

# USTHB

Faculté de physique

**L1-SNV et S1-STU**

## TRAVAUX PRATIQUES DE PHYSIQUE

Par

**MS. MAALEM et A. BOUHENNA**

Année universitaire  
2010 - 2011

## TP N°0

### Initiation aux tracés des graphes

#### OBJECTIF: Apprendre à l'étudiant:

- 1°- Comment présenter un résultat de mesure ( $x=x_0 \pm \Delta x$ ).
- 2°- À recenser les principales sources d'erreurs qui interviennent dans la mesure d'une grandeur physique, avant d'effectuer un éventuel calcul d'incertitude.
- 3°- À regrouper ses résultats de mesures dans un tableau.
- 4°- À représenter, sur une feuille de papier millimétré, la position du point de coordonnées (A,B); A et B étant deux grandeurs physiques du même tableau de mesures - rectangle d'incertitudes.
- 5°- À représenter, sur une feuille de papier millimétré, le graphe donnant la variation d'une grandeur physique A en fonction d'une autre B, dans le cas où A et B sont des variables continues.

#### EXPLICATIONS À DONNER À L'ÉTUDIANT

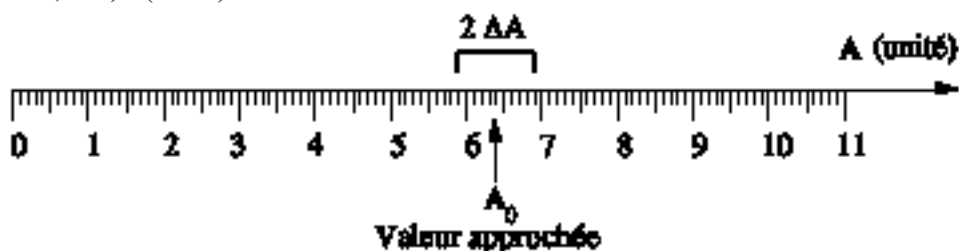
1°- Un résultat de mesure  $A_0$  d'une grandeur physique A est toujours entaché d'erreurs dues à l'opérateur et aux instruments de mesures utilisés. Le résultat de mesure n'est donc qu'une valeur approchée du résultat exact. Aussi le représente-t-on par:

$$A=A_0 \pm \Delta A$$

Où:  $\Delta A$  est l'incertitude de la mesure

Dans l'exemple de la Fig(1), la valeur de A s'écrit comme suit:

$$A=6,4 \pm 0,5 \text{ (unité)}$$



Fig(1)

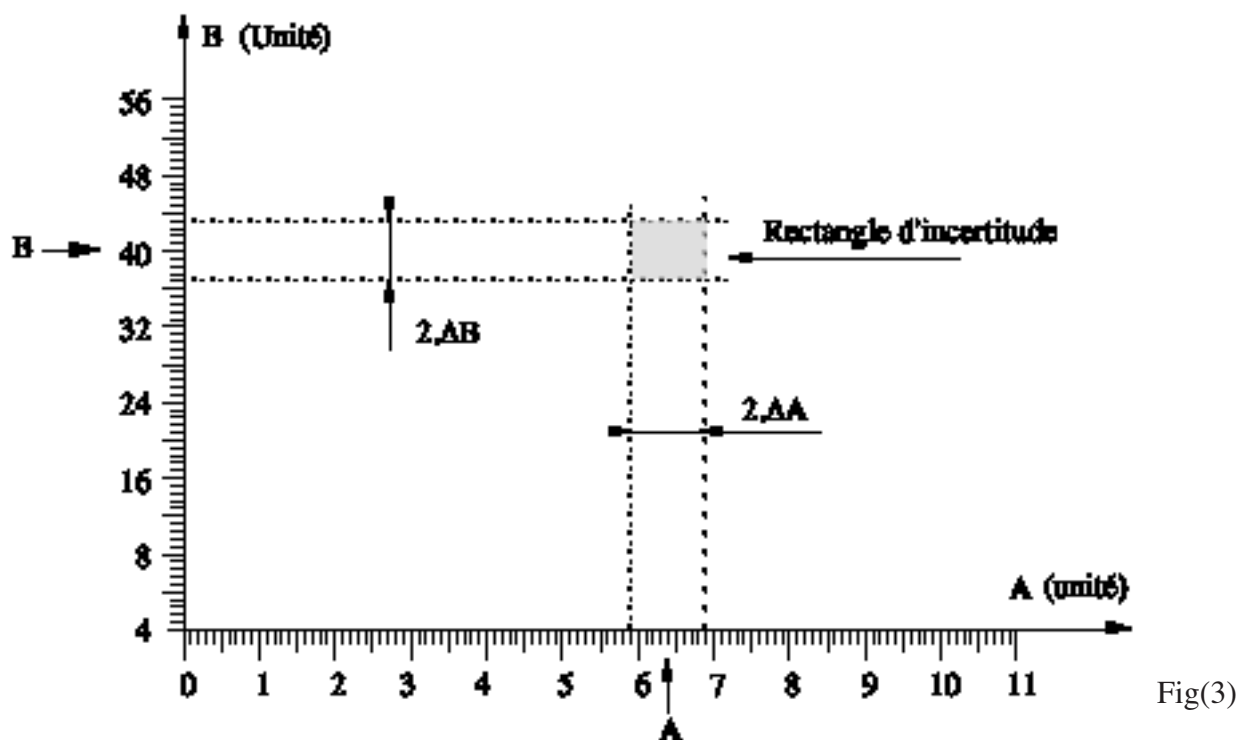
2°- La mesure d'une grandeur physique fait intervenir, en général, plusieurs opérations. Par exemple: la visée, la mesure à la règle (ou au rapporteur) et la construction graphique. Chacune de ces opérations induit une erreur. Comme l'incertitude sur la mesure est la somme des incertitudes induites par chacune des opérations, il se pourrait que, dans cette somme, certaines incertitudes soient négligeables devant les autres. Les opérations qui correspondent aux incertitudes non négligeables sont appelées: **principales sources d'erreurs**.

3°- En vu d'une éventuelle représentation d'une grandeur physique A en fonction d'une autres grandeur physique B, sur une feuille de papier millimétré, on regroupe les valeurs approchées de ces grandeurs dans un tableau qu'on appelle: tableau de mesures (Cf. Fig(2)).

A (Unité)	$A_0$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$	$A_8$	$A_9$	$A_{10}$
B (Unité)	$B_0$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$B_5$	$B_6$	$B_7$	$B_8$	$B_9$	$B_{10}$

Fig(2)

4°- Comme les valeurs de A et de B sont à l'intérieur des segments de droite, de longueurs  $2\Delta A$  et  $2\Delta B$ , le point de coordonnées (A, B) sera à l'intérieur du rectangle de dimensions  $2\Delta A$  et  $2\Delta B$ , appelé **rectangle d'incertitude** (Cf. Fig(3)).



$$A = 6,4 \pm 0,5 (\text{unité}) \quad \text{et} \quad B = 40,00 \pm 0,16 (\text{unité})$$

5° - Pour tracer le graphique  $A=f(B)$ , sur une feuille de papier millimétré, on doit d'abord choisir une échelle de représentation pour chacune des grandeurs physique A et B. Ensuite, on représente, sur cette feuille, les rectangles d'incertitude de tous les couples  $(A_i, B_i)$  du tableau de mesures. **Dans le cas où les grandeurs A et B sont des variables continues** (ce qui est le cas des grandeurs qui interviennent dans tous les TP du TC-Biologie), la courbe représentant  $A=f(B)$  est une courbe continue, sans points anguleux (car dérivable) et passant par le maximum (\*) de rectangles d'incertitude (Fig(4)).

Un pareil tracé suppose donc un calcul, préalable, d'incertitude pour chacun des résultats du tableau de mesures; ce qui rend la procédure très lourde. Dans la pratique, on la simplifie, en procédant de la façon suivante:

1°- On choisit les échelles de représentation des grandeurs physique A et B de manière à ce que les points de coordonnées  $(A, B)$ , du tableau de mesures, ne soient pas trop éloignés les uns des autres (pour facilité leur raccordement par une courbe) ni trop rapprochés (pour ne pas occulter le phénomène physique recherché).

2°- On raccorde les points (expérimentaux) de coordonnées  $(A, B)$ , que l'on repérera sur la feuille de papier millimétré par des croix, par une courbe continue (sans points anguleux, car dérivable). La courbe doit passer par le maximum de points expérimentaux; à défaut, elle doit passer entre les points expérimentaux de manière à ce que ces derniers se retrouvent de part et d'autre de la courbe et de façon alternative sauf, pour les points expérimentaux erronés (Cf. Fig(5)).

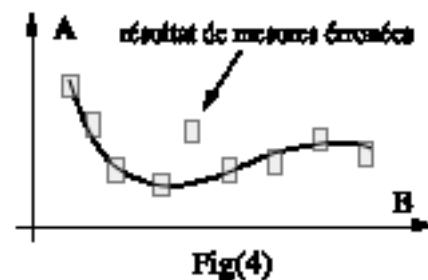
Cette méthode nous dispense du calcul d'incertitude.

### Choix des échelles de représentation de la courbe $A=f(B)$

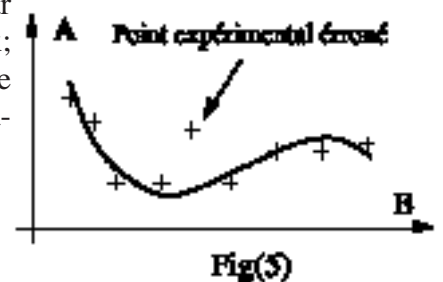
Ces échelles doivent obéir aux impératifs suivants:

1°- Déterminer, par simple lecture, les coordonnées de n'importe quel point de la la courbe  $A=f(B)$ .

2°- Les points expérimentaux ne doivent pas être trop éloignés ni trop rapprochés, les uns des autres, pour



Fig(4)



Fig(5)

(\*) Comme le tableau de mesures peut contenir des résultats écartés, la courbe représentant  $A=f(B)$  ne doit pas passer par les rectangles d'incertitude qui leur correspondent.

les raisons citées précédemment.

Dans la pratique, les valeurs approchées des grandeurs physiques peuvent être décimales et sexagésimales. Donc, pour les repérer sur un axe, on doit choisir, pour chaque grandeur physique, une échelle adéquate.

### Échelle décimale

On peut l'approcher, en faisant le rapport suivant:

$$\frac{(\text{Valeur Max-Valeur min}) \text{ de la grandeur physique considérée}}{\text{Longueur maximum de l'axe sur la feuille de papier millimétré}} = x \cdot 10^{\pm n} \text{ (Unité de la G.P./cm)}$$

Où: x est nombre algébrique inférieur à 10 et n un nombre entier.

Pour permettre une lecture rapide de la grandeur physique sur cet axe, qui comporte 10 graduations par centimètre, la valeur de x doit être remplacée par un nombre entier y, diviseur de 10, tel que:

y=1, si  $x < 1$ .

y=2, si  $1 < x < 2$ .

y=4, si  $2 < x < 3$ .

y=5, si  $3 < x < 5$ .

y=8, si  $5 < x < 10$ .

Exemple: Si les valeurs extrêmes d'une grandeur physique sont: Valeur max=4,4 (cm) et valeur min=0 (cm) et qu'on désire la repérer sur un axe de longueur 10 (cm), l'échelle de représentation de cette grandeur physique, sur cet axe, sera:

$x = 4,4 \text{ (cm)} / 10 \text{ (cm)} = 4,4 \cdot 10^{-1} \text{ (cm/cmp)}$ .

la valeur de y est alors:  $y = 5 \cdot 10^{-1} \text{ (cm/cmp)}$ ; ce qui correspond à une échelle, sur la feuille de papier millimétré, 1 (cmp) -----> 0,5 (cm) ou 1 (mmp) -----> 0,05 (cm).

### Échelle sexagésimale

Cette échelle concerne les mesures d'angle. Comme  $1^\circ = 60'$ , la longueur, en (cm), correspondant à  $1^\circ$ , sur l'axe qui permet de le repérer, doit être un diviseur (inférieur à 10) de 60; c'est dire: 1 (cm), 1,5 (cm), 2 (cm), 3 (cm) et 6 (cm). On peut donc approcher cette échelle comme suit:

$$\frac{\text{Longueur maximum de l'axe sur la feuille de papier millimétré}}{(\text{Valeur Max-Valeur min}) \text{ de la grandeur physique en } (^\circ)} = z \text{ (cm/degré)}$$

En général, on choisit la longueur de l'axe de manière à ce que z soit inférieur à 10.

Comme précédemment, pour permettre une lecture rapide de l'angle sur l'axe, on doit remplacer la valeur de z par w tel que:

w=1, si  $z \leq 1$ .

w=1,5, si  $1 < z \leq 1,5$ .

w=2, si  $1,5 < z \leq 2$ .

w=3, si  $2 < z \leq 3$ .

w=6, si  $3 < z \leq 6$ .

Exemple: Si les valeurs extrêmes d'une grandeur angulaire sont: Valeur maxi.  $42^\circ$ , valeur min  $39^\circ 20'$  et qu'on désire la repérer sur un axe de longueur 10 (cm), l'échelle de représentation de cette grandeur, sur cet axe, sera:

$z = 10 \text{ (cm)} / (42^\circ - 39^\circ) = 3,33 \text{ (cm/degré)}$ . La valeur de w est donc 6 (cm/degré); ce qui correspond à une échelle  $1^\circ$  -----> 6 (cm) ou  $1'$  -----> 1 (mm).

