comparer alors avec la courbe obtenue précédemment.

**Mesure**

$R = 6.5$  cm

Graphique du champ magnétique :



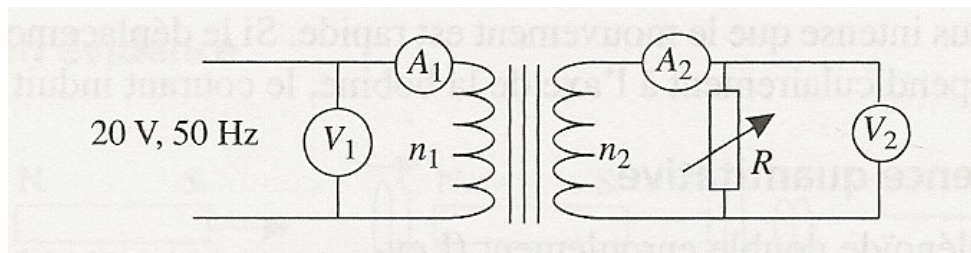
Le champ magnétique est constant entre les bobines.

Il faut faire attention à ce que la valeur continue du teslamètre soit nulle.

**Transformateur**

Etude du transformateur en charge et vérification de la loi des tensions et des intensités.

On considère le montage suivant :



L'alimentation du transformateur se fait en 50Hz d'alimentation 0 à 20V ; en secondaire, on prend un rhéostat de 110ohms monté en résistance variable.

A l'aide de 4 multimètres, mesurer  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $I_1$ ,  $I_2$  pour différentes valeurs de  $R$  (travailler à  $U_1$  constant).

On obtient ceci :

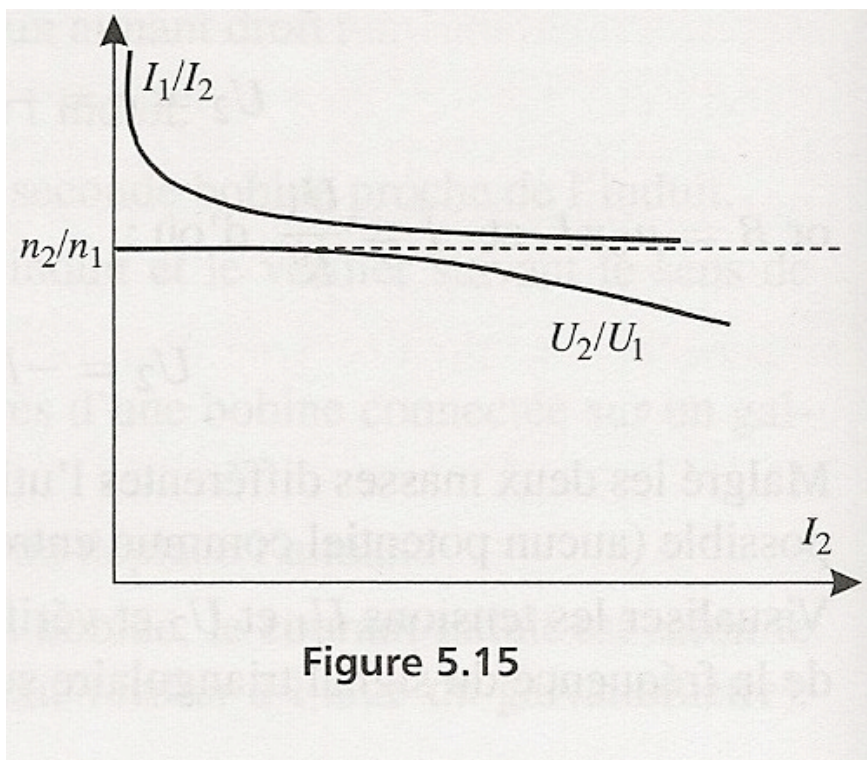


Figure 5.15

On observe que pour  $I_2$  faible,  $U_2/U_1 = n_2/n_1$  et pour  $I_2$  fort,  $I_1/I_2 = n_2/n_1$ .

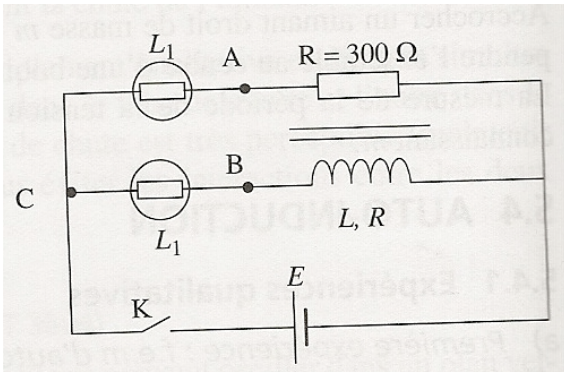
Donc on peut en déduire deux situations :

Si  $R$  faible, la loi des intensités est vérifiée et  $n_1 I_1 = n_2 I_2$

Si  $R$  fort, la loi des tensions est vérifiée et  $n_1 U_2 = n_2 U_1$ .

**Retard à l'allumage**

On établit le circuit suivant :



Les deux lampes sont choisies parfaitement identiques, la bobine a une inductance de  $L=500\text{H}$

Expérience qualitative :

On établit le courant (on ferme K), on observe que la lampe sur la branche « résistive » s'allume tout de suite alors que l'autre, sur la branche « inductive » met plus de temps à s'allumer.

Pour étudier ceci plus précisément, étudions les signaux issus des branches « résistives » et « inductives ».

Expérience quantitative :

On suit l'évolution du courant dans les 2 branches au cours du temps.



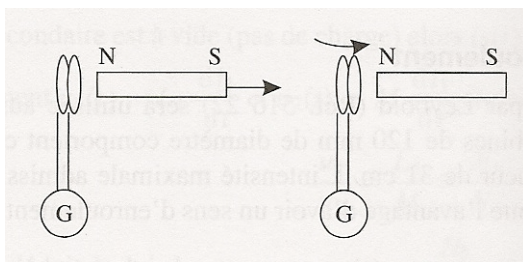
**Loi de Lenz-Faraday**

Objectif : Vérifier la loi de Lenz-Faraday :  $e = - \frac{d\varphi}{dt}$

## 1) Expérience qualitative

Matériel nécessaire

- Galvanomètre
- Aimant

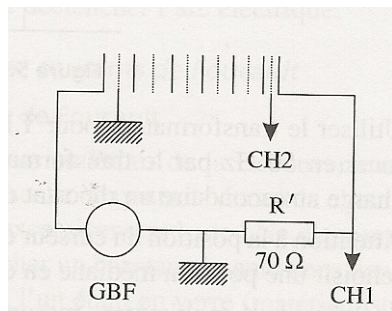


Eloigner l'aimant du galvanomètre, puis approcher le galvanomètre de l'aimant comme le suggère le schéma ci-dessus : le courant induit va s'opposer à la cause qui lui a donnée naissance. C'est la loi de Lenz.

## 2) Expérience quantitative

Matériel nécessaire

- Solénoïde double enroulement
- Résistance  $R=70\text{ohms}$
- GBF
- Oscilloscope



Etablir le circuit suggéré par le schéma ci-contre.

Le solénoïde double enroulement nous permet de travailler sur 2 solénoïdes : un inducteur (en traits pleins) et un induit (en pointillés). Ils possèdent la même résistance, le même nombre de spires ( $N=60$ ) et le même nombre de spires par mètre qu'on nommera  $n=N/L$  (avec  $L$  la longueur d'un solénoïde).

Théorie

On cherche à montrer que la loi de Faraday est vraie :  $e = - \frac{d\varphi}{dt}$

Ici, on appellera  $U_2$  la tension aux bornes de CH2 et  $U_1$  la tension aux bornes de CH1.

Donc  $U_2 = -d\varphi/dt = -NS dB/dt$  or  $B = \mu_0 n I$  et  $I = U_1/R'$  d'où  $U_2 = -NS\mu_0(n/R')(dU_1/dt)$

Pratique

Visualiser CH1 et CH2 (par exemple, le GBF fournira un signal triangulaire)

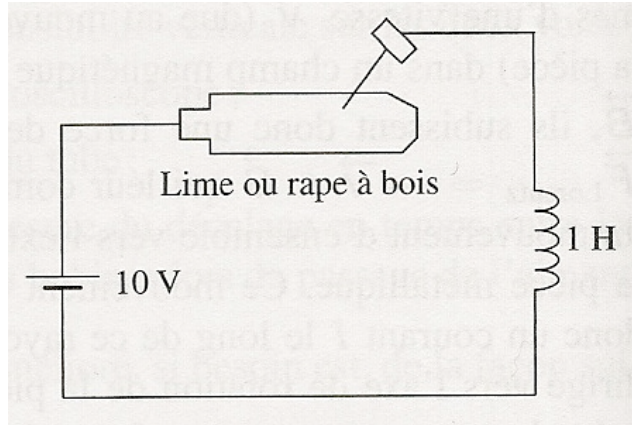
On constatera que  $U_2$  sera un signal par paliers, donc la dérivée du signal GBF, ce qui vérifiera la propriété vu ci-dessus (on pourra vérifier la valeur de ces paliers et comparer au résultat  $-NS\mu_0(n/R')$  )

### Conclusion

On aura vu la loi de Lenz-Faraday de deux manières qui peuvent être utilisés dans différents montages, que ce soit de façon qualitative ou de façon plus précise, quantitativement.

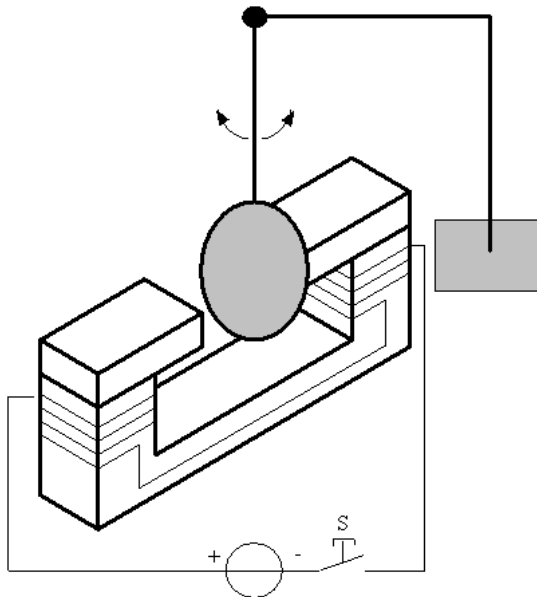
**Étincelle de rupture**

On réalise le circuit suivant :



Pour observer les étincelles de rupture, il faut déplacer le clou sur la lime, ce qui équivaut à fermer et ouvrir le circuit de façon très brutal et rapide.