Après avoir choisi une échelle pour chacune des grandeurs physiques considérée, vérifier que les points expérimentaux ne sont ni très rapprochés, ni trop éloignés les uns des autres. Si ce n'est pas le cas, changer la

longueur de l'un des axes (ou des deux) de manière à passer à une autre valeur de  $y$ , pour l'échelle décimale, ou une autre valeur de  $w$ , pour l'échelle séxagésimale, pour  $y$  remédier.

Un bon graphe est avant tout un graphe lisible, même s'il ne tient que sur une partie de la feuille de papier millimétré.

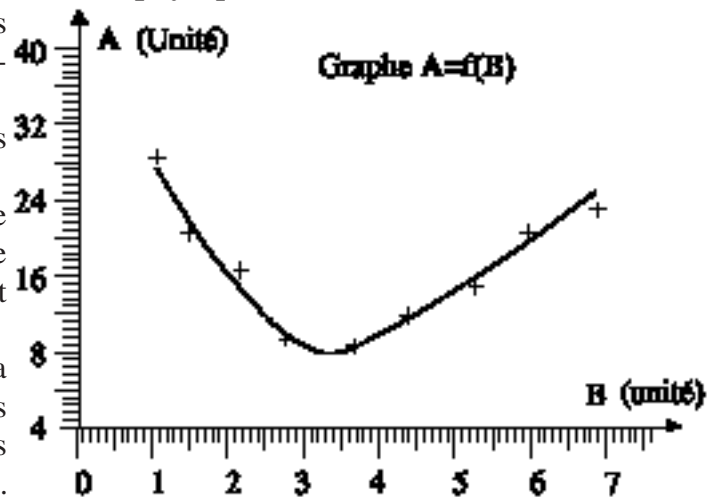
### Graduation des axes des grandeurs physiques A et B

Sur la feuille de papier millimétré, les axes des grandeurs physiques A et B doivent être gradués et portés les unités physiques correspondantes (Cf. Fig(6)).

Les axes gradués doivent ressembler à des règles (Cf. Fig(6)), en conformité avec les échelles choisies.

Sur la feuille de papier millimétré, l'intersection de ces règles est absolument quelconque; c'est à dire que leurs origines ( $A=0$  et  $B=0$ ) ne sont pas forcément confondues (Cf. Fig(6)).

Lors du report des points expérimentaux sur la feuille de papier millimétré (croix sur la Fig(6)), leurs coordonnées ne doivent pas être inscrites sur les axes mais doivent correspondre aux valeurs lues sur ces axes.



Fig(6); Exemple de tracé d'une courbe  $A=f(B)$ .

### MANIPULATION GRAPHIQUE À EFFECTUER: Barème (15)

Les tableaux de mesures  $T_1$  et  $T_2$ , ci après, renferment les valeurs approchées des grandeurs physiques A,  $(-1/B)$ , C et D.

A (cm)	7,7	6,8	5,8	4,8	3,8	0
$-\frac{1}{B} 10^2 (cm^{-1})$	6,06	5,46	5,15	4,50	3,42	0

$T_1$

C	36°	37°34'	40°34'	43°34'	46°34'	49°34'	52°34'	55°34'	58°34'	65°34'	68°34'	75°34'
D	44°40'	41°	41°28'	40°25'	39°42'	39°34'	39°40'	40°	40°40'	42°17'	44°36'	47°54'

$T_2$

1°- Sur des axes de longueur 20 (cm), déterminer l'échelle de représentation, des grandeurs physiques A,  $(-1/B)$ , C et D. (4)

2°- On veut tracer les graphes  $A=f(-1/B)$  et  $D=f(C)$ .

2.1- Quelles sont les échelles adéquates des grandeurs  $[A \text{ et } (-1/B)]$  et  $[C \text{ et } D]$ , dans les graphes  $A=f(-1/B)$  et  $D=f(C)$ . (3)

2.2- Tracer les graphes  $A=f(-1/B)$  et  $D=f(C)$ . (6)

2.3- Déterminer la valeur de la pente de la tangente à la courbe, représentant  $A=f(-1/B)$ , au point d'abscisse  $(-1/B)=0,05 (cm^{-1})$ . (2)

**N.B:** Pour le graphe  $D=f(C)$ , on rappelle que  $1^\circ$  d'angle est égal à  $60'$  (minutes d'angle).



## TP N°1 REFLEXION ET REFRACTION

**OBJECTIF:** L'objectif visé par ce TP est de familiariser, d'une part, l'étudiant avec les notions de rayon lumineux, d'objets réel et virtuel, d'images réelle et virtuelle, de dioptre, de lumières réfléchies et réfractées (réflexion totale et l'angle limite de réfraction) et, d'autre part, de lui faire retrouver, expérimentalement, le principe de propagation rectiligne de la lumière et les lois de Snell-Descartes. Il apprendra, également, les propriétés d'un miroir plan et les techniques simples d'évaluation des indices moyens de réfraction des milieux matériels transparents (solides et liquides).

### Matériel proposé

- Un banc optique
- une source lumineuse (avec cache à fentes multiples)
- un cliché (en guise d'objet réel)
- un système optique (lentille mince convergente)
- un écran opaque
- une glace
- une nappe en caoutchouc
- un jeu d'épingles
- Blocs de verre semi cylindriques (en guise de milieu transparent solide)
- Cuves en plexiglas semi cylindrique.
- Une solution liquide transparente (en guise de milieu transparent liquide).
- Une feuille de papier
- Un rapporteur

### PARTIE THÉORIQUE

#### Principe de Fermat

Soient deux points A et B de l'espace. Pour aller de A à B, la lumière emprunte la trajectoire la plus courte en temps.

#### Principe de propagation rectiligne de la lumière

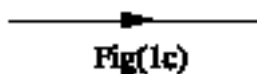
D'après le principe de Fermat, le trajet suivi par un rayon lumineux, dans un milieu homogène et isotrope, est une ligne droite.

#### Principe du retour inverse de la lumière

En vertu du principe de Fermat, la lumière suit un chemin identique, qu'elle progresse d'un point A vers un autre point B ou inversement (de B vers A); c'est ce qu'on appelle le principe du retour inverse de la lumière.

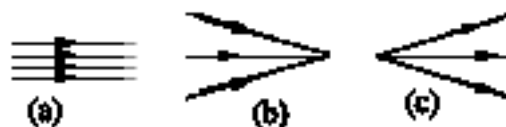
#### Rayon lumineux

C'est un pinceau étroit de lumière, obtenu au moyen d'une source lumineuse et d'un diaphragme. Conventionnellement, il se représente, dans un milieu homogène et isotrope Fig(1c), par un segment de droite et une flèche indiquant le sens de propagation de la lumière.



#### Faisceau lumineux

C'est un ensemble de rayons lumineux. On distingue trois types de faisceaux: Le faisceau parallèle (a), le faisceau convergent (b) et le faisceau divergent (c).

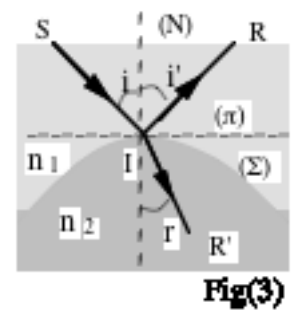


**Dioptre**

C'est la surface de séparation de deux milieux transparents d'indices de réfraction différents

**Comportement d'un rayon lumineux sur un dioptre**

Lorsque un rayon lumineux SI Fig(3), dit rayon incident, aborde un dioptre, il subit des déviations: Une partie IR, appelée rayon réfléchi, se propage dans le milieu de propagation du rayon incident alors qu'une autre IR', appelée rayon réfracté, se propage dans l'autre milieu Fig(3).

**Fig(3)****Lois de Snell-Descartes**

**1<sup>ère</sup> loi:** Le plan d'incidence, défini par la normale IN et le rayon incident SI, contient les rayons réfléchi et réfracté. De plus, le rayon incident est symétrique, par rapport à la normale IN, au rayon réfléchi. On a donc, en valeur absolue, l'angle d'incidence égal à l'angle de réflexion; soit:

$$|\hat{i}| = |\hat{i}'|$$

**2<sup>ème</sup> loi:** Pour une lumière monochromatique, les angles d'incidence  $\hat{i}$  et de réfraction  $r$  satisfont à la relation ci-contre:

$$n_1 \sin(i) = n_2 \sin(r)$$

**Système optique:** C'est un assemblage d'éléments (miroirs, dioptres, lentilles) qui permet de former les images des objets; il présente, en général, une symétrie de révolution (symétrie cylindrique).

**Objet:** Les objets sont les corps que l'on rencontre dans la nature. Lorsqu'ils sont éclairés, ils réfléchissent, en général, une partie de la lumière qu'ils reçoivent. Un objet se comporte, donc, comme une source de lumière. La lumière qu'il réfléchit se propage dans toutes les directions de l'espace.

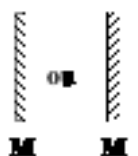
**Image:** Les rayons lumineux, émergents d'un système optique, peuvent former des faisceaux convergents, divergents ou parallèles. Dans le premier cas, les rayons lumineux peuvent former, sur un écran, une image de l'objet dite: Réelle (les points images sont formés par l'intersection des rayons lumineux). Dans le second, les rayons lumineux semblent provenir d'une image dite: Virtuelle (les points images sont formés par l'intersection des prolongements des rayons lumineux). Enfin, dans le troisième cas, l'image est dite indifféremment réelle ou virtuelle car les points images, formés par l'intersection des rayons lumineux ou de leurs prolongements, sont à l'infini.

**Stigmatisme**

Lorsque l'image d'un objet ponctuel, à travers un système optique, est un point, on dit que ce système optique présente un stigmatisme rigoureux. Dans le cas contraire, il est dit astigmat.

**Miroir**

**Définition:** C'est une surface qui réfléchit la totalité de la lumière incidente. Dans le cas d'une surface plane, le miroir est dit plan ; sa représentation conventionnelle est celle indiquée ci-contre.

**Propriétés:**

- Dans un miroir plan, l'image et l'objet sont symétriques, par rapport au plan du miroir et sont de nature différente.

- Quand un miroir plan subit une rotation d'un angle  $\alpha$ , les rayons lumineux qu'il réfléchit subissent une rotation, dans le même sens que le miroir, d'un angle égal à  $2\alpha$ .

**Dioptre plan**

**Définition:** C'est une surface plane de séparation de deux milieux transparents d'indices de réfraction dif-

férents (Cf. Fig(12)).

**Propriétés:**

- Il n'est pas stigmatique.
- Dans les conditions de Gauss (faibles incidences et rayons paraxiaux), il présente un stigmatisme approché.
- Dans un dioptre plan, l'objet et l'image sont toujours de nature différente.

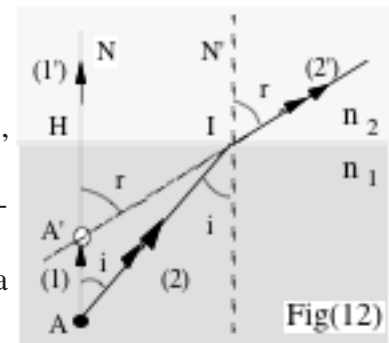
Formule de conjugaison: Dans les conditions de stigmatisme approché, la formule de conjugaison du dioptre plan est:

$$\frac{\overline{HA}}{n_1} = \frac{\overline{HA'}}{n_2} \quad \Leftrightarrow \quad \frac{n_1}{\overline{HA}} - \frac{n_2}{\overline{HA'}} = 0$$

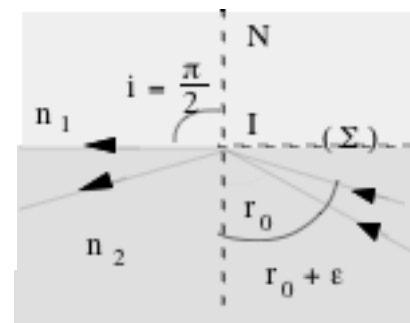
Où: A est un point objet, A' son image à travers le dioptre plan et H le pied de la perpendiculaire, abaissée de A sur la trace du dioptre plan.

**Angle limite de réfraction:** C'est l'angle d'incidence maximale sur un dioptre plan, noté  $r_0$ , au delà duquel la lumière, se propageant du milieu le plus réfringent (fort indice de réfraction) vers le milieu le moins réfringent, ne le traverse plus. Il y a alors réflexion totale de la lumière incidente (Fig(4)). Il est lié aux indices de réfraction  $n_1$  et  $n_2$ , par:

$$\sin(r_0) = \frac{n_1}{n_2} \quad , \quad n_2 > n_1$$



Fig(12)



Fig(4)

### MANIPULATION DE DÉMONSTRATION

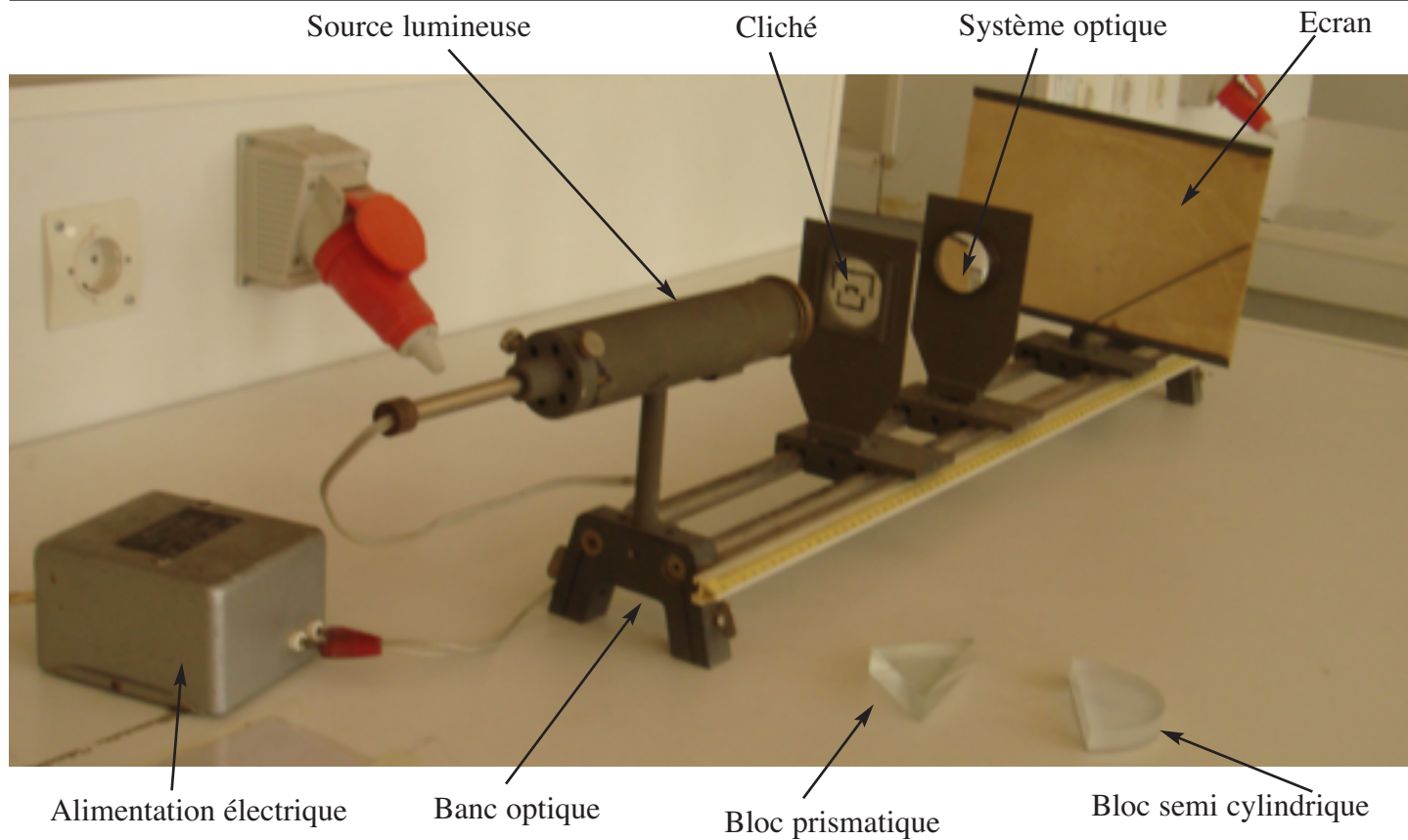
#### Partie réflexion (Cf. Fig(1-D et 2-D))

- Au moyen du banc optique, de la source lumineuse, du cliché, du système optique et de l'écran opaque, préciser les notions d'objet réel et d'image réelle.
- Au moyen d'une feuille de papier, de la nappe en caoutchouc et de deux épingles montrer que la lumière se propage en ligne droite dans la salle de TP; préciser alors la notion de rayon lumineux.
- Au moyen de la glace, de la feuille de papier, de la nappe en caoutchouc et des épingles, préciser les notions de l'objet virtuel et de l'image virtuelle. Sur la même feuille de papier, matérialiser la marche de deux rayons lumineux, issus d'un point objet réel et pénétrant dans l'oeil d'un observateur après réflexion sur la glace.
- Au moyen de deux glaces, d'une feuille de papier, de la nappe en caoutchouc et d'une épingle, montrer aux étudiants les images d'ordre 1, d'ordre 2 et d'ordre 3 de l'épingle, à travers le système de miroirs.

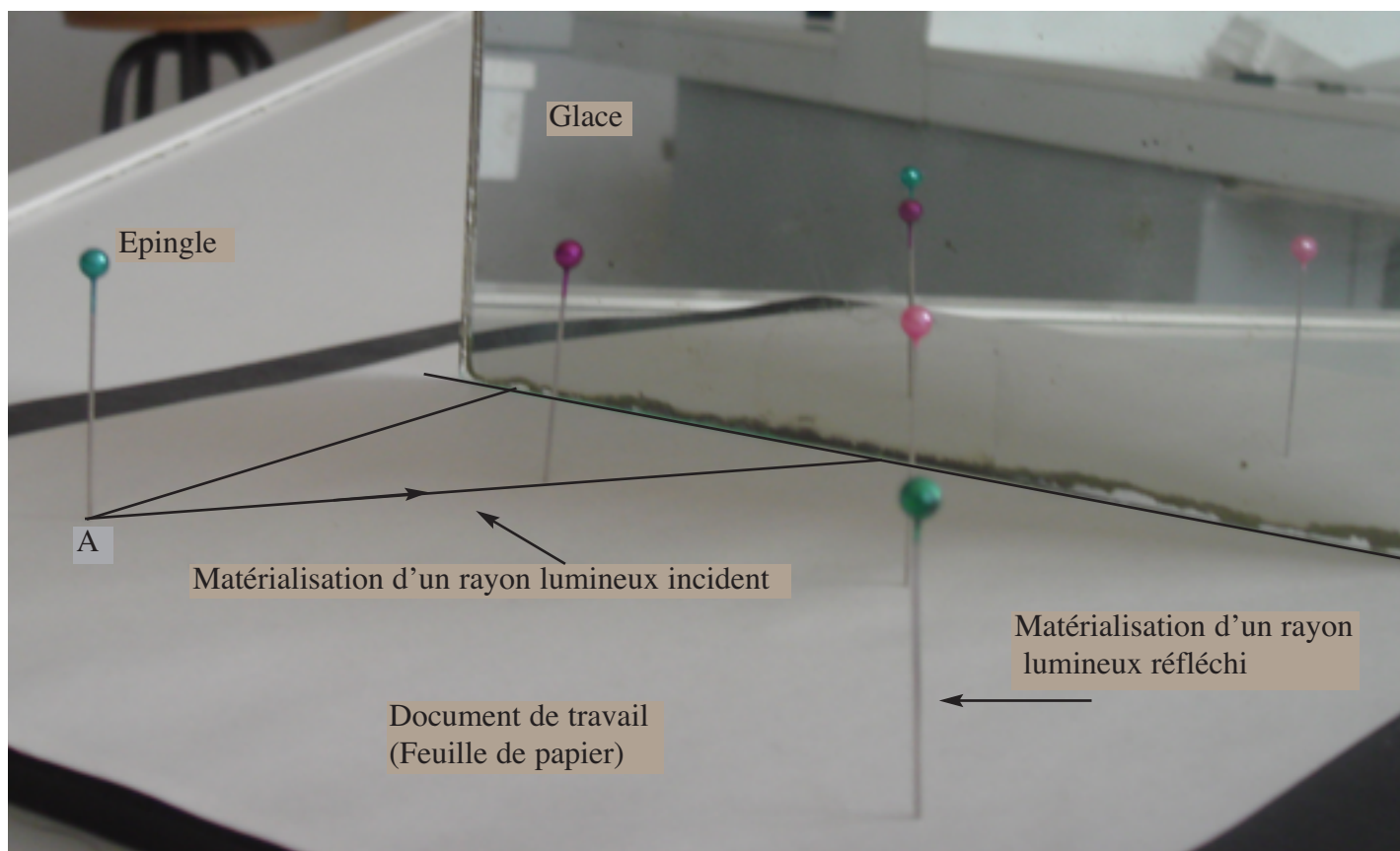
#### Partie réfraction (Cf. Fig(3-D, 4-D et 5-D))

- Au moyen du banc optique, de la source lumineuse munie du cache à une fente, du bloc semi cylindrique et de l'écran opaque, montrer aux étudiants les dioptries plan et cylindrique puis, la lumière réfractée. En faisant varier l'angle d'incidence sur le dioptre cylindrique, montrer leur la réflexion totale et l'angle limite de réfraction (Cf. Fig(7)).
- Remplacer le bloc semi cylindrique par un bloc à faces parallèles puis, montrer aux étudiants le trajet du rayon lumineux pour plusieurs incidences. Aidez les à conclure.
- Avec le bloc de forme prismatique, montrer aux étudiants le trajet du rayon lumineux le traversant. Faites leur remarquer les déviations, au niveau des faces et à travers le prisme, subies par le rayon lumineux incident.
- Au moyen de la feuille de papier comportant un rapporteur, du bloc de glace (ou de la cuve, remplie à

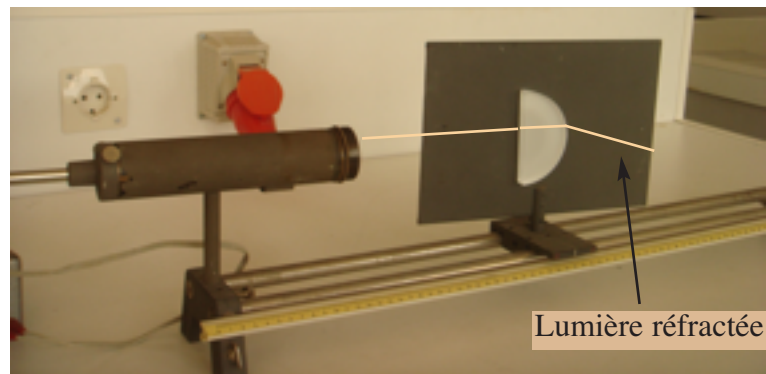




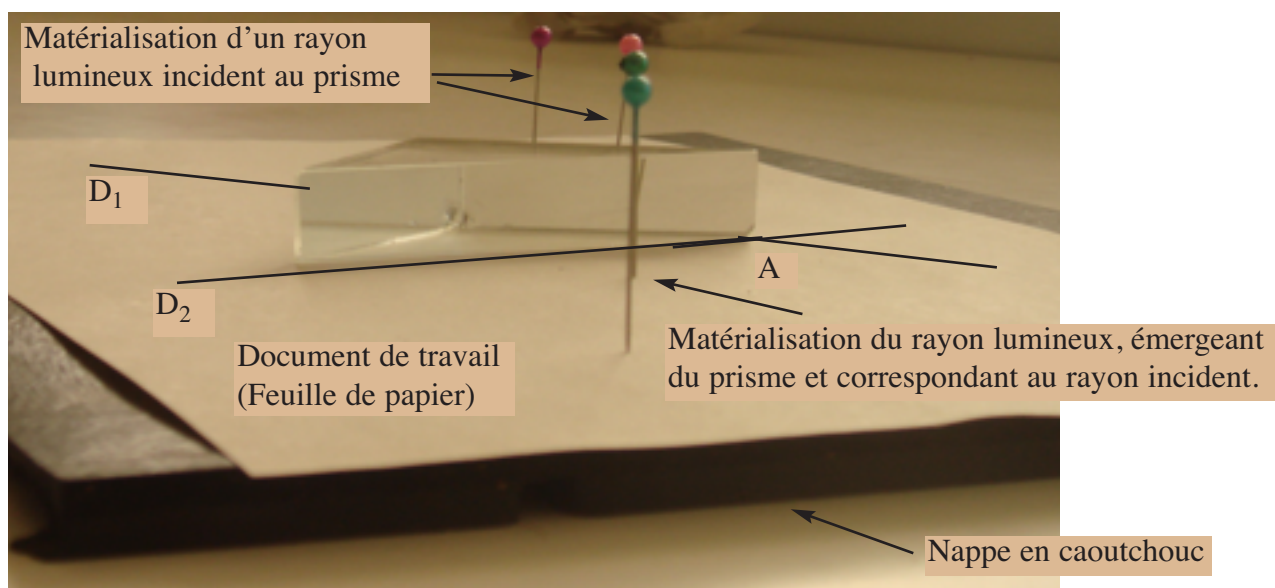
Fig(1-D): Vue du dispositif expérimental de la manipulation de démonstration



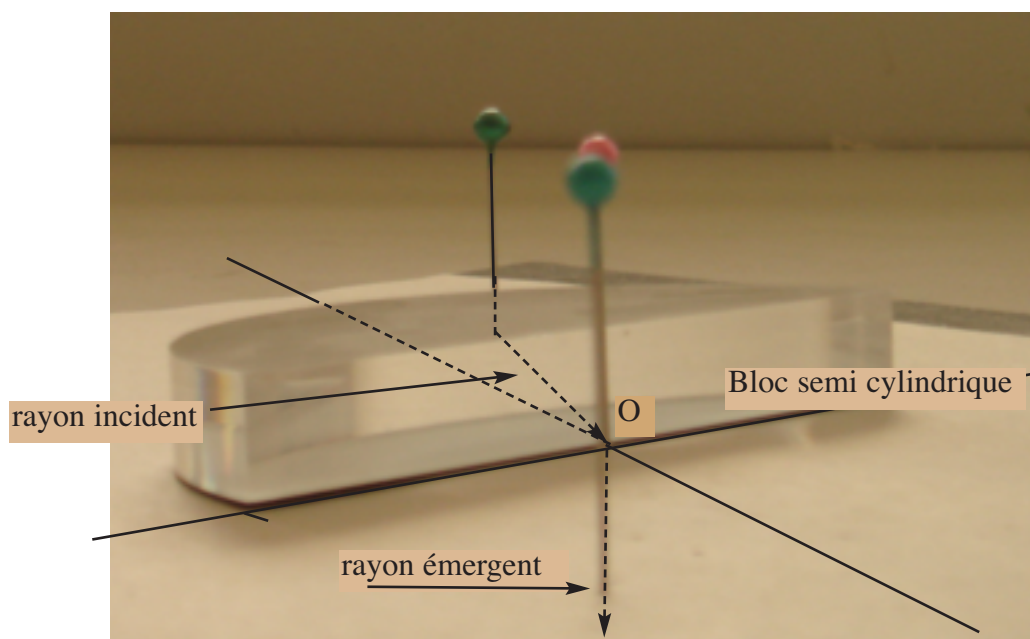
Fig(2-D): Matérialisation d'un rayon lumineux et tracé de son rayon réfléchi



Fig(3-D): Lumière réfractée et reflexion totale



Fig(4-D): Matérialisation d'un rayon lumineux émergeant d'un prisme



Fig(5-D): Matérialisation d'un rayon lumineux émergeant, par le point O, d'un bloc semi cylindrique

mi hauteur d'eau) et de trois épingles, montrer aux étudiants comment on peut tracer la marche d'un rayon lumineux, traversant le bloc et émergeant par sa face plane. En déduire les angles d'incidence et de réfraction de ce rayon sur le dioptré plan.