Ces étincelles montrent l'énergie emmagasinée par la bobine lors de la fermeture du circuit qui se relâche lors de son ouverture.

**Courants de Foucault**Mise en évidence expérimentale

Un pendule oscille autour d'un axe horizontal, le disque de cuivre passe dans l'entrefer de l'électroaimant. Il s'agit d'un aimant constitué d'une bobine parcourue par un courant  $I$ . En traversant l'entrefer, ce disque coupe donc les lignes d'un champ magnétique de direction horizontale. En l'absence de champ d'induction magnétique  $B$ , le pendule oscille librement, sans amortissement notable, car seul le frottement de l'air le freine légèrement. Lorsque nous fermons l'interrupteur  $S$ , le disque est très rapidement freiné.

On met ainsi en évidence les courants de Foucault : lorsque le disque métallique

traverse le champ magnétique  $B$ , des courants sont créés dans la masse conductrice :  $U = B \cdot l \cdot v$  (avec  $v$  la vitesse du pendule)

Ce courant induit, d'après la loi de Lenz, va à l'encontre de ce qu'il le crée, à savoir le mouvement du pendule : il le freine.

Divers applications nous entourent dans notre vie quotidienne : le freinage pour les poids lourds, ou les compteurs d'énergie.

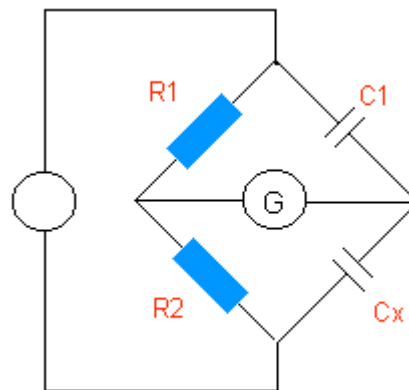
**Pont de Sauty-Wien****Objectif : détermination de la capacité d'un condensateur**

Le pont de Wien est constitué de 2 résistances R1 et R2, du condensateur à déterminer Cx et d'une boîte de capacités C1. Le pont se présente sous la forme d'un losange. Dans les branches de gauche on trouve les résistances par exemple, et dans les branches de droite les capacités. On branche un voltmètre « verticalement ». L'ensemble est alimenté par un générateur de tension alternative. Le pont est équilibré lorsque la ddp aux bornes de "G" est nulle (on modifie la valeur de C1 pour avoir cet équilibre) ce qui implique que :

$$R1 I1 = C1 I2 \text{ et } R2 I1 = Cx I2$$

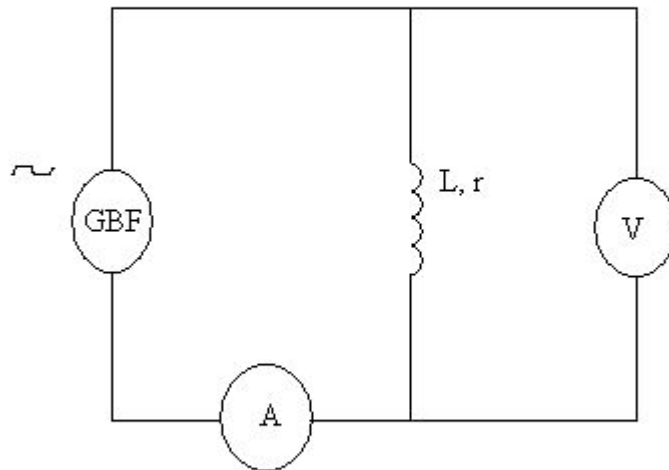
On en tire que :

$$R1/R2 = C1/Cx \Rightarrow \underline{Cx = C1R2/R1}$$



**Détermination de l'inductance d'une bobine par mesure de l'impédance du circuit**

On utilise ici un montage RL série avec un ampèremètre et un voltmètre branché aux bornes de la bobine :



L'impédance complexe du circuit s'écrit alors :

$$\underline{Z} = r + j\omega L$$

avec  $L$  l'inductance de la bobine (exprimée en Henry) et  $r$  la résistance interne de la bobine (exprimée en Ohm).

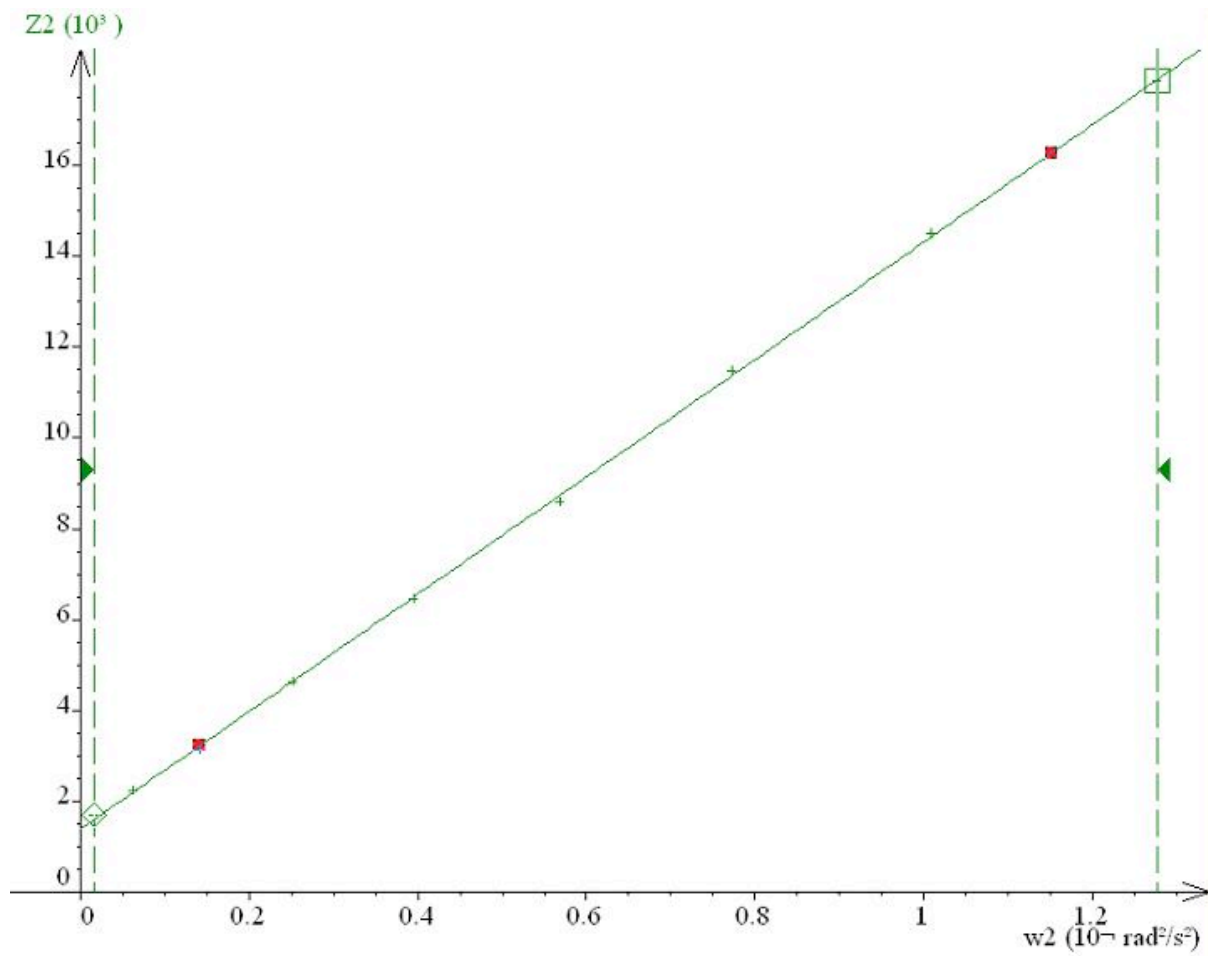
Le module de cette impédance complexe vaut :

$$|\underline{Z}| = Z = \sqrt{r^2 + L^2\omega^2} = \frac{U}{I}$$

Pour différentes valeurs de la fréquence (entre 20Hz et 200Hz), on relève l'intensité du courant dans le circuit et la tension aux bornes de la bobine :

f (Hz)	20.0	40.0	60.0	80.0	100	120	140	160	180
U (V)	4.79	4.81	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82	4.81
I(A)	0.116	0.102	0.0860	0.0710	0.060	0.0520	0.0450	0.0400	0.0360

On trace ensuite sur Regressi ou Excel la courbe  $Z^2=f(\omega^2)$ .



On obtient alors une droite d'équation :

$$Z^2 = a \times \omega^2 + b$$

de pente :

$$a = 0.0129$$



et d'ordonnée à l'origine :

$$b = 1385$$

Or d'après l'expression de  $Z$ , on aura :

$$a = L^2 \quad \text{et} \quad b = r^2$$

d'où :

$$\boxed{L = \sqrt{a} = 114 \text{ mH}} \quad \text{et} \quad \boxed{r = 37.1 \ \Omega}$$

Si on mesure l'inductance et la résistance interne de la bobine à l'aide d'un RLC-mètre, on obtient :

$$\boxed{L_{\text{mesurée}} = 98.9 \text{ mH}} \quad \text{et} \quad \boxed{r_{\text{mesurée}} = 33.3 \ \Omega}$$

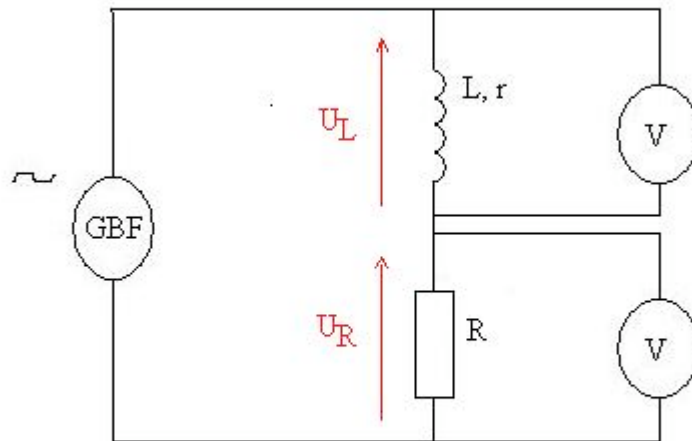
L'erreur par rapport à la mesure du RLC-mètre vaut alors :

$$\frac{L - L_{\text{mesurée}}}{L_{\text{mesurée}}} \times 100 = \frac{114 - 98.9}{98.9} \times 100 = 15.26 \%$$

Bien que l'écart sur la valeur soit légèrement supérieur aux 10% acceptables, cette méthode est utile et efficace pour obtenir la valeur de l'inductance d'une bobine.

**Détermination de l'inductance d'une bobine par une méthode de comparaison**

Pour cette méthode de détermination de l'inductance d'une bobine, on utilise un simple montage RL série avec deux voltmètres branchés aux bornes de la bobine et de la résistance :



Si on prend une résistance  $R=1\text{ k}\Omega$  et que, partant d'une fréquence de 500 Hz, on augmente progressivement la fréquence du GBF, on observe qu'à une certaine fréquence d'environ  $f_0=1.495\text{ kHz}$ , les deux tensions  $U_L$  et  $U_R$  s'égalisent à :

$$U_L = U_R = 3.31\text{V}$$

(elles ne sont pas parfaitement égales car il est difficile d'avoir un écart inférieur à 5 mV à cause de la faible sensibilité des voltmètres).

Puisque l'on a  $U_L=U_R$ , on a donc :

$$Z_L \cdot i = Z_R \cdot i$$

D'où  $\sqrt{r^2 + L^2\omega^2} \times i = R \times i$

Soit  $R = \sqrt{r^2 + L^2\omega^2}$

De plus, on peut, si on le désire, poser l'approximation suivante :

Comme  $f \gg r$  alors  $L\omega \gg r$  d'où :  $R \approx L\omega$

D'où :  $L = \frac{R}{\omega} = \frac{R}{2\pi f_0} = 106.5\text{mH}$

Remarque: Cette approximation n'est pas nécessaire mais elle simplifie le calcul d'incertitude...

Incertitude sur la mesure: On prend  $\Delta R = 10\Omega$  (résistance connue à 1%)

D'où :

$$\Delta L = L \times \left( \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta f_0}{f_0} \right) = 106.5 \times \left( \frac{10}{1000} + \frac{5}{1495} \right) = 2\text{mH}$$

Soit :

$$\boxed{L = 107 \pm 2 \text{ mH}}$$

On retrouve donc, par cette méthode, une valeur de l'inductance proche de celle obtenue avec le RLC-mètre ( $L_{\text{mesurée}} = 98,9 \text{ mH}$ ) et de celle donnée par le constructeur ( $L_0 = 0,100 \text{ H}$ ).

Remarque 1 : Sur le boîtier de la bobine on peut lire :

$$L_0 = 0.100 \text{ mH} \pm 1\% \text{ à } 1000 \text{ Hz.}$$

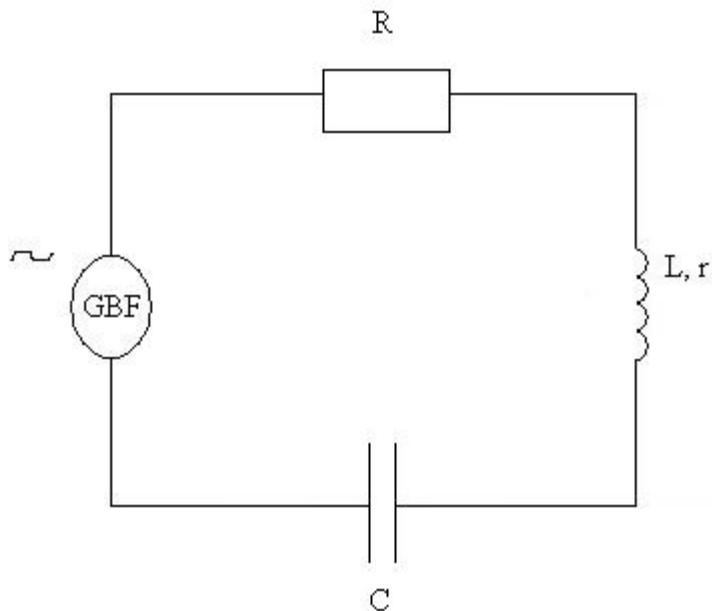
Pour une meilleure précision du résultat, il aurait fallu avoir  $f_0 = 1 \text{ kHz}$  pour pouvoir comparer avec pertinence et rigueur la mesure du constructeur à la nôtre... Il aurait donc été judicieux de prendre plutôt une résistance dont la valeur aurait été de :  $R \approx 630 \Omega$

Remarque 2 : Si l'on ne souhaite pas faire l'approximation  $L\omega \gg r$ , on peut aisément trouver par le calcul la valeur de L connaissant la résistance interne r (donnée le RLC-mètre).

**Détermination de l'inductance d'une bobine par la méthode de résonance**

On utilise, pour cette méthode de détermination de l'inductance  $L$  d'une bobine, un montage RLC série tel que :

$$R = 10 \, \Omega, \quad C = 5 \, \mu\text{F} \quad \text{et} \quad L = 0,1 \, \text{H}$$



On prend une petite résistance  $R$  pour observer à plus basse fréquence (de l'ordre de la centaine de Hertz) la résonance.

L'impédance complexe du circuit s'écrit alors :

$$\underline{Z} = R + j\left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)$$

Le module de cette impédance complexe s'écrit :

$$Z = |\underline{Z}| = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}$$

d'où :

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}}$$

Il y a résonance lorsque :

$$L\omega - \frac{1}{C\omega} = 0$$

c'est-à-dire lorsque :

$$\boxed{LC\omega^2 = 1}$$

La fréquence de résonance théorique s'écrit alors :

$$\boxed{f_{0,\text{th}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 225 \text{ Hz}}$$

Manipulation :

- On mesure la tension aux bornes de la résistance (donc l'intensité dans le circuit) lorsque l'on augment progressivement la fréquence (de 100 Hz à 300 Hz environ).
- On trace ensuite sur Regressi :  $U_R = f(\text{fréquence})$
- On modélise ensuite la courbe obtenue par un filtre passe-bande (voir passe suivante).

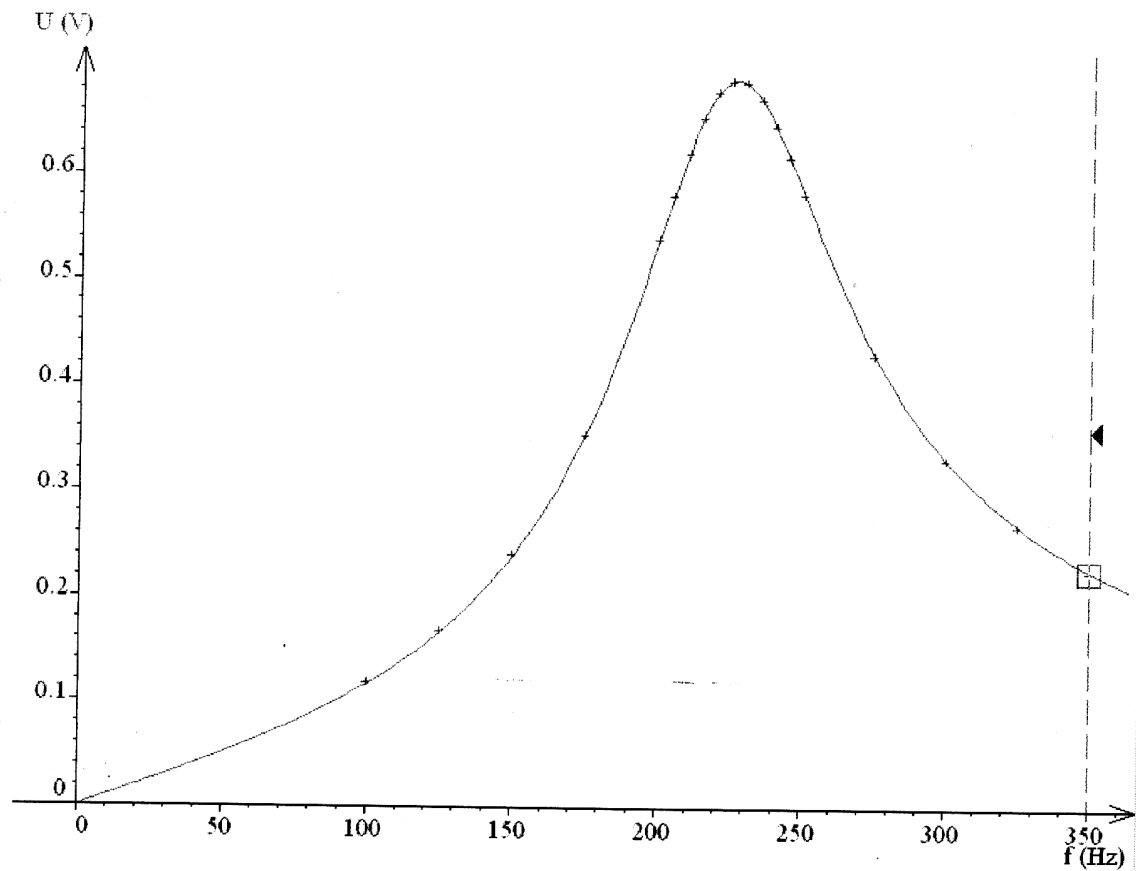
On obtient ainsi une résonance en intensité pour une fréquence :

$$f_{0,\text{exp}} = 226.5 \text{ Hz}$$

Or on sait qu'à la résonance on a :  $LC\omega^2 = 1$

D'où :

$$L = \frac{1}{C\omega^2} = 98.7 \text{ mH}$$



Résultats de la modélisation

Ecart relatif  $U(t) = 0.13\%$   
 Ecart quad.  $U = 725.7 \mu\text{V}$   
 $G0 = 690.7 \pm 0.6 \cdot 10^{-3}$   
 $D = 226.48 \pm 0.07$   
 $Q = 3.212 \pm 0.009$

f	U
Hz	V
100	0.118
125	0.167
150	0.239
175	0.354
200	0.539
205	0.581
210	0.621
215	0.655
220	0.679
225	0.69

f	U
Hz	V
230	0.688
235	0.672
240	0.647
245	0.617
250	0.583
275	0.43
300	0.331
325	0.268
350	0.225