### TRAVAUX PRATIQUES DE LA SÉANCE

#### Manipulation n°1 (Sur 09 points) (Propriété d'un miroir et vérification de la 1<sup>o</sup> loi de Snell-Descartes)

Au moyen d'une feuille de papier, d'une nappe en caoutchouc, d'une glace, d'une règle, d'un rapporteur et de quatre épingles, on vous propose de vérifier la 1<sup>o</sup> loi de Snell-Descartes et la propriété d'un miroir plan.

##### Manipulation

- Poser la feuille de papier sur la table puis, en son milieu, tracer une portion de droite (D).

- Sur une longueur égale ou inférieure à celle de la glace, pointer six points:  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ,  $P_4$ ,  $P_5$  et  $P_6$ .

- Tracer la perpendiculaire en  $P_1$  à la portion de droite (D).

- A une distance de 10 (cm) environ de  $P_1$ , pointer un point A sur la perpendiculaire précédente.

- Poser la feuille de papier sur la nappe en caoutchouc puis, tracer, au moyen de deux épingles et d'une règle, les rayons lumineux, issus du point A et passant par les points  $P_2$ ,  $P_3$ ,  $P_4$ ,  $P_5$  et  $P_6$ .

- Disposer la glace perpendiculairement à la feuille de papier de manière à ce que les points  $P_i$  ( $i=1, 2, \dots$  et 6) soient sur sa face réfléchissante et le point A, en face de la glace.

- Pour chaque rayon lumineux  $AP_i$  ( $i=1, 2, \dots$  et 6), tracer, au moyens des trois autres épingles, le rayon réfléchi comme indiqué sur la Fig(2).

- Au moyen du rapporteur, mesurer les angles d'incidence et de réflexion de chacun des rayons incidents puis, remplir le tableau de mesures suivant:

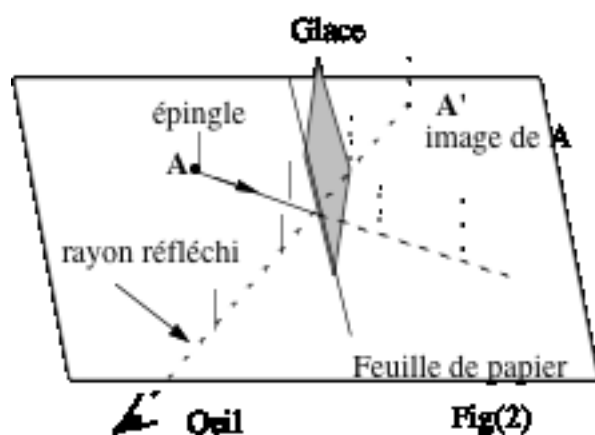
Point d'incidence	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_6$
Angle d'incidence $i_1$ en ( $^\circ$ )						
Angle de réflexion $i'_1$ en ( $^\circ$ )						

- Sur la même feuille de papier, tracer une portion de droite faisant un angle  $\alpha$ , compris entre 5 et 30 ( $^\circ$ ), avec la droite sur laquelle vous avez pointé les points  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ,  $P_4$ ,  $P_5$  et  $P_6$ .

- Prolonger les rayons lumineux, issus de A et passant par  $P_2$  et  $P_6$ , de manière à ce qu'ils coupent la nouvelle portion de droite en  $P'_2$  et  $P'_6$ .

- Remettez l'épingle au point A précédent et placez la glace perpendiculairement à la feuille de papier de manière à ce que les points  $P'_2$  et  $P'_6$  se retrouvent, comme précédemment, sur sa face réfléchissante. Ensuite, tracez, au moyen des trois autres épingles, les rayons réfléchis correspondant à  $AP'_2$  et  $AP'_6$ .

- Au moyen du rapporteur, mesurer, pour la 2<sup>o</sup> position de la glace, les angles d'incidence et de réflexion des rayons incidents  $AP'_2$  et  $AP'_6$ .



**Dépouillement et résultats****Pour la première position de la glace**

- 1°- Sur une feuille de papier millimétré, tracer le graphe  $i'$  ( $^\circ$ ) en fonction  $i$  ( $^\circ$ ).
- 2°- Peut-on établir une loi mathématique simple donnant  $i'$  en fonction de  $i$  ? Comment ?
- 3°- La loi de la réflexion de Snell-Descartes est-elle vérifiée dans ce cas ? Si non, quelles sont, à votre avis, les principales sources d'erreurs ?
- 4°- Sur le document de travail (feuille de papier), construire l'image (ou les images) du point objet A, par rapport à la glace.
- 5°- La glace est-elle stigmatique? Pourquoi ?
- 6°- L'image du point A à travers la glace présente-t-elle des particularités ? Lesquelles ?

**Pour les deux positions de la glace**

- 1°- Pour chacune des positions de la glace, déterminer la déviation subie par les rayons lumineux, issus du point objet A et passant par les points  $P_2$  et  $P_6$ .
- 2° - Que représente, pour chaque rayon lumineux, la différence, D, des déviations calculées précédemment?
- 3°- Y-a-t-il un lien entre la différence D et l'angle de rotation  $\alpha$  du miroir? Si oui, lequel? Si non, pourquoi?

**Manipulation n°2 (Sur 06 points)****(Vérification de la 2° loi de Snell-Descartes et évaluation des indices de réfraction)**

Au moyen d'une feuille de papier, d'une nappe en caoutchouc, d'un rapporteur, d'un compas, d'un bloc semi cylindrique (ou d'une cuve, remplie à mi hauteur d'une solution transparente) et de trois épingles, on vous propose de vérifier la 2° loi de Snell-Descartes et d'évaluer l'indice de réfraction du milieu transparent considéré.

**Manipulation**

- Sur la nappe en caoutchouc, poser une feuille vierge de papier blanc.

- Au milieu de la feuille précédente, tracer une droite (D) puis, au moyen du compas, tracer un cercle, centré sur (D) et de rayon 4,5 (cm) environ.

- Tracer la perpendiculaire à (D) passant par le centre O du cercle précédent.

- Planter une épingle au point O puis, disposer le bloc semi cylindrique (ou la cuve) de manière à ce que sa partie plane soit parallèle à (D) et le centre de sa partie cylindrique confondu avec O Fig(1).

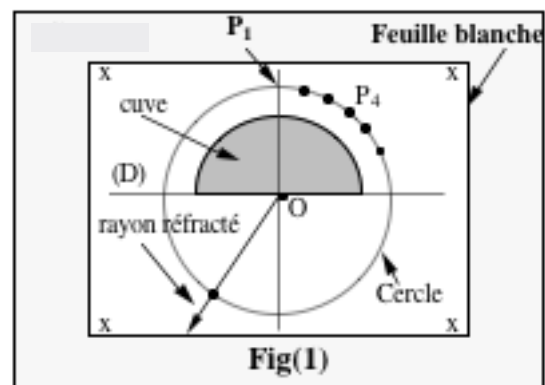
- Sur le premier quart du cercle précédent et dans le sens de déplacement des aiguilles d'une montre, pointer six points:  $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5$  et  $P_6$ .

- Au moyen des deux autres épingles, tracer les rayons réfractés, émergeant par le point O et issus des points  $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5$  et  $P_6$ .

- Sur le premier quart du cercle, pointer le point  $P_0$  le plus éloigné de  $P_1$  pour lequel on peut encore tracer le rayon réfracté passant par O.

- Retirer le bloc semi cylindrique (ou la cuve) et les trois aiguilles de la feuille de papier puis, tracer les rayons lumineux issus de:  $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$  et  $P_0$ , et aboutissant au point O.

- Au moyen du rapporteur, mesurer les angles d'incidence " $i$ " et de réfraction " $r$ " de chacun des rayons lumineux précédents puis, déduire la valeur de l'angle limite de réfraction  $r_0$  et remplir le tableau de mesures suivant:





Point de départ du rayon lumineux.	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_6$
Angle d'incidence " i " en (°)						
en (rd)						
Angle de réfraction " r " en (°)						
en (rd)						
Sin(i)						
Sin(r)						

### Dépouillement et résultats

1°- Sur une feuille de papier millimétré, tracer les graphes  $i$  (rd) en fonction  $r$  (rd) et  $\sin(i)$  en fonction de  $\sin(r)$ . Commenter les graphes obtenus.

2°- D'après les graphes de la 1° question, peut-on établir une loi mathématique simple qui exprime l'angle d'incidence  $i$  en fonction de l'angle de réfraction  $r$  d'un rayon lumineux? Si oui, laquelle ?

3°- La loi de la réfraction de Snell-Descartes est-elle vérifiée dans ce cas ? Si non, quelles sont, à votre avis, les principales sources d'erreurs ?

4°- Peut-on évaluer, à partir de l'un des graphes (ou des deux graphes), l'indice de réfraction moyen,  $n$ , du verre du bloc semi cylindrique (ou de la solution contenue dans la cuve) ? Si oui, comment ? Préciser, alors, la valeur de  $n$ . L'indice de réfraction moyen de l'air est supposé égal à 1.

5°- Peut-on, également, évaluer l'indice  $n$  précédent à partir de  $r_0$  ? Si oui, comment ? Préciser, alors, la valeur de  $n$  puis la comparer à celle obtenue, éventuellement, à la 4° question. Conclusion.

## TP N°2 PRISME ET GONIOMÈTRE

**OBJECTIF:** L'objectif visé par ce TP est de faire découvrir aux étudiants, d'une part, les propriétés d'un prisme et, d'autre part, de les initier au mesureur d'angles le goniomètre. Ils apprendront, également, à évaluer les indices de réfraction des milieux matériels transparents (solides et liquides).

### Matériel proposé

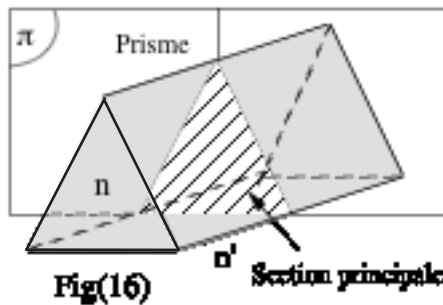
- Un bloc de verre de forme prismatique.
- Une cuve en plexiglas de forme prismatique.
- Une solution liquide transparente (en guise de milieu transparent liquide).
- Une nappe en caoutchouc.
- Une feuille de papier.
- Un rapporteur.
- Un jeu d'épingles.
- Un Goniomètre complet (Gonio+ lunette de visée et collimateur).
- Une source spectrale de lumière (Zn ou Cd ou Hg).



## PARTIE THÉORIQUE

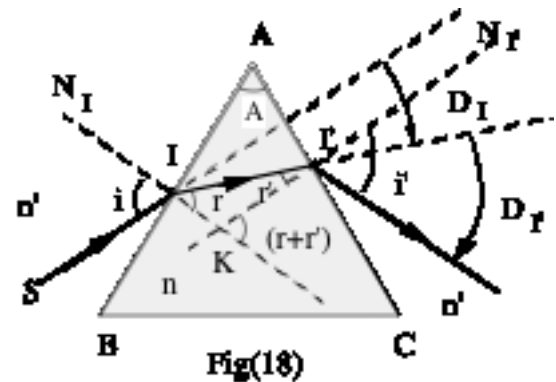
### Prisme

**Définition:** C'est un milieu transparent d'indice  $n$ , limité par trois dioptries plans non parallèles (Cf.Fig(16)). En général, il baigne dans un même milieu transparent, d'indice  $n'$ .



Fig(16)

**Rayon lumineux traversant la section principale d'un prisme:** La marche d'un rayon lumineux monochromatique, traversant la section principale d'un prisme, est illustrée par la Fig(18).



Fig(18)

**Condition d'émergence:** Dans un prisme, la condition d'émergence d'un rayon lumineux est:

$$A \leq 2 r_0$$

**Déviation totale:** Dans un prisme, la déviation totale du rayon lumineux le traversant est telle que:

$$D_t = i + i' - A$$

**Déviation minimale:** Au minimum de déviation, les angles d'incidence ( $i$ ) et d'émergence ( $i'$ ) sont égaux; il en est de même pour les angles de réfraction ( $r$ ) et ( $r'$ ). Il s'en suit alors:

$$D_m = 2 i_m - A, \quad r = r' = r_m \Rightarrow r_m = \frac{A}{2} \quad \text{et} \quad n = n' \frac{\sin\left(\frac{D_m + A}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}$$

## MANIPULATION DE DÉMONSTRATION

- Au moyen d'une feuille de papier, de la nappe en caoutchouc, du bloc de verre de forme prismatique (ou de la cuve en plexiglas de forme prismatique, remplie d'un liquide transparent) et de quatre épingles, montrer aux étudiants comment tracer la marche d'un rayon lumineux traversant le bloc (ou la cuve).