Erreur par rapport à la valeur du RLC-mètre :



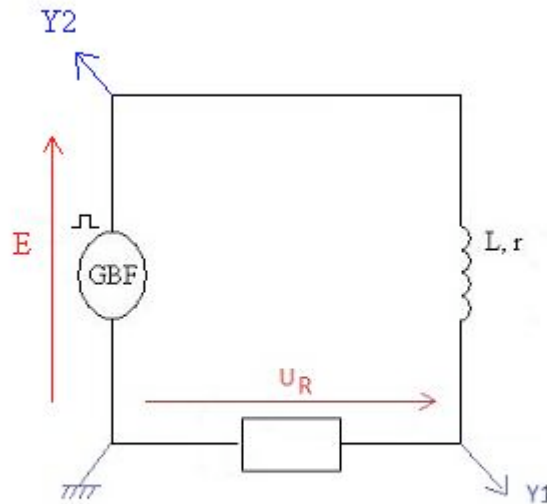
$$\left| \frac{L - L_0}{L_0} \right| \times 100 = 0.2\%$$

On obtient donc une valeur de l'inductance très proche de celle obtenue avec le RLC-mètre ce qui indique que cette méthode est très utile pour connaître la valeur de L .

Remarque : On trace en fait :  $I = f(\text{fréquence})$  c'est pour cela que l'on obtient une résonance en intensité..

**Détermination de l'inductance d'une bobine par mesure de la constante de temps du circuit**

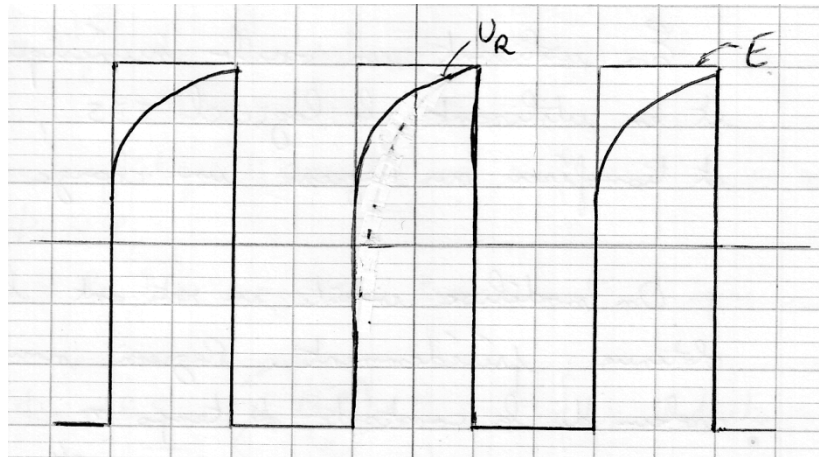
On utilise ici un montage RL série et on branche un oscilloscope aux bornes de la



résistance.

On prends ici :  $R = 1 \text{ k}\Omega$

La visualisation à l'oscilloscope de la tension  $U_R$  et  $E$  nous donne donc :



**Remarque:** Pour éviter de visualiser la tension crête à crête entre +E et -E, on branche le GBF sur THF. On pourra donc visualiser cette tension entre 0 et +E.

On prend une fréquence  $f$  telle que :  $T = 10\tau$  pour visualiser au moins une « charge ».

$$T = 10\tau \quad \text{avec} \quad \tau \approx \frac{L}{R} = 10^{-4} \text{ s (si } R \gg r \text{ la résistance interne de la bobine)}$$

$$\Rightarrow f = 1 \text{ kHz.}$$

L'équation différentielle associée au fonctionnement de ce circuit s'écrit :

$$L \cdot \frac{di}{dt} + R \cdot i = E$$

$$\Leftrightarrow \frac{di}{dt} + \frac{R}{L} \cdot i = \frac{E}{L}$$

$$\text{d'où : } i(t) = \frac{E}{R} \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

$$\text{Or : } \tau = \frac{L}{R + r} \quad \text{d'où : } \boxed{L = (R+r) \cdot \tau}$$

En utilisant un oscilloscope numérique relié à l'ordinateur et en utilisant le logiciel TDS, on peut enregistrer et transférer sur Regressi une « charge » complète.

On modélise ensuite en rentrant l'expression de  $i(t)$  obtenue précédemment. Regressi nous donne alors la valeur de la constante de temps  $\tau$ .

$$\tau = 1,02 \times 10^{-4} \text{ s.}$$

On obtient donc :  $\boxed{L = 105,8 \text{ mH}}$

Erreur par rapport à la valeur du RLC-mètre :

$$\frac{L - L_0}{L_0} \times 100 = 6,98 \%$$

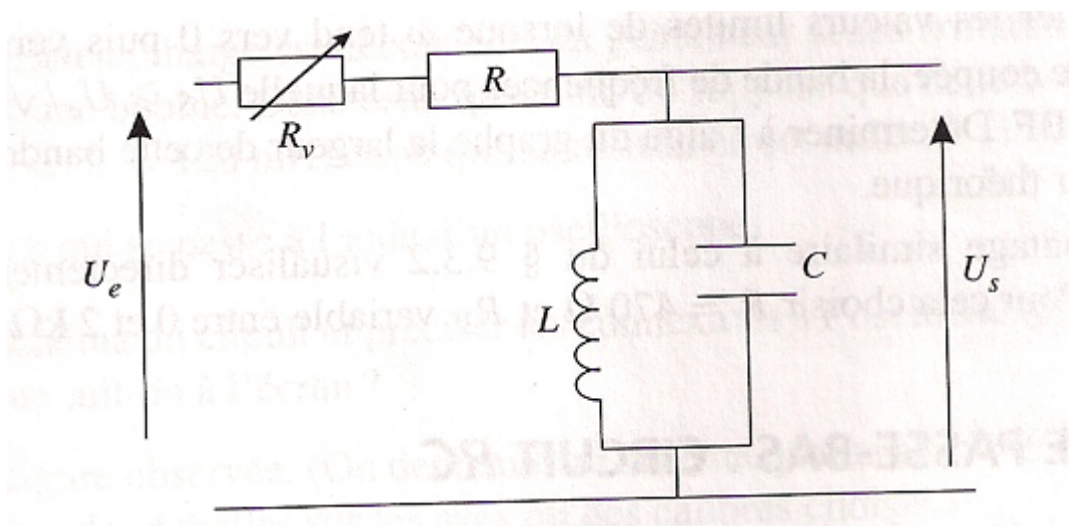
Normalement, cette méthode est la plus précise étant donné que l'incertitude sur la mesure de l'oscilloscope est très faible.

**Oscillations forcées, résonance en tension**

Matériel :

- Condensateur  $0,1\mu\text{F}$
- Résistance  $3\text{k}\Omega$
- Bobine  $16\text{ mH}$
- GBF : générateur basse fréquence

Montage :



Expérience :

$U_e$  est le signal de sortie d'un GBF. Pour les différents constituants énoncés précédemment la fréquence de résonance est alors voisine de  $4\,000\text{Hz}$ . On utilisera des multimètres de bonne

qualité (large bande passante).

Tracer  $U_s=f(\omega)$  (on pourra utiliser un tableur).

Déterminer la fréquence de résonance et la comparer à la valeur théorique.

Justifier l'appellation de filtre passe bande.

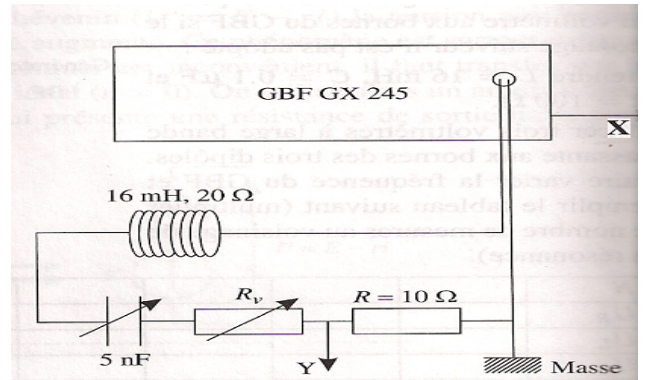
Vérifier les valeurs limites de  $U_s$  lorsque  $\omega$  tend vers 0 puis vers l'infini.

On appelle bande passante, la bande de fréquences pour laquelle  $U > U_0 / \sqrt{2}$  avec  $U_0 = U(\omega_0)$ .

Déterminer à l'aide du graphe la largeur de cette bande et comparer avec la valeur théorique.

Ce montage est utilisé pour la réception des ondes électromagnétiques hertziennes.

On peut aussi visualiser directement la courbe  $U_s = f(\omega)$  avec un montage similaire à celui ci-contre.



**Oscillations forcées en électricité :**  
**Résonance d'intensité et wobulation**

I) RAPPELS :

on étudie le comportement d'un circuit RLC série en fonction de la fréquence.