- Présenter aux étudiants le goniomètre complet (Plateau principal, plate forme centrale, lunette de visée, collimateur et verniers) et expliquer leur fonctionnement, notamment:

- . Le réglage et le blocage du plateau principal.
- . La mise au point du collimateur et son blocage.
- . Le réglage de l'épaisseur de la raie, de sa longueur et de son orientation.
- . Le blocage et la mise au point de la lunette.
- . Les déplacements horizontal et vertical de la lunette (insister sur le réglage fin du déplacement horizontal).
- . L'opération à effectuer pour visualiser les réticules de la lunette.

- . Le rôle et les réglages de la plate forme centrale.  
 - Expliquer aux étudiants le rôle des verniers et apprendre leur à faire une lecture sur le vernier.

### TRAVAUX PRATIQUES DE LA SÉANCE

#### Manipulation n°1 (Sur 10 points)

#### (Propriété d'un prisme pour une lumière monochromatique (\*) et évaluation de l'indice de réfraction moyen des milieux matériels transparents, solide et liquide)

Au moyen de la nappe en caoutchouc, du bloc (ou de la cuve remplie d'un liquide transparent), d'un rapporteur et de quatre épingles, on vous propose de tracer la marche d'un rayon lumineux traversant le prisme, de déterminer sa déviation totale ( $D_t$ ) en fonction de l'angle d'incidence ( $i$ ) puis, d'en déduire l'indice moyen de réfraction absolu du verre du bloc (ou du liquide de la cuve).

#### Manipulation

- Poser une feuille blanche sur la nappe en caoutchouc.  
 - Au milieu de la feuille précédente, poser le bloc de verre (ou la cuve) puis, tracer, au moyen d'un crayon et des faces de la cuve, deux segments de droite  $D_1$  et  $D_2$  (Cf. Fig(1)).

- Retirer le bloc de verre (ou la cuve) de la feuille de papier puis, déterminer le sommet, A, du prisme en prolongeant les segments de droite  $D_1$  et  $D_2$ .

- Sur l'une des traces des faces du bloc (ou de la cuve) qui forment l'angle A, pointer un point I puis, tracer la perpendiculaire N, passant par I, à  $D_1$  (ou à  $D_2$ ).

- Au point I, tracer un quart de cercle, de centre I et de rayon égal à celui de votre rapporteur, qui coupe la normale N et le segment de droite  $D_1$  (ou  $D_2$ ).

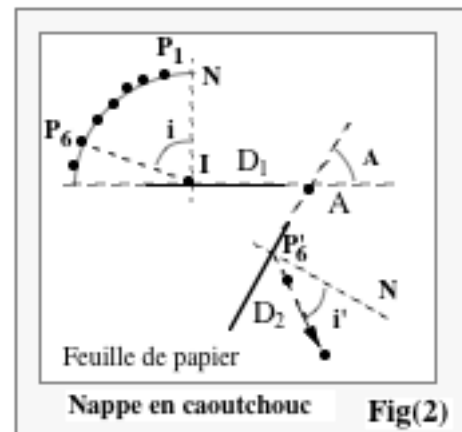
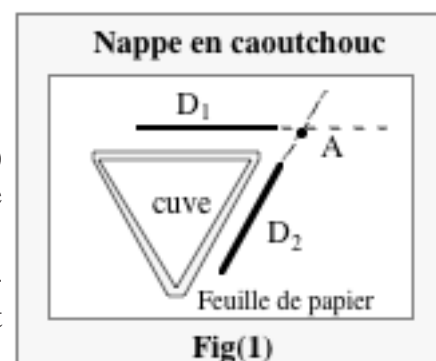
- Sur le quart de cercle précédent (Fig(2)), pointer, à partir de la normale N, sept points:  $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$  et  $P_7$ , de manière à ce que les angles  $(NI, IP_i)$ ,  $i$  variant de 1 à 7, valent respectivement:  $16^\circ, 26^\circ, 36^\circ, 46^\circ, 56^\circ, 66^\circ$  et  $76^\circ$ .

- Tracer les sept rayons incidents en I au prisme ( $P_i I$ ,  $i$  variant de 1 à 7).

- Poser le bloc (ou la cuve, remplie à mi hauteur d'un liquide transparent) de manière à ce que ses faces coïncident avec  $D_1$  et  $D_2$ .

- Au moyen de deux épingles, matérialiser le rayon lumineux, issu de  $P_1$  et abordant le prisme en I. Ensuite, tracer, au moyen des deux autres épingles et par visée, le rayon émergent correspondant. Répéter l'opération pour les six autres points.

- Au moyen d'un rapporteur, mesurer l'angle A du prisme et les angles d'incidence,  $i$ , et d'émergence,  $i'$ , des sept rayons lumineux. Consigner les résultats de mesures dans le tableau ci-dessous.



Points de mesures	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_6$	$P_7$
$i$ en ( $^\circ$ )							
$i'$ en ( $^\circ$ )							
$(i + i' - A)$ en ( $^\circ$ )							

(\*) Dans le cas de cette manipulation le phénomène de dispersion n'est pas perceptible par l'oeil. Tout se passe donc comme si la lumière était monochromatique.

**Dépouillement et résultats**

- 1°- Tracer le graphe  $(i + i' - A) = f(i)$ .
- 2°- Commenter le graphe précédent.
- 3°- Peut-on évaluer l'indice de réfraction moyen du bloc de verre (ou du liquide contenu dans la cuve) pour la lumière blanche? Si oui, à combien l'estimez-vous? Expliquer.

**Manipulation n°2 (Sur 05 points)****(Initiation au goniomètre et mesure de l'angle A d'un prisme)**

Au moyen d'un goniomètre dont la description sommaire est donnée par les Fig(8, 9 et 10), On vous propose de vous initier à la lecture des positions de la lunette et du collimateur puis, de déterminer, à titre d'application et à la minute de degré près, la valeur de l'angle A d'un prisme de verre.

**Réglage du goniomètre****Réglage du collimateur**

- La position normale du collimateur est celle pour laquelle le cylindre porte fente est complètement enfoncé dans celui qui porte la lentille convergente. Dans cette position, la fente se trouve dans le plan focal objet de la lentille du collimateur, fixer le au moyen de la vis de blocage et régler l'horizontalité du collimateur.
- Placer la source de lumière devant le collimateur et le plus près possible de sa fente.

**Réglage de la lunette**

- Régler l'oculaire en le tirant (ou en l'enfonçant) pour voir net le réticule ; ce réglage dépend de l'observateur et pourra être modifié en fonction de l'oeil de celui-ci.
- Mettre une des faces du prisme contre la lunette pour réaliser l'autocollimation puis, régler l'objectif de la lunette, au moyen de VRL, pour voir nette l'image de retour du réticule. La lunette est alors réglée à l'infini.

**Réglage de l'horizontalité de la plate forme centrale**

- Au moyen du collimateur et de sa vis VRC, régler la lunette de manière à percevoir la raie de lumière incidente.
- Au moyen de la vis VRER et du système d'obturation SO, régler l'épaisseur et la longueur de la raie. Avec la vis VRL, régler sa netteté.
- Poser le prisme sur la plate forme centrale, comme indiqué sur la Fig(4), puis, au moyen de la lunette observer les rayons réfléchis par les faces du prisme. En agissant sur les vis  $V_1$ ,  $V_2$  et  $V_3$ , faites coïncider les raies observées avec le réticule vertical de manière à ce que le décalage vertical des raies réfléchies, en passant de l'une à l'autre, ne soit pas très important. Dans cette position, le faisceau lumineux est perpendiculaire à l'arête du prisme.

**Repérage de la lunette par rapport au plateau principal**

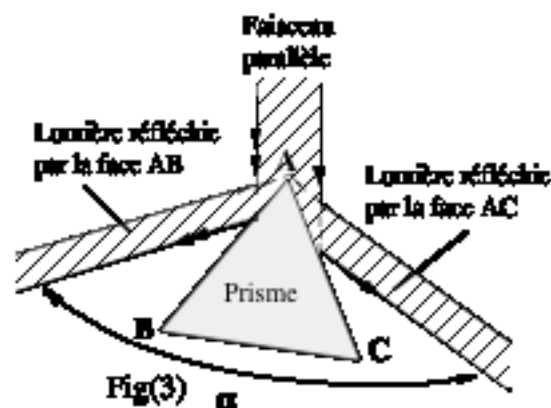
Comme la lunette et les deux verniers sont solidaires, leurs angles de rotation sont égaux. De ce fait, on repère la position de la lunette, par rapport au plateau principal, par celle de l'un des deux verniers.

La lecture de l'angle sur un vernier, comme indiqué sur la Fig(12), se fait de la façon suivante: La valeur en degrés est donnée par le zéro ( $0'$ ) du vernier et celle des minutes par le numéro de la graduation du vernier qui est dans le prolongement d'une graduation du plateau principal.

**Mesure de l'angle A d'un prisme**

L'exercice ci-après est à traiter, impérativement, avant la séance de TP, (à la maison par l'étudiant).

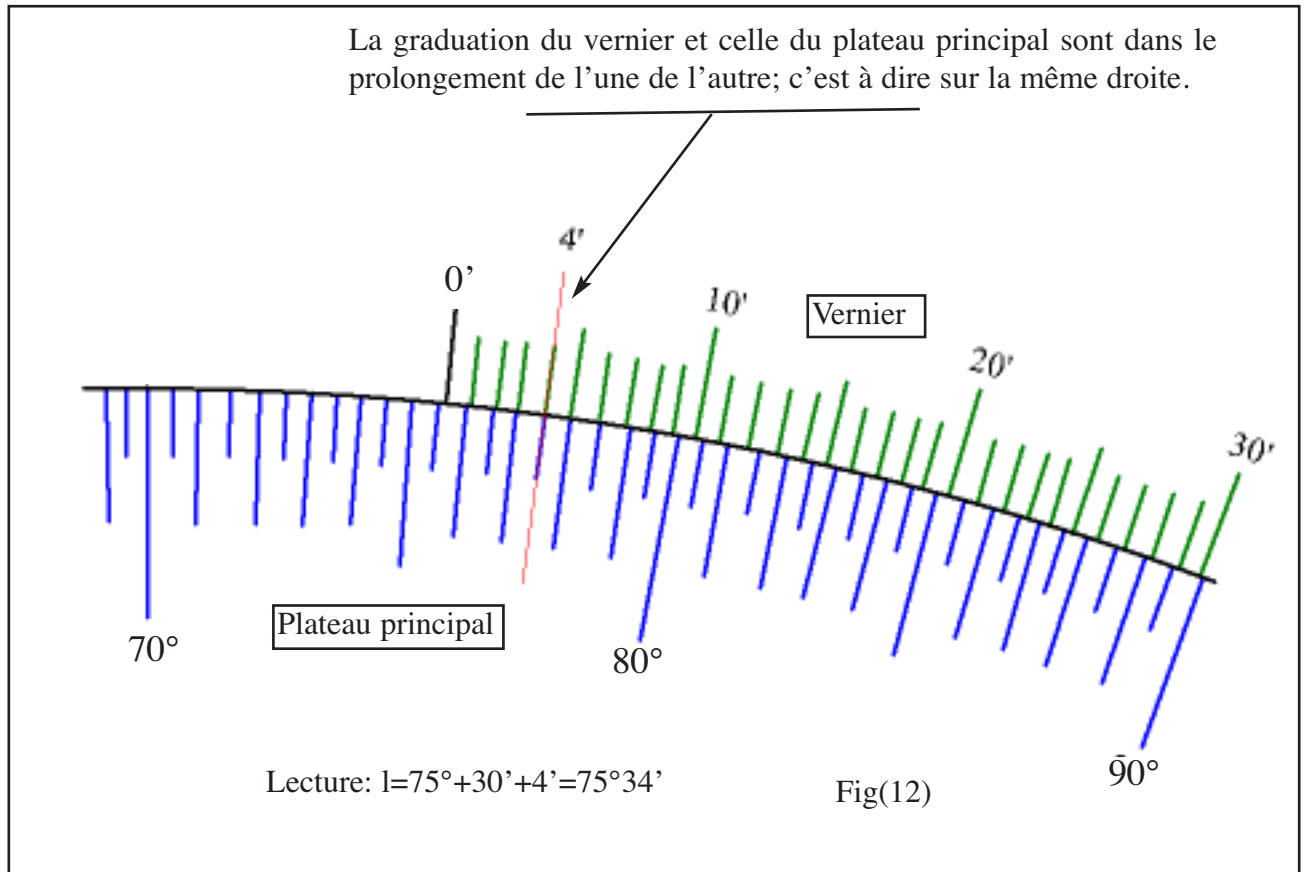
**Exercice:** Un faisceau parallèle de lumière aborde perpendiculairement l'arête d'un prisme d'angle A. Comme l'indique la Fig(3) ci-contre, ce prisme réfléchit une partie de la lumière par sa



face AB et l'autre, par sa face AC.

Montrer que l'angle,  $\alpha$ , formé par les rayons réfléchis, par les faces AB et AC du prisme, est égal à  $2A$  ; c'est à dire:

$$A = \frac{\alpha}{2}$$



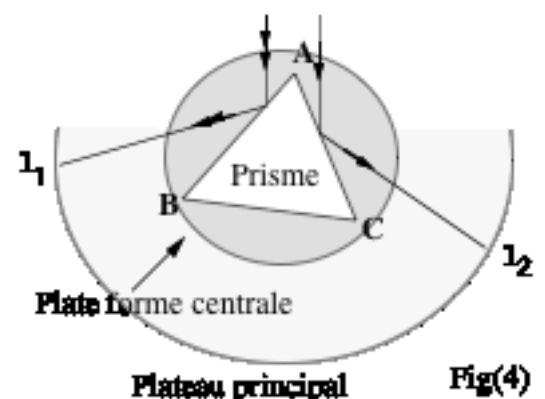
### Manipulation

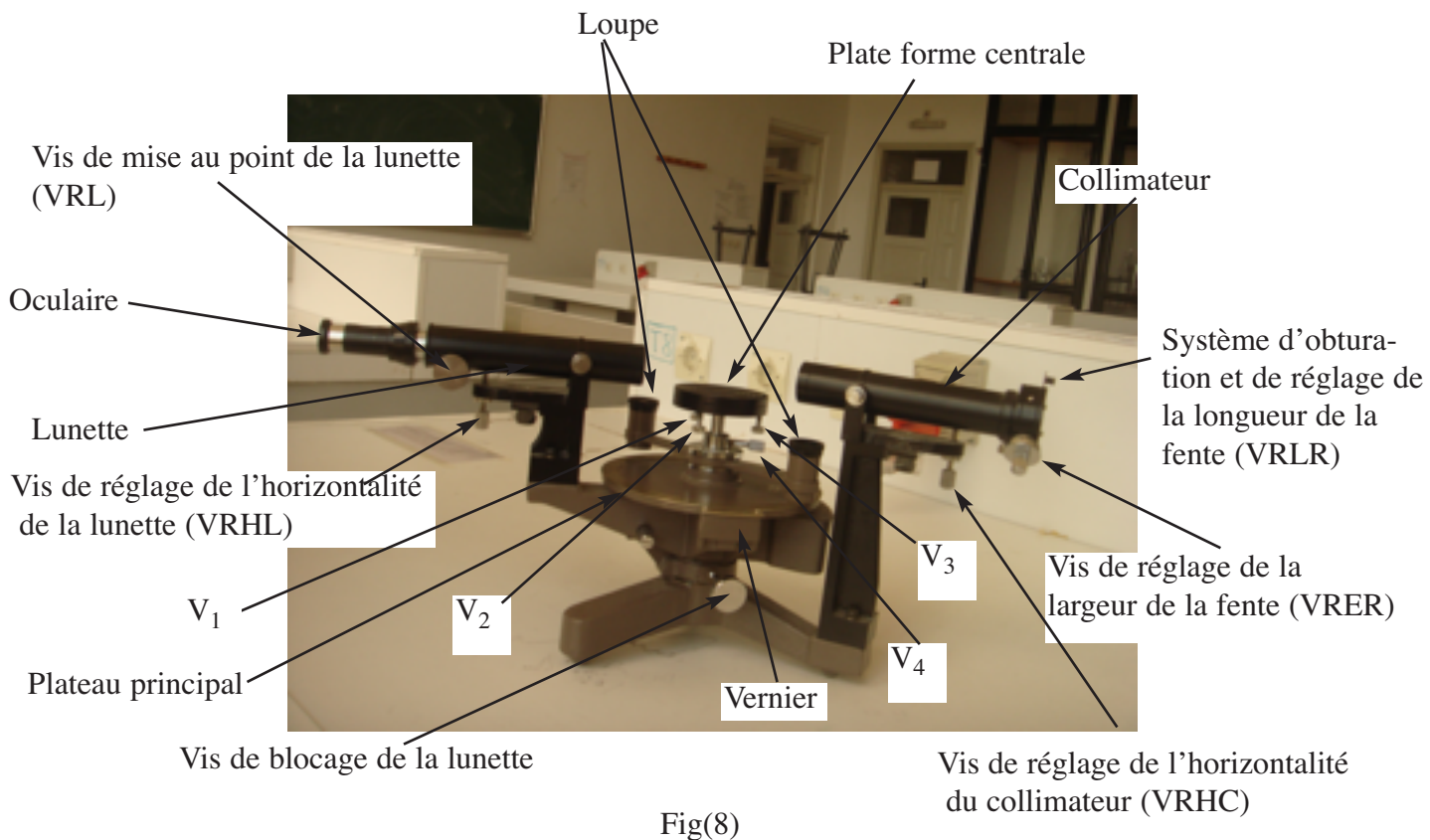
La source de lumière étant allumée et le goniomètre réglé, procéder comme suit:

- Poser le prisme sur la plate forme centrale comme indiqué sur la Fig(4).
- Déplacer la lunette vers la gauche jusqu'à l'obtention d'une raie qui coïncide avec le réticule vertical puis, pointer, au moyen de l'un des verniers la position de la lunette,  $l_1$ , des rayons réfléchis par la face AB.
- Sans toucher à la plate forme centrale et au prisme, déplacer la lunette vers la droite puis, pointer la position de la lunette,  $l_2$ , des rayons réfléchis par la face AC.

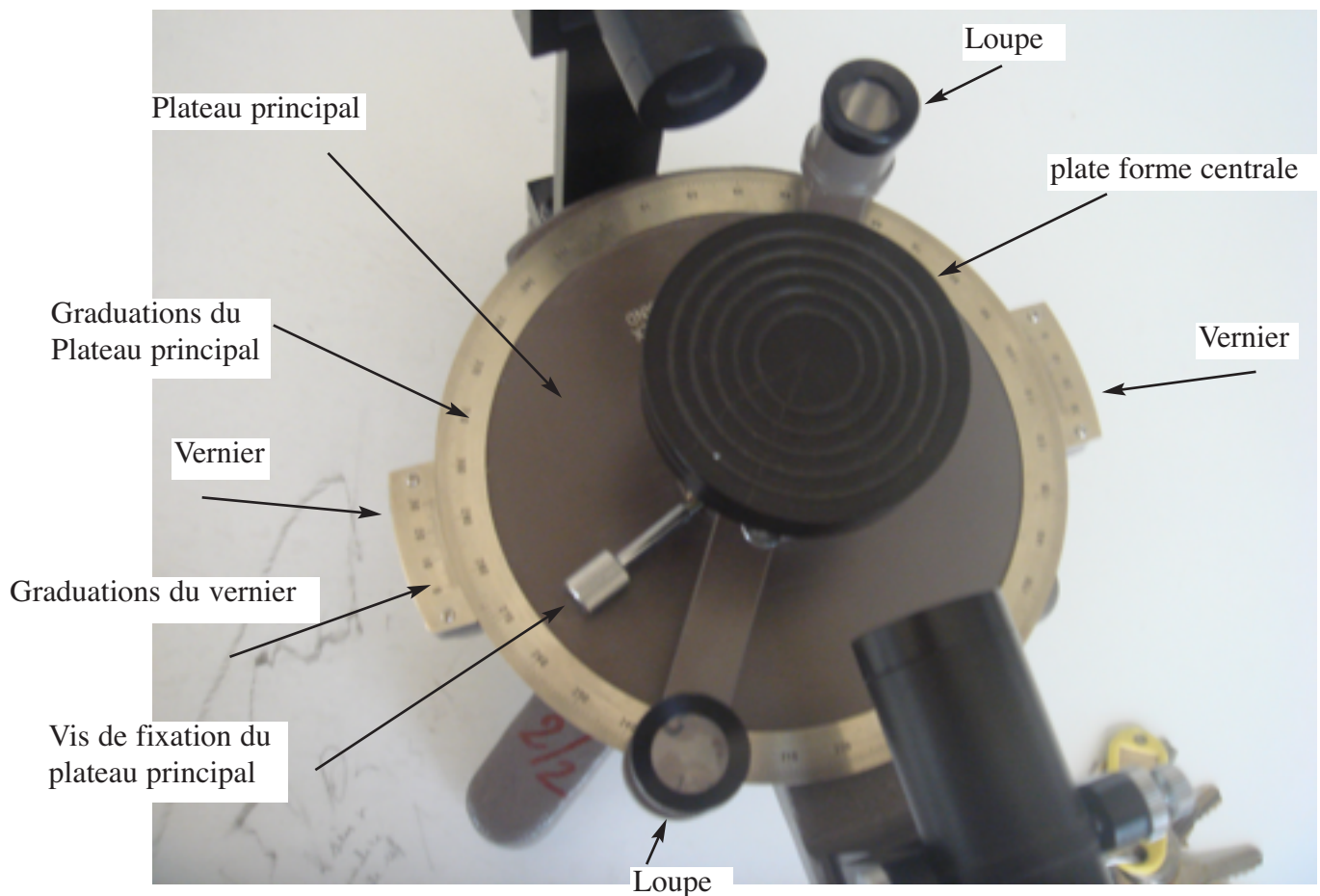
### Dépouillement et résultats

À partir de  $l_1$ , de  $l_2$  et du résultat de l'exercice ci-dessus, déterminer, en degré et en minutes, la valeur de l'angle A du prisme.



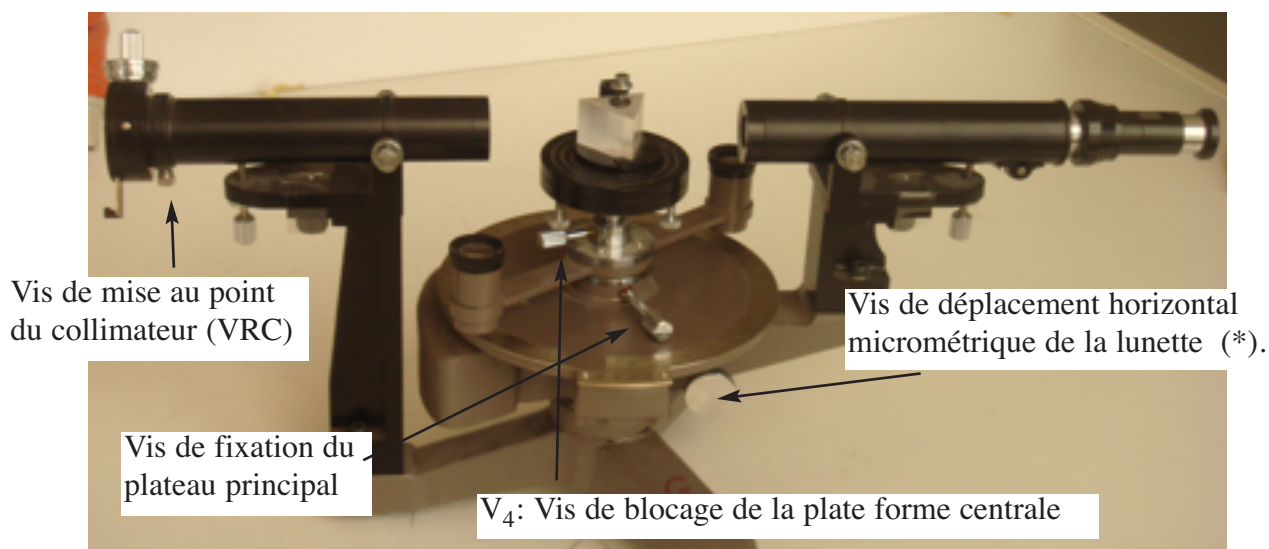


Fig(8)



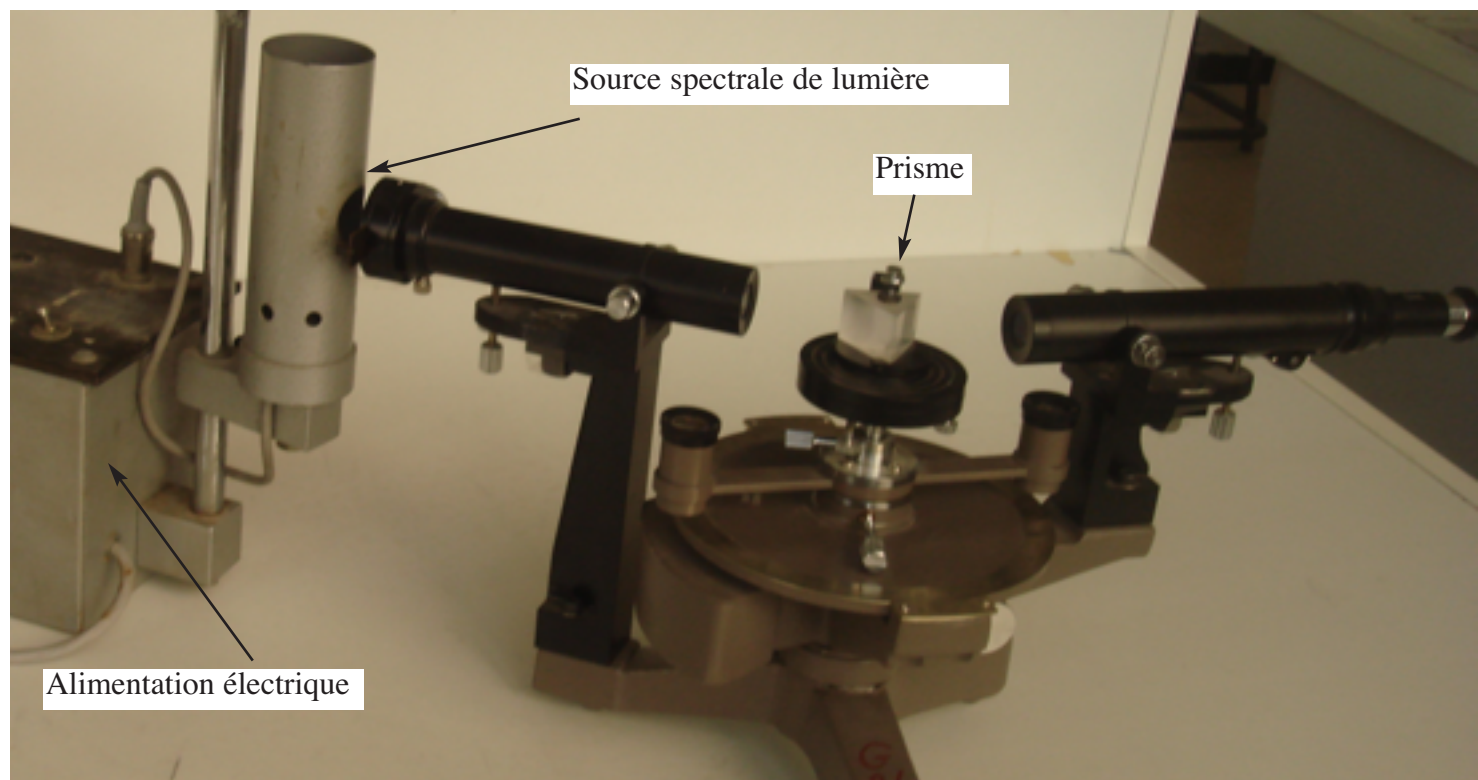
Fig(9)