Avec  $L = 16\text{mH}$   $C = 0,1\mu\text{F}$   $R = 100\Omega$

L'équation différentielle qui régit le circuit RLC en régime forcé sinusoïdale s'écrit :

$$L \frac{d^2q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = E \sin(\omega t)$$

II) INTENSITÉ DANS LE CIRCUIT :

Pour l'intensité, on écrit  $\underline{I} = \underline{U} / \underline{Z}$  avec  $\underline{Z}$  l'impédance complexe  $\underline{Z} = R + j(L\omega - 1/C\omega)$

Ce qui conduit à la relation sur les valeurs efficaces :

$$I = E / \sqrt{R^2 + (L\omega - 1/C\omega)^2}$$

Le maximum de courant correspond au minimum de  $Z$  soit pour la pulsation  $\omega_0$  telle que

$$L\omega_0 - 1/C\omega_0^2 = 0 \text{ et } I_{\text{max}} = E/R$$

Pour cette pulsation, le courant est en phase avec la tension

III) RÉSONANCE D'INTENSITÉ :

On relève les valeurs de  $I$  en fonction de la fréquence

On détermine la fréquence de résonance  $f_0$  pour laquelle  $I$  passe par un maximum et les deux valeurs de fréquence pour lesquelles on a  $I = I_{\text{max}} / \sqrt{2}$

L'intervalle entre  $f_1$  et  $f_2$  est la bande passante du filtre que constitue le circuit

On peut alors déterminer le coefficient de qualité par  $Q = f_0 / (f_2 - f_1)$

On peut tracer pour plusieurs valeurs de R et vérifier qu'il y a toujours une résonance de courant et que la fréquence de résonance est toujours la même  $f_0 = 1/2\pi\sqrt{LC}$ , en revanche, les fréquences de la bande passante dépendent de la résistance du circuit.

#### IV) WOBULATION :

##### 1) Principe :

Lorsqu'un circuit électrique est excité par une tension sinusoïdale on peut être intéressé par connaître le comportement en régime permanent d'un ou plusieurs composants de ce circuit en fonction de la fréquence de la tension excitatrice. La wobulation permet de faire cette visualisation à l'oscilloscope de façon quasi instantanée.

La tension délivrée par le générateur de tension est modulée en fréquence par un signal de rampe périodique. Les paramètres importants sont la valeur du début de la rampe fixe la fréquence de départ de la modulation, la valeur de fin de la rampe fixe la fréquence de fin de modulation et la période de la rampe fixe la vitesse à laquelle cette modulation de fréquence est effectuée.

##### 2) Mise en œuvre pratique :

On utilise la sortie sweep out.

Pour démarrer le balayage ou l'arrêter, on presse la touche sweep et pour régler la fréquence maximum de balayage.

On règle la vitesse de balayage avec sw freq

On règle la fréquence minimum de balayage avec fréquence.

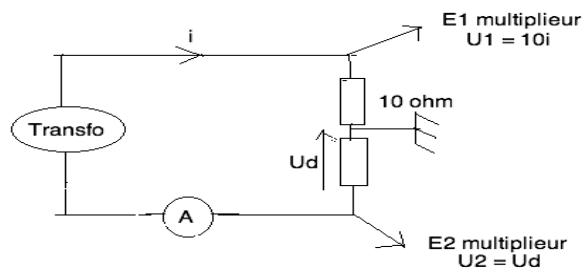


**Puissance instantanée dans un dispositif électronique**

Puissance instantanée consommée par un dipôle :

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) \Rightarrow P(t) = f$$

P en Watt, u en volt, i en ampère



NB : On alimente le multiplieur avec une alimentation symétrique non relié à la terre sinon problème de masse avec le GBF.

A la sortie du multiplieur on a :

$$U_s = 0,1 \cdot U_1 \cdot U_2 = -U_d \cdot i = -p(t)$$

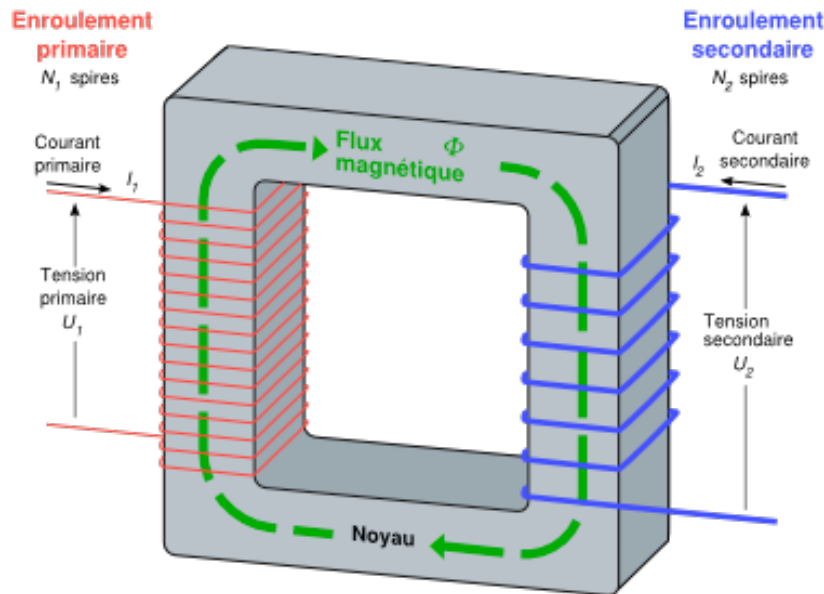
On montre que :

- la puissance instantanée est toujours positive
- la fréquence de la puissance est le double de la tension aux bornes du dipôle

On passe en mode XY, on obtient une parabole puisque  $p = Ri^2$

## Détermination expérimentale du rendement d'un transformateur

### 1) Détermination de rendement en fonctionnement nomina



On alimente avec une tension alternative de 24V.

Au primaire, on place un ampèremètre, un voltmètre et un wattmètre pour relever  $I_1$ ,  $U_1$ ,  $P_1$

Au secondaire, on place un ampèremètre, une résistance variable de  $100\Omega$  et un voltmètre aux bornes de R pour relever  $I_2$  et  $U_2$

Faire calculer à Regressi  $P_2 = U_2 I_2$  et  $\eta = P_2/P_1$

ainsi que  $U_2/U_1$  et  $I_1/I_2$  on vérifie ainsi que  $U_2/U_1 = N_2/N_1 = I_1/I_2$

Tracer alors le graphe  $\eta = f(I_2)$  (et aussi  $u_2 = f(I_2)$  pour observer le fonctionnement du secondaire en générateur)

$I_{2N}$  correspond à l'intensité pour laquelle le rendement est maximal.

## 2) Evaluation des différentes pertes de rendement

### a) Les pertes fer

On met le primaire à 24V, le secondaire est en circuit ouvert (voltmètre).

On a alors  $P_1 = P_2 + P_{Joules} + P_{fer} \approx 0 + r_1 I_1^2 + P_{fer}$  et donc on déduit  $P_{fer}$

(Le terme  $r_1 I_1^2$  n'a quasiment aucune influence mais c'est plus rigoureux)

### b) Les pertes par effet Joules

Pour évaluer les pertes joules on se place au point de fonctionnement nominal ; de cette façon les pertes fer sont toujours identiques à la valeur que l'on vient de déterminer puisqu'elles sont proportionnelles à  $I_{1N}^2$

Pour plus de précision, on peut calculer directement les pertes joules sans passer par le bilan

$$P_J = r_1 I_1^2 + r_2 I_{2N}^2 \approx P_{fer} !!$$

## 3) Vérification : calcul du rendement en fonctionnement nominal

Cette méthode dite des pertes séparées est valable si on vérifie que le rendement trouvé au

fonctionnement nominal se retrouve aussi via  $\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{Joules} + P_{fer}}$

**Photorésistance**

La photorésistance utilise l'effet photoélectrique du silicium, semi conducteur dont la bande interdite vaut  $1,12\text{eV}$ . L'énergie  $h\nu$  du photon sert à faire passer les électrons de la bande de valence à la bande de conduction. Ainsi la résistivité du matériau diminue quand le flux lumineux augmente.

Ordre de grandeur :  $R \approx \text{M}\Omega$  dans l'obscurité

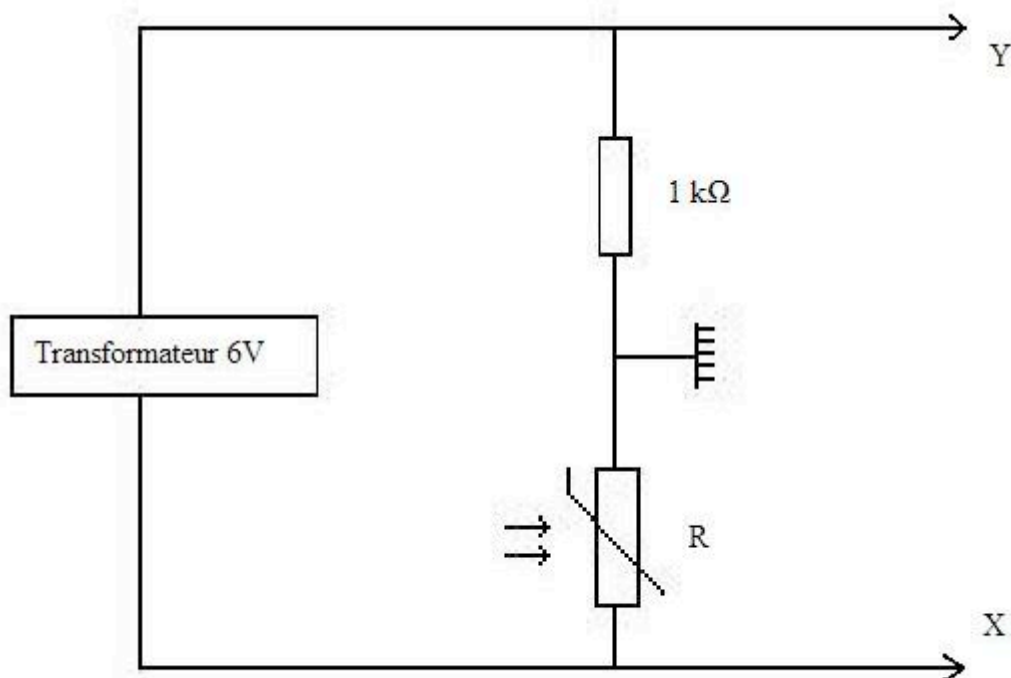
$R \approx \text{k}\Omega$  éclairage ambiant

$R \approx \Omega$  éclairage intense



- Caractéristique Courant/Tension

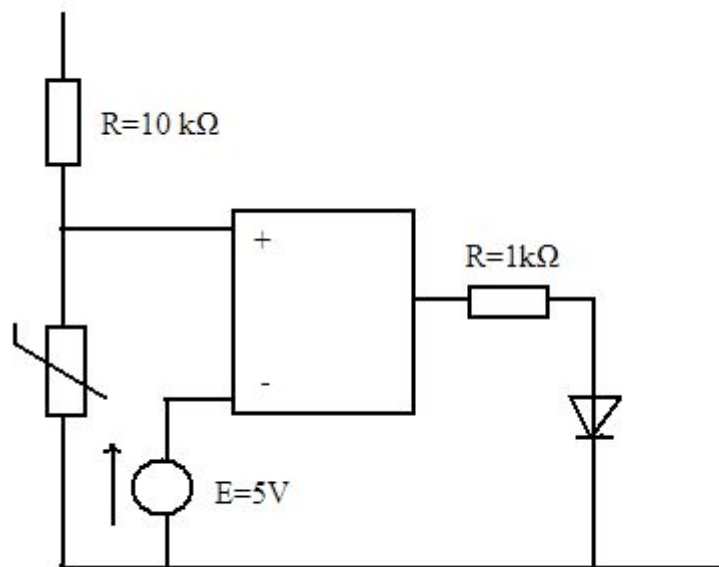
Afin de prouver que la photorésistance se comporte comme un conducteur ohmique (caractéristique linéaire passant par l'origine), on visualise sa caractéristique  $i = f(u)$  à l'oscilloscope.



- Etude de l'éclairement

Brancher en série la photorésistance et un ohmmètre. Placer la source lumineuse à différentes distances  $d$ . Tracer  $1/R=f(1/d^2)$

- Application : Commande de réverbère

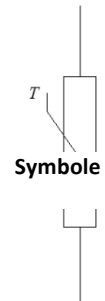


En fonction de l'éclairement, la diode s'allume ou non.

La ThermistanceI Théorie

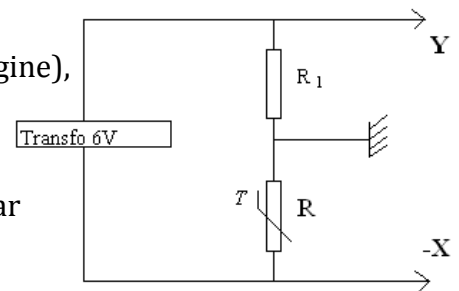
La thermistance CTN (Coefficient de Température Négatif) est constituée de poudres d'oxydes métalliques semi-conducteurs. Quand la température **augmente**, il y a création de paires électron-trou et la résistance **diminue**. La variation de R avec la température est de la forme  $R=R_0.e^{A/T}$ , T étant la température en K.

La valeur annoncée par le fabricant correspond à la résistance à 20 °C.

II Caractéristique courant-tension

Pour montrer que la thermistance se comporte comme un conducteur ohmique (caractéristique linéaire passant par l'origine), on visualise sa caractéristique  $i=f(u)$  à l'oscilloscope.

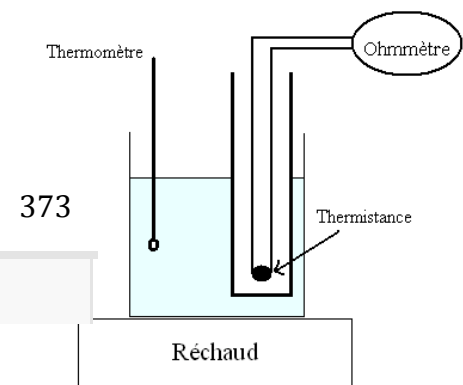
Réaliser le montage ci-contre (le transformateur évitant le problème de masse), et faire varier R avec un sèche-cheveux par exemple.

III Etude de la résistance en fonction de T

Placer la thermistance dans un tube de verre et plonger dans le mélange eau-glace. Chauffer jusqu'à l'ébullition en notant R et T régulièrement.

T(K)      273

R(kΩ)



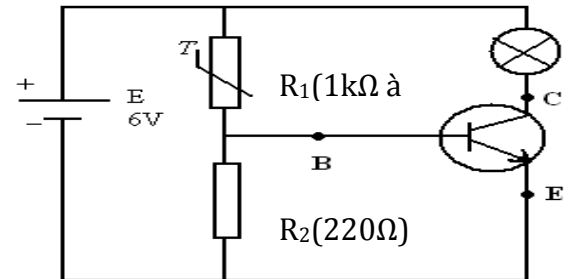
Tracer la courbe  $\log(R)=f(1/T)$  et vérifier la loi de variation  $R=R_0.e^{A/T}$ .

## IV Application : détecteur d'échauffement

Réaliser le montage ci-contre et vérifier que :

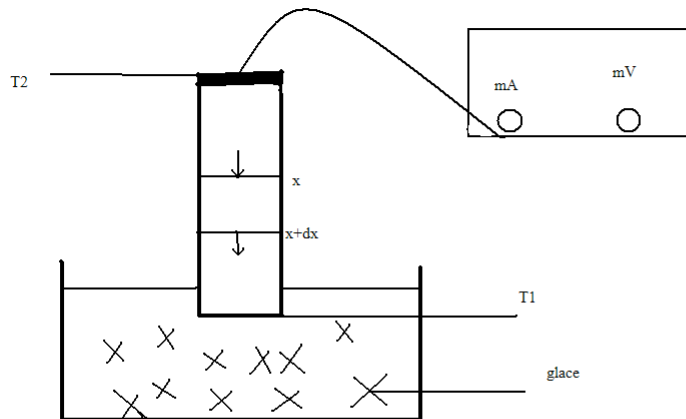
- A froid, la lampe est éteinte ;
- A chaud, la lampe brille.

La thermistance  $R_1$  et la résistance  $R_2$  constituent un diviseur de tension  $U_{BE} = \frac{R_2 \cdot E}{R_1 + R_2}$ . A froid,  $R_1$  est élevée, le quotient  $\frac{R_2}{R_1 + R_2}$  est petit :  $U_{BE} < U_{lim}$ , donc le transistor est bloqué et se comporte comme un interrupteur ouvert entre C et E. A chaud,  $R_1$  diminue et  $U_{BE}$  augmente. Le transistor devient passant.



**Rq :** La lampe peut être remplacée par un buzzer ou un moteur

**Loi de Fourier**



Etude théorique :

On sait que  $j = -\lambda \frac{dT}{dx}$

On a également  $\delta Q = (j(x) \cdot S - j(x+dx) \cdot S) \cdot \delta t = -S \cdot dj/dx \cdot dx \cdot \delta t$

D'autre part on sait que  $\delta Q = \delta m \cdot c \cdot \delta T$

D'où l'égalité suivante  $\delta m \cdot c \cdot \delta T = \delta m \cdot c \cdot \delta T$  (1)

Or  $\delta m = \rho \cdot S \cdot dx$

En remplaçant dans (1) et simplifiant on a :  $\rho \cdot c \cdot dx \cdot dT = -dj/dx \cdot dx \cdot \delta t$



Soit en remplaçant  $j$  par  $-\lambda dT/dx$

$\rho * c * dT/dt = \lambda d/dx(dT/dx)$  Equation de la chaleur a une dimension

On cherche maintenant la forme de la solution , on est en présence d'un système stationnaire donc  $dT/dt = 0$  donc au final on a  $T(x) = ax + b$

Il ne reste donc plus qu'à déterminer  $a$  et  $b$  :

$$T(0) = 0 = b = T_1$$

$$\text{Si le tube a une longueur } L \text{ alors } T(L) = aL + b \text{ soit } a = (T_2 - T_1)/L$$

On obtient donc au final  $T(x) = (T_2 - T_1)/L * x + T_1$

### Mise en évidence lors de la manipulation :

Le but de la manipulation est de vérifier la loi de Fourier .

On considère que le long du tube la chaleur se propage dans une seule dimension et on néglige les effets de bord !!!

On branche donc un générateur au tube et l'intensité ne doit pas dépasser 10A...

Une extrémité du tube est plongé dans la glace afin d'avoir un température  $T_1=0$  et on attend que l'autre extrémité soit a la température  $T_2=100$  environ . Une fois les températures fixent on réalise des mesures de températures à des distances connues en prenant pour référence  $x=0$  cm l'extrémité où  $T=0$  et on liste ces valeurs dans un tableau !

Ensuite on trace la courbe  $T=f(x)$  et on vérifie que l'on obtient bien une droite de coefficient directeur  $(T_2 - T_1)/L$  et d'ordonnée à l'origine  $T_1$ .

### Précautions et conseils de manipulation :

- Il ne faut pas dépasser 10A c'est important
- Il faut faire les branchements dès le début car le temps d'obtenir un système stationnaire est long
- Penser à toujours avoir de la glace dans le récipient
- Lors de la mesure noter la température dès que la variation est finie
- Effectuer les mesures des températures les plus chaudes vers les plus froides

## **CONCLUSION**

Cette manipulation marche assez bien mais elle est assez longue à mettre en place. Le jour de l'oral il faut pratiquement réaliser les mesures en direct c'est dommage...

**Conduction thermique de différents métaux**

La conduction de la chaleur est le transport de la chaleur des parties chaudes d'un corps vers des parties plus froides du même corps sans mouvement de matière. On parle aussi de diffusion thermique. Nous pouvons mettre ce phénomène en évidence à l'aide d'une manipulation simple :

On utilise un dispositif se présentant sous la forme d'une croix dont chaque branche est constituée d'une plaque en métal. On colle avec de la cire de bougie un bouchon de liège à l'extrémité de chaque plaque. On chauffe le système avec une bougie. L'extrémité de la plaque s'échauffe plus ou moins rapidement suivant la nature du métal constituant la plaque. Les bouchons se décollent dans un ordre permettant de classer les matériaux selon leur conductivité thermique. Plus le bouchon tombe rapidement, plus le métal conduit la chaleur. On constate dans l'ordre que les bouchons tombent : **Cu>Al>Zn>Pb**. Ces résultats sont cohérents avec la théorie :

$\lambda(\text{Cu})=388 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .  $> \lambda(\text{Al})=237 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .  $> \lambda(\text{Zn})=116 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$   $> \lambda(\text{Pb})=85,03 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .