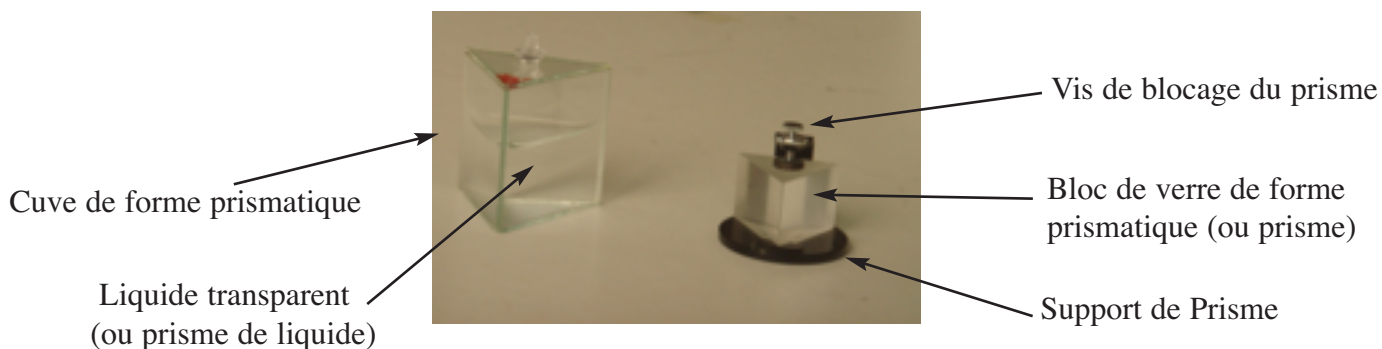


(\*) La vis micrométrique n'est opérationnelle que lorsque la lunette est bloquée.

Fig(10)



Fig(11): Vue d'ensemble du dispositif expérimental



Fig(13)

## TP N°3 GONIOMÈTRE - DISPERSION

**Objectif:** L'objectif visé par ce TP est, d'une part, de montrer aux étudiants le phénomène de dispersion de la lumière par un prisme et, d'autre part, de leur apprendre à:

- Pacer un prisme sous une incidence donnée.
- Évaluer l'indice de réfraction d'un corps transparent (solide ou liquide et sous forme d'un prisme) pour une radiation monochromatique donnée.
- Évaluer la longueur d'onde d'une radiation inconnue.

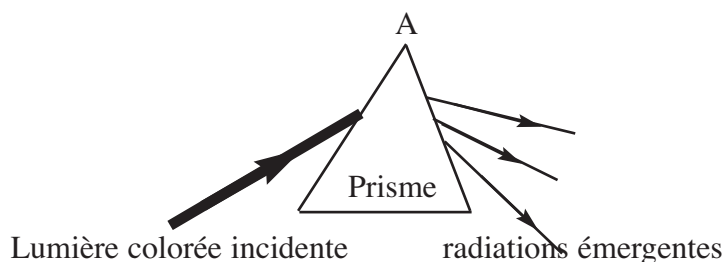
### Matériel proposé

- Un bloc de verre de forme prismatique **Fig(13)**.
- Une cuve en plexiglas de forme prismatique **Fig(13)**.
- Une solution liquide transparente (en guise de milieu transparent liquide).
- Un goniomètre complet (Gonio+ lunette de visée et collimateur).
- Deux sources spectrales de lumière (Zn ou Cd ou Hg) **Fig(11)**.

### PARTIE THÉORIQUE

#### Phénomène de dispersion

L'expérience montre que lorsque un faisceau parallèle de lumière colorée aborde la face d'un prisme, il en sort par sa deuxième face plusieurs faisceaux, non parallèles et de couleurs différentes. Ce phénomène est appelé phénomène de dispersion (\*).



#### L'indice de réfraction d'un prisme pour une lumière colorée

Comme l'angle d'incidence des radiations composant la lumière colorée est le même et que leurs déviations sont différentes Cf. Figure ci-dessus), Il s'en suit que le prisme présente un indice de réfraction différent pour chaque radiation monochromatique ( $\lambda$ ). On a donc  $n=n(\lambda)$ .

En général,  $n(\lambda)$  est donné par la relation empirique suivante, dite relation de Cauchy:

$$n(\lambda) = a + \frac{b}{\lambda^2}$$

Au 2° ordre

et

$$n(\lambda) = a + \frac{b}{\lambda^2} + \frac{c}{\lambda^4}$$

Au 4° ordre

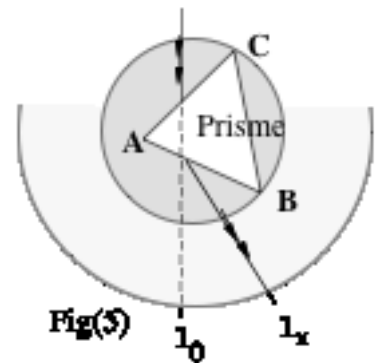
Où: a, b et c sont des constantes

(\*) Pour plus d'information, Cf. Tome 1 Optique 4° Ed de la collection SEP- mms, § phénomène des couleurs.

**TRAVAUX PRATIQUES DE LA SÉANCE**
**Manipulation n°1 (Sur 03 points)**  
**(Phénomène de dispersion et déviation totale)**

La source de lumière étant allumée et le goniomètre réglé (Cf. TP n°2), procéder comme suit:

- Régler la lunette de manière à avoir, la raie lumineuse de la fente, nette et confondue avec le réticule vertical. Pointer alors, au moyen de l'un des verniers, la position  $l_0$  du rayon incident, dite: **le zéro du goniomètre**.
- Poser le prisme sur la plate forme centrale comme indiqué sur la Fig(5).
- Déplacer la lunette vers la droite jusqu'à l'obtention du spectre de raies puis, pointer la position  $l_x$  de la raie de couleur  $x$ , fixée par l'enseignant de TP.
- À partir d'une position du prisme, correspondant à une incidence de près de  $90^\circ$  (incidence rasante), tourner la plate forme centrale, dans le sens de diminution de l'angle d'incidence, puis, observer, au moyen de la lunette, le déplacement du spectre de raies.


**Dépouillement et résultats**

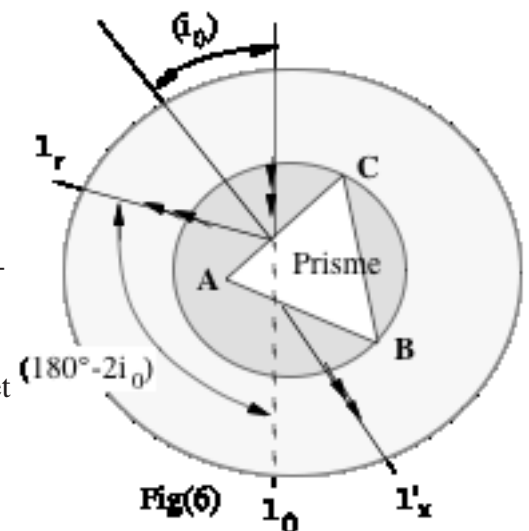
- 1°- Expliquer le spectre de raies observé.
- 2°- Quelle est la valeur de la déviation totale, en degré et en minutes, subie par le rayon lumineux de couleur  $x$ . Donner également celles de  $l_0$  et de  $l_x$ .
- 3°- Commenter le déplacement du spectre de raies quand on fait varier l'angle d'incidence du faisceau lumineux sur la face AC du prisme.

**Manipulation n°2 (Sur 03 points)**  
**(Choix d'une incidence  $i_0$  donnée)**

On vous propose de placer le prisme sur la plate forme centrale de manière à ce que le faisceau, sortant du collimateur, l'aborde avec un angle d'incidence  $i_0$ , fixée par l'enseignant de TP.

**Manipulation**

- Si vous avez touché au réglage du goniomètre, reprendre son réglage (Cf. manipulation n°1) et redéterminer son zéro ( $l_0$ ). Ensuite, procéder comme suit:
- Poser le prisme sur la plate forme centrale comme indiqué sur la Fig(6).
- Déplacer la lunette vers la gauche puis la fixer au plateau principal pour une position du vernier  $l_r = (l_0 + 180^\circ - 2i_0)$ .
- Tourner alors le prisme, au moyen de la plate forme centrale, jusqu'à l'obtention d'une raie, de même couleur que la source (fente) et qui coïncide avec le réticule vertical.
- Sans toucher au prisme, pointer, au moyen vernier, la position  $l'_x$  de la lunette quand le rayon de couleur  $x$  (fixée par l'enseignant de TP) est sur le réticule vertical.


**Dépouillement et résultats**

- 1°- Quelle est la valeur de l'angle d'émergence " $i'_x$ ", par la face AB, du rayon lumineux de couleur  $x$ .
- 2°- Peut-on déduire la valeur de l'indice de réfraction du prisme pour la lumière de couleur  $x$  ? Si oui, quelle est sa valeur ? Si non, pourquoi ?

**Manipulation n°3 (Sur 04 points)****(Méthode de détermination de la déviation minimum dans un prisme)**

On vous propose de déterminer l'indice de réfraction d'un prisme pour une radiation de couleur ( $\lambda$ ) donnée.

**Manipulation**

- Si vous avez touché au goniomètre, reprendre son réglage (Cf. manipulation n°1) puis, redéterminer le zéro du goniomètre ( $I_0$ ).
- Poser le prisme sur la plate forme centrale (comme indiqué sur la Fig(6)) de manière à avoir une incidence presque rasante ( $i$  entre  $70^\circ$  et  $90^\circ$ ) puis, repérer, au moyen de la lunette, le spectre de raies.
- Au moyen de la plate forme centrale, faire varier l'angle d'incidence dans le sens de la décroissance tout en suivant le mouvement du spectre de raies avec la lunette. Au moyen du vernier de la lunette, Pointer la position  $I_{mx}$ , de la raie de couleur  $x$ , quand elle change de sens de déplacement (le sens de déplacement de la plate forme centrale étant toujours le même). Le prisme est, alors, au minimum de déviation pour la raie de couleur  $x$ .

**Dépouillement et résultats**

1°- Dans ce prisme, quelle est, en degré et en minute, la valeur de la déviation minimum de la raie de couleur  $x$ , fixée par l'enseignant de TP ?

2°- L'angle  $A$  du prisme étant celui que vous avez déterminé dans la manipulation n°3, calculer la valeur de l'indice de réfraction,  $n_{\lambda x}$ , du prisme pour la radiation de couleur  $x$ .

3°- Si vous avez répondu par un oui à la 2° question de la manipulation n°3, comparer le résultat trouvé avec celui de la question n°2. Conclusion.

**Manipulation n°4 (Sur 05 points)****(Méthode de détermination de la longueur d'onde d'une radiation inconnue)**

Au moyen du prisme de verre de cette manipulation, du même goniomètre et d'une lampe spectrale, dont les longueurs d'ondes de son spectre de raies sont connues, L'enseignant de TP a déterminé, par la méthode de la manipulation n°2, l'indice de réfraction du prisme pour chacune d'elles. Le résultat est consigné dans le tableau ci-dessous:

$\lambda$ (nm)	470	482	491	502	508	538	567	630	660
$n$	1,638	1,634	1,632	1,629	1,627	1,623	1,619	1,615	1,612

On vous propose de déterminer la longueur d'onde de la radiation de couleur verte, de la lampe spectrale que vous utilisez. Préciser le type de lampe utilisé (Zn, Hg ou Cd).

**Manipulation**

Si vous avez touché au réglage du goniomètre, reprendre son réglage (Cf. manipulation n°1) et redéterminer son zéro ( $I_0$ ). Ensuite, procéder comme suit:

- Poser le prisme sur la plate forme centrale comme indiqué sur la Fig(6).
- Déterminer, par la méthode de la manipulation n°2, l'indice de réfraction du prisme pour la radiation de couleur verte.