**Loi de Fourier**  $\vec{j}_{\text{th}} = -\lambda \cdot \overrightarrow{\text{grad T}}$

On peut montrer que la chaleur se propage dans toutes les directions et à la même vitesse en plaçant le même matériau à chaque extrémité

La flamme de la bougie transmet de l'énergie aux métaux sous forme d'énergie interne microscopique. La conductivité thermique d'un matériau est son aptitude à transférer la chaleur. Chauffer un solide, c'est augmenter l'énergie cinétique des particules et donc l'énergie interne. La conduction est donc un mode de transfert d'énergie. On appelle transfert thermique l'énergie échangée par un système thermodynamique autrement que sous forme de travail d'une force extérieure : c'est l'énergie transférée par interaction thermique Q (rappel du 1° principe :  $\Delta U=W+Q$ ).

**Détermination d'une enthalpie de changement d'état : la fusion de l'eau**

La chaleur latente est la quantité de chaleur nécessaire au changement de structure d'un corps. Ici, il s'agit de la chaleur latente de fusion de la glace ce qui correspond au passage solide-liquide. On procède à la méthode des mélanges comme pour l'étalonnage du calorimètre.

On pèse une masse d'eau distillée :  $m_1$ ,  $T_1$  On l'introduit dans le calorimètre. On prend des glaçons qui trempent dans de l'eau à  $0^\circ\text{C}$ , on les essuie bien et on les pèse :  $m_2$ ;  $T_2 = 0^\circ\text{C}$ . On place environ un dixième de la masse d'eau  $m_1$  On ferme le calorimètre et on agite bien afin d'homogénéiser. Une fois que les glaçons sont fondus on relève la température finale :  $T_f$

$$(m_1 + \mu).C_{\text{eau}}.(T_f - T_1) + m_2.C_{\text{eau}}.(T_f - T_2) + m_2.L_{\text{fus}} = 0$$

$$\Rightarrow L_{\text{fus}} = - ((m_1 + \mu).C_{\text{eau}}.(T_f - T_1) + m_2.C_{\text{eau}}.(T_f - T_2)) / m_2$$

$\Rightarrow$

$$\Rightarrow \underline{L_{\text{fus}} = 302 \text{ J/g}}$$

$$L_{\text{fus}}(\text{th}) = 330 \text{ J/g}$$

Remarque : Les différences entre la valeur théorique et la valeur pratique proviennent du calorimètre qui n'est pas totalement adiabatique mais aussi des incertitudes sur la mesure des masses et des températures.

**Spectres d'émission et d'absorption****I- Spectre d'absorption**

*Définitions :*

**Spectre de raies d'absorption :**

La lumière transmise par un gaz éclairé en lumière blanche donne un spectre constitué de raies noires sur le fond coloré du spectre de la lumière blanche : c'est un spectre d'absorption.

Les raies noires correspondent aux radiations absorbées par les entités (atomes ou ions). Elles caractérisent ces entités.

**Spectre de bandes d'absorption :**

La lumière transmise par une solution éclairée en lumière blanche donne un spectre de bandes d'absorption.

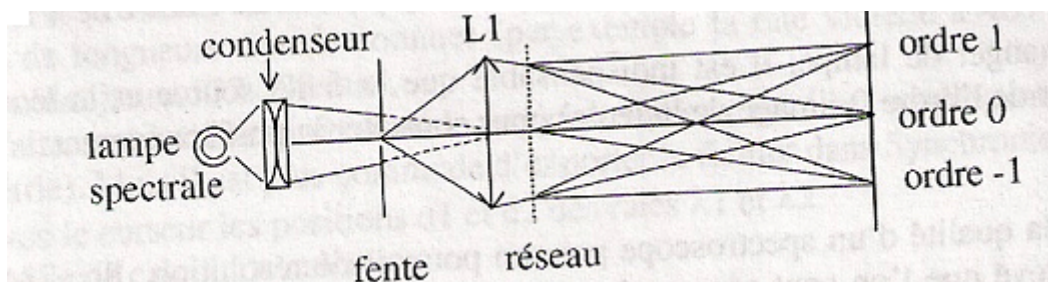
Ce spectre est constitué de bandes noires sur le fond coloré du spectre de la lumière blanche, caractérise les molécules ou les ions contenus dans une solution.



*Expérience :*

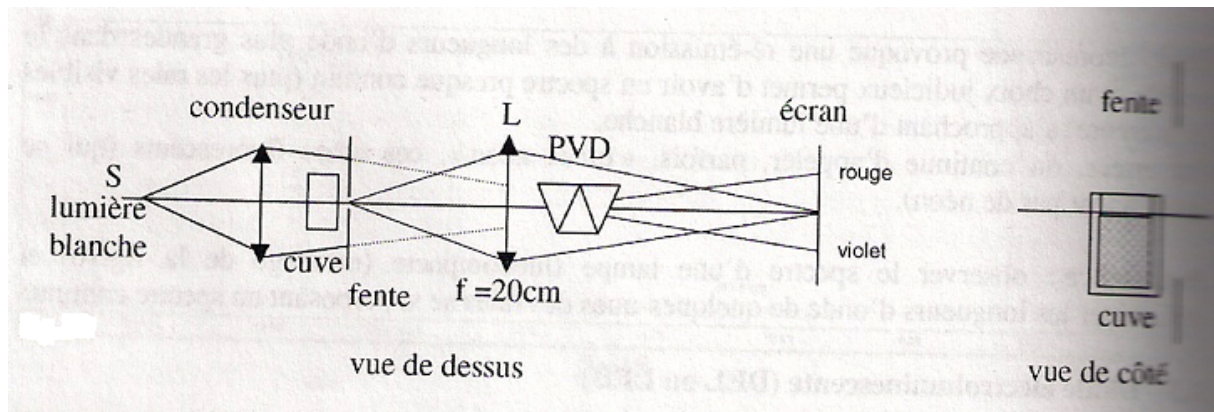
Utiliser une cuve (de bonne qualité optique) contenant une solution de permanganate de potassium assez diluée. En prenant le montage ci-dessous avec un réseau (ou un PVD), on constate que sur le spectre continu initial, des régions sont partiellement absorbées.

Figure a :



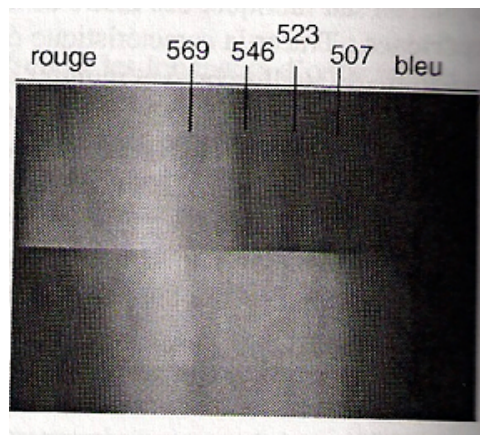
On le voit encore mieux si l'on place la cuve sur la moitié de la hauteur de la fente source : on observe ainsi simultanément le spectre total et le spectre absorbé (voir figure b).

Figure b :



### Résultats :

Ces bandes d'absorption sont situées dans le vert essentiellement (c'est pour cela que la solution possède une couleur mauve). Leur visibilité dépend de la concentration (et aussi de l'épaisseur traversée) : si elle est trop élevée, on aura une zone noire sur tout le centre du spectre, si elle est faible, on apercevra plus clairement 4 ou 5 bandes d'absorption.

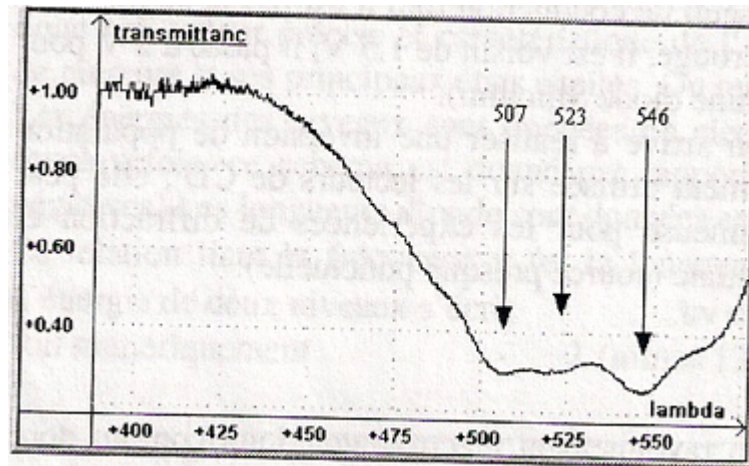


En remplaçant le PVD par un réseau et en effectuant une mesure de longueur d'onde, on trouve que ces bandes sont situées aux longueurs d'onde : 490 ; 507 ; 523 ; 546 et 569 nm (les plus marquées sont celle à 523 et 546 nm).

La figure (c) ci contre présente une photo du spectre de la lumière blanche de départ (en bas) et le spectre de la lumière ayant traversé la cuve. Ensuite, on place le détecteur CALIENS à l'emplacement de l'écran et on enregistre les deux spectres (simplement en translatant verticalement le détecteur).

Après transfert des tableaux (intensité-position) sur Synchronie, on détermine la transmittance de l'absorbant (rapport des intensités lumineuses avec et sans absorbant à chaque longueur d'onde (voir figure d)).

### Figure d :



*Pour aller plus loin :*

En modifiant l'épaisseur traversée ou la concentration, on pourrait vérifier la loi de Beer Lambert :

$$I_{\lambda} = I_{\lambda,0} \exp(-\alpha_{\lambda} * e * C)$$

C : La concentration

e : l'épaisseur traversée

$\alpha_{\lambda}$  : le coefficient d'absorption qui dépend de la longueur d'onde

C'est une méthode utilisée pour certains dosages (spectrophotométrie)

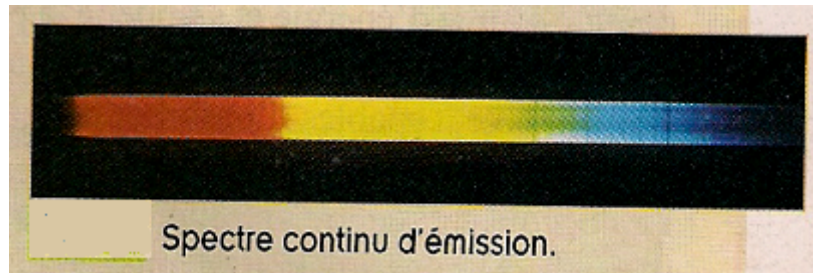
## II- Spectre d'émission

*Définitions :*

Spectre continu d'émission :

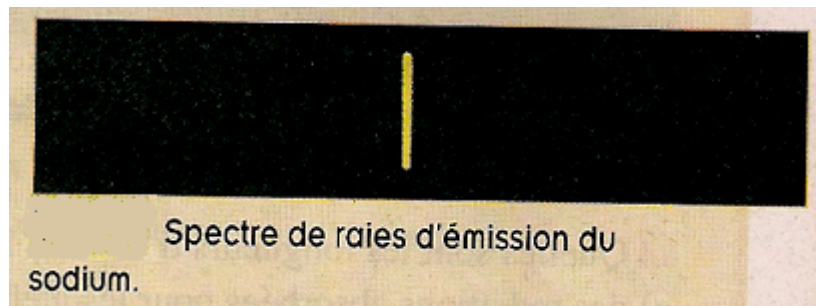
Un corps chaud (solide, liquide ou gaz à haute pression) émet un rayonnement dont le spectre continu s'enrichit en radiations de courtes longueurs d'onde (violet) quand la température augmente.





### Spectre de raies d'émission :

Un gaz à basse pression, excité par des décharges électrique ou porté à haute température, émet un rayonnement dont le spectre est constitué de raies. Il est caractéristique de l'entité chimique (ion u atome) présente dans le gaz.



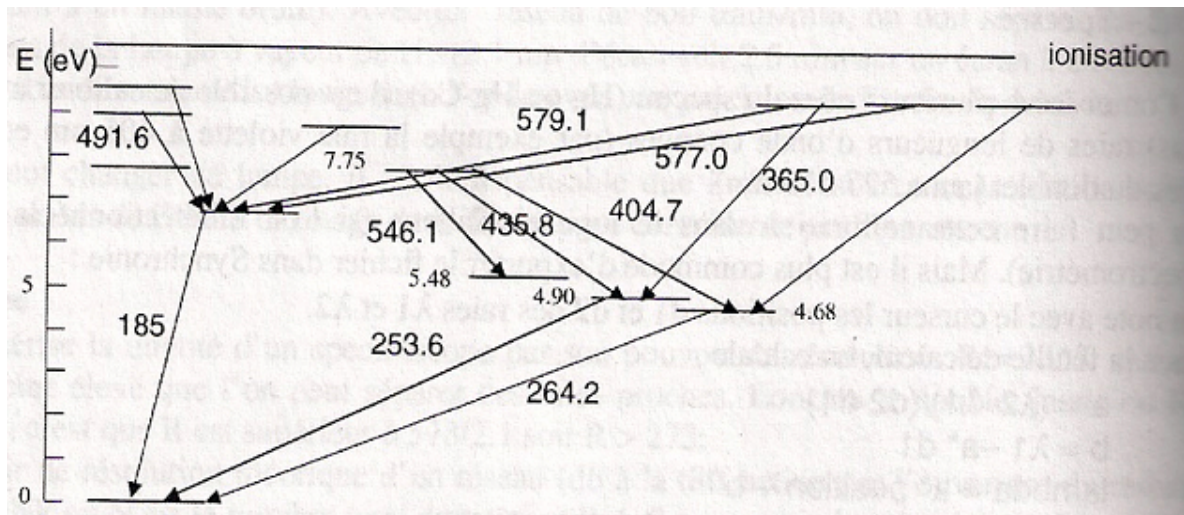
### Lampe spectrale : mesure absolue de longueur d'onde

#### *Principe :*

Une lampe spectrale contient un gaz sous faible pression dont les atomes sont portés, par une excitation électrique, à un ou plusieurs niveaux excités. Ces atomes se désexcitent en émettant des photons qui les font retomber sur leur état fondamental, éventuellement en passant par des niveaux excités intermédiaires.

Dans un atome isolé, les niveaux excités sont bien définis et les longueurs d'onde émises ont donc une valeur précise et caractéristique de l'atome. La figure (e) donne l'exemple de l'atome de mercure et ses principaux états excités.

Figure (e) :



Les énergies des niveaux sont données en électronvolt par rapport au niveau fondamental (quelquefois, ce schéma est donné par rapport au niveau d'ionisation et les énergies sont négatives). Les longueurs d'onde sont données en nm.

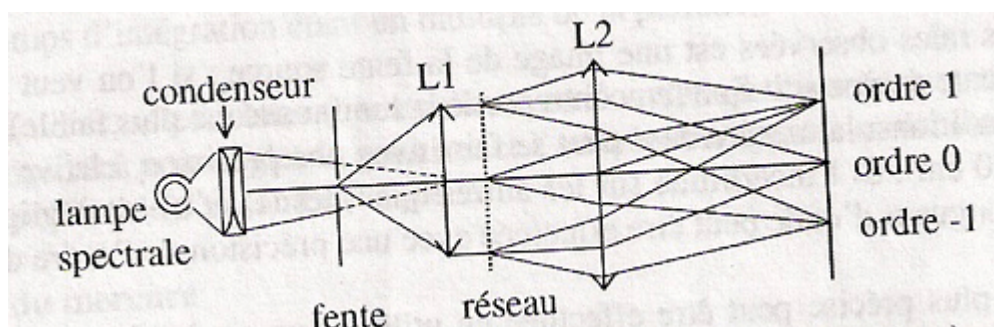
La relation liant la fréquence  $\nu$  (et la longueur d'onde  $\lambda$  dans le vide) avec la différence d'énergie de deux niveaux s'écrit :  $h\nu = E_2 - E_1 = \Delta E$

Soit numériquement  $\lambda \text{ (nm)} = 1240 / \Delta E \text{ (eV)}$

*Expérience :*

En considérant la distance  $d$  mesurée sur l'écran entre l'ordre 0 (image de la fente) et la position d'une raie donnée, on peut remonter à la valeur de  $\sin i'$  en écrivant  $d = D \tan i'$ . La distance  $D$  est la distance focale de L2 (figure f) ou la distance réseau écran.

Figure (f) :

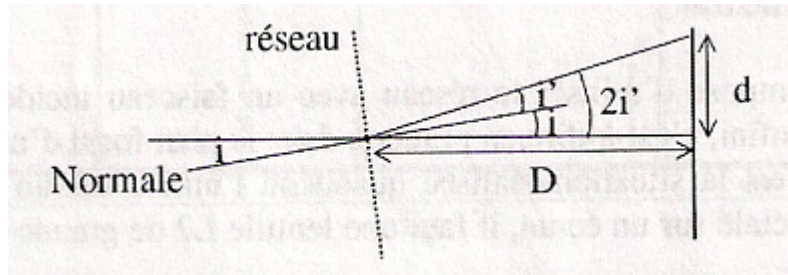


On peut alors faire une mesure absolue de longueur d'onde si  $n$  (nombre de traits par unité de longueur du réseau) est connu.

Quand on utilise le minimum de déviation (figure g),  $i=i' \Rightarrow d=D \cdot \tan(2i') \Rightarrow i' = \frac{1}{2} \arctan(d/D)$

Comme  $\sin i = \sin i'$ ,  $\sin i' = nk\lambda / 2$  d'où  $\lambda = 2 \sin i' / nk$

Figure (g) :



Chacune des raies observées est une image de la fente source : si l'on veut des raies fines, il faut que la fente source soit fine (en contrepartie la luminosité est plus faible).

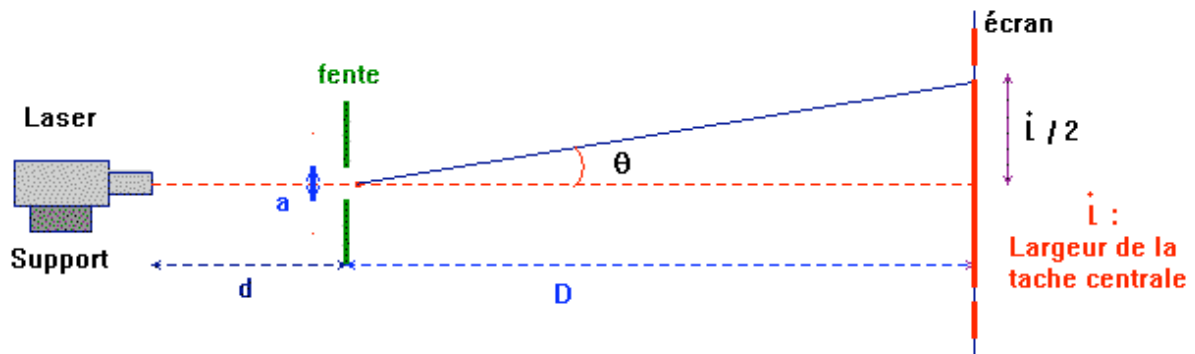
Dans ces conditions, la mesure de  $d$  peut se faire avec une précision relative de l'ordre de 1% (1mm sur 10 cm). Si l'incertitude sur les autres quantités ( $D$  et  $n$ ) est négligeable, la mesure absolue de longueur d'onde peut être effectuée avec une précision de 1%.

Une mesure plus précise peut être effectuée en utilisant un goniomètre. On place un réseau (de très bonne qualité) sur une plate forme, par exemple en le maintenant entre deux aimants, et on mesure les angles  $2i'$  correspondants aux différentes raies en se replaçant chaque fois au minimum de déviation. La fente source du collimateur peut être choisie très fine.

## Diffraction : mesure de la taille d'un objet diffractant (cheveu ou fente de largeur inconnue).

### Montage :

Laser, objet diffractant, écran.



### Précautions :

Il est à noter qu'il faut se placer dans le cas d'une diffraction de Fraunhofer. Pour cela on doit avoir  $N_f \ll 1$ .

Avec le nombre de Fresnel  $N_f = a^2 / \lambda D$

Cependant il est parfois impossible de se placer dans de telles conditions, et bien que l'on soit alors en diffraction de Fresnel, cela ne semble pas perturber l'expérience.

### Résultats :

Taille de l'objet diffractant :  $a = 2\lambda D / i$ .

### Théorème de Babinet :

Il stipule que la forme d'une figure de diffraction est la même si elle est obtenue à partir d'un corps opaque ou de son « conjugué ». On peut donc montrer qu'on obtient les mêmes valeurs de  $i$  pour une fente et un cheveu de la même dimension.