**Dépouillement et résultats**

1°- Tracer les graphes  $n = f\left(\frac{1}{\lambda^2}\right)$  et  $n = f(X)$  avec  $X = \frac{1}{\lambda^2}$

2°- Donner la valeur, avec 3 décimales, de l'indice de réfraction du prisme pour la radiation de couleur verte.

3°- En utilisant l'un des graphes du 1°, déterminer la longueur d'onde,  $\lambda_v$ , de la radiation verte.

## TP N°4

### RAYONNEMENTS IONISANTS - RADIOACTIVITÉ

**Objectif:** L'objectif visé par ce TP est de faire découvrir aux étudiants le caractère et les propriétés de du rayonnement radioactif, nuisibles à notre santé et qui n'est pas détecté par nos sens. Ils apprendront comment:

- 1°- Utiliser un détecteur de rayonnements ionisants.
- 2°- Identifier les différents rayonnements radioactifs, au moyen d'un détecteur GM.
- 3°- Evaluer:
  - La couche de demi atténuation (CDA) d'un matériau pour un REM  $\gamma$  donnée.
  - La CDA est le pouvoir d'arrêt d'un matériau dans le cas d'un RP donné.

#### Matériel utilisé:

- 1 tube Géiger Muller (GM).
- 1 Compteur GM.
- 3 Sources radioactives ( $S_\alpha$ ,  $S_\beta$  et  $S_\gamma$ ).
- 1 Support magnétique de source.
- 1 Nappe magnétique.
- 4 jeux de lames de 2 (mm) d'épaisseur (plexiglas, Al, Fe et Pb).
- 1 Un porte plaques magnétique.
- 1 feuille de papier de 1 mm d'épaisseur.

### PARTIE THÉORIQUE

#### Radioactivité

La radioactivité est l'émission spontanée de particules et de rayonnement électromagnétique  $\gamma$  par une population de noyaux atomiques instables, appelée **source radioactive**.

On distingue 3 types d'émission: L'émission de noyaux d'hélium appelée **rayonnement  $\alpha$** , l'émission d'électrons ou de positons (\*) appelée, respectivement, **rayonnement  $\beta^-$**  et **rayonnement  $\beta^+$**  et enfin, l'émission d'un rayonnement électromagnétique  $\gamma$ , appelée **rayonnement  $\gamma$** .

#### Désintégration (\*\*)

**Loi de désintégration:** Sur une population  $N_0$  de noyaux atomiques instables à l'instant  $t=0$  (s), le nombre de noyaux qui ne se sont pas désintégrés à l'instant  $t$  obéit à la loi suivante:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

Où:  $\lambda$  est la probabilité de désintégration d'un noyau par unité de temps.

**Période de désintégration ou demi-vie:** C'est le temps  $T$  au bout duquel la moitié d'une population de noyaux radioactifs se désintègre.

$$N(t=T) = \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T} \Rightarrow T = \frac{\text{Log}(2)}{\lambda}$$

**Activité:** On appelle activité d'une population de noyaux atomiques instables, notée  $a(t)$ , le nombre de désintégrations de cette population par unité de temps.

$$a(t) = \lambda N(t) = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = a_0 e^{-\lambda t}$$

Où:  $a_0$  est l'activité à l'instant  $t=0$  (s), appelée aussi **activité initiale**.

(\*) Un positon est une particule qui a une charge (+e) et une masse égale à celle d'un électron.

(\*\*) La désintégration est la destruction des noyaux atomiques.



- L'activité d'une source radioactive s'exprime en **Becquerel (Bq)**; 1 (Bq) est égal à une désintégration par seconde. On utilise aussi le **Curie (Ci)** qui correspond à  $3,7 \times 10^{10}$  (Bq).

### Rayonnement radioactif

Le rayonnement radioactif est constitué par les rayonnements particuliers ( $\alpha$  et  $\beta$ ) et électromagnétique  $\gamma$ .

### Interaction du rayonnement radioactif avec la matière

L'interaction du rayonnement radioactif avec la matière est liée au transfert d'énergie de ce rayonnement vers la matière ; c'est à dire à l'énergie transmise sous forme de chaleur par les particules  $\alpha$  et  $\beta$  et le photon  $\gamma$  (au moyen des électrons secondaires qu'il génère(\*\*)) aux atomes de la matière considérée.

La perte d'énergie dans la matière dépend de la nature et de l'énergie du rayonnement considéré; c'est à dire: Du rayonnement  $\alpha$ , du rayonnement  $\beta$  et du rayonnement  $\gamma$ .

**Pour le rayonnement particulaire (RP)**, le transfert est caractérisé par l'ionisation qu'il produit dans la matière qu'il traverse. Aussi, définit-on pour chaque matériau:

- La densité linéique d'énergie (DLI) comme le nombre d'ionisations produit par une particule par unité de longueur de matière traversée. On l'exprime en général en nombre d'ionisations par micromètre ( $\mu\text{m}$ ).

- Le transfert linéique d'énergie (TLE) comme l'énergie perdue par la particule par unité de longueur parcourue dans la matière considérée. Le TLE est aussi appelé **pouvoir d'arrêt** (\*\*\*\*) de la matière considéré; il est relié à la DLI par:

$$TLE = DLI \cdot W$$

Où: W est l'énergie moyenne perdue par la particule par ionisation.

- **Dans le cas du RP  $\alpha$** , la trajectoire des particules, en raison de leur lourdeur relative (noyau d'hélium), est presque linéaire. La longueur de cette trajectoire est de l'ordre de 4 (cm) dans l'air et de 50 ( $\mu\text{m}$ ) dans les tissus humains (essentiellement dans l'eau). Son DLI dans l'eau est de 5000 ionisations environ par ( $\mu\text{m}$ ).

- **Dans le cas du RP  $\beta$** , en raison de leur faible masse ( $m=m_{\text{électron}}$ ), la trajectoire des particules est une sorte de ligne brisée. Ce rayonnement est moins ionisant que le rayonnement  $\alpha$ .

A titre d'exemple, les particules  $\beta$  de 2 MeV parcourent 6 (m) dans l'air, 1(cm) dans l'eau et 3 (mm) dans l'aluminium; leur DLI dans l'eau est d'environ 10 ionisations par ( $\mu\text{m}$ ).

**Pour le rayonnement électromagnétique  $\gamma$** , selon leur énergie, les photons agissent sur les atomes, de la matière qu'ils traversent, de diverses façons (\*\*\*\*): Par effet photoélectrique ( $\tau$ ), par effet Compton ( $\sigma$ ) et par effet de matérialisation ( $\pi$ ). Ils ionisent fortement la matière qu'ils traversent par l'intermédiaire des électrons secondaires(\*\*) qu'ils produisent dans la matière.

Ce rayonnement est atténué par la matière selon la loi ci-après:

$$\phi(x) = \phi(x=0) e^{-\mu x} = \phi_0 e^{-\mu x}$$

Où:  $\phi(x)$ ,  $\phi(x=0)$  et  $\mu$  sont, respectivement, la puissance du rayonnement  $\gamma$  après un parcours x dans la matière, sa puissance avant son entrée dans la matière, et le coefficient d'atténuation linéique de la matière considéré pour cette radiation  $\gamma$ .

D'une manière générale, le coefficient  $\mu$  s'écrit comme suit (\*\*\*\*):

$$\mu = \frac{\sigma}{\rho} + \frac{\tau}{\rho} + \frac{\pi}{\rho}$$

$\rho$ ,  $\sigma/\rho$ ,  $\tau/\rho$  et  $\pi/\rho$  sont respectivement la masse volumique de la matière considérée et les coefficients d'atténuation massique pour les effets Compton, photoélectrique et de matérialisation (\*\*\*\*).

(\*\*\*\*) Pour plus d'informations, Cf. Tome 1 Rayonnements 2<sup>e</sup> Edition, de la collection SEP-mms / OPU.

### Atténuation d'un faisceau de photons par la matière

Du point de vue macroscopique, un faisceau de photons va être atténué lors de son passage dans la matière. Le nombre de photons n'ayant subi aucune interaction suit une loi de décroissance exponentielle, similaire à la loi de désintégration des noyaux (\*\*\*)). En notant  $N_0$  le nombre de photons initial (à gauche) et  $N(x)$  le nombre de photons n'ayant subi aucune interaction dans un matériau d'épaisseur  $x$  (à droite), cette loi s'écrit comme suit:

$$N(x) = N_0 e^{-\mu x}$$

On peut noter que si un photon survit au passage dans la matière, il a une énergie égale à son énergie initiale.

Le coefficient  $\mu$  s'appelle le **coefficient d'atténuation linéique**. Il s'exprime comme l'inverse d'une longueur.

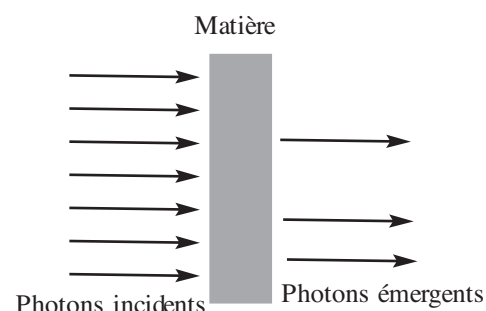
Le coefficient  $\mu$  est en fait le produit de deux termes  $n$  et  $s$ ; soit :

$$\mu = n \cdot s$$

Où:  $n$  est le nombre de noyaux par unité de volume dans la matière ( $\text{cm}^{-3}$ ) et  $s$ , la probabilité d'interaction des photons dans la matière. On notera que la probabilité  $s$  a la dimension d'une surface ( $\text{cm}^2$ ). De ce fait, on l'appelle **section efficace** de la matière considérée.

Pour un matériau donné, on définit, pour les rayonnements particuliers RP ( $\alpha$  et  $\beta$ ) et électromagnétique REM  $\gamma$ , l'épaisseur de demi-atténuation, appelée CDM.

Dans le cas du REM  $\gamma$ , elle vaut: 
$$CDM = \frac{\log(2)}{\mu}$$



### TRAVAUX PRATIQUES DE LA SÉANCE

#### Présentation du matériel de TP

Montrer aux étudiants le matériel de TP et notamment, les sources radioactives, le tube Géiger Muller et son électronique de comptage.

**Les sources radioactives ( $\alpha$  et  $\gamma$ )** sont dans les boîtes en bois et à l'intérieur des cylindres de protection en plomb. Pour étudier leur rayonnement, il n'est pas nécessaire de les retirer de la boîte. Cependant, on doit retirer le disque supérieur pour permettre au rayonnement de se propager vers l'extérieur.

**La source  $\beta$**  est fixée sur son support comme indiqué sur la photo ci-contre.

#### IMPORTANT

L'exposition, durant la séance de TP, aux rayonnements des sources radioactives utilisées dans ce TP (activité de l'ordre de  $5 \mu\text{Ci}$ ) ne présente aucun danger à la santé des étudiants et des enseignants. Cependant, bien que leurs activités soient très faibles, une exposition **permanente** à leurs rayonnements peut porter dangereusement atteinte à la santé. L'exposition permanente survient quand il y a ingestion ou inhalation d'éléments radioactifs et quand on vit (ou qu'on travaille) dans un endroit où se trouve ces sources radioactives. Aussi, les étudiants et les enseignants sont priés de se conformer **aux consignes de sécurité** ci-après.



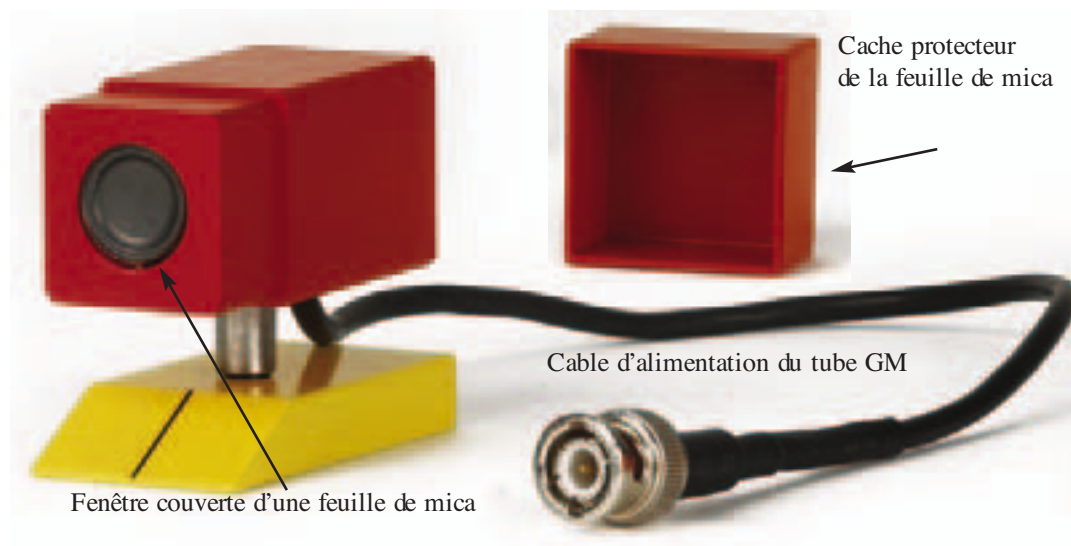
### Consignes de sécurité relatives à l'utilisation des sources radioactives.

Art.20 du décret n°86-1103 du 2 octobre 1986 (France)

- 1°- C'est l'enseignant qui donne les sources radioactives et qui vérifie leur retour.
- 2°- Il est strictement interdit de boire ou de manger dans la salle de travaux pratiques dédiée à la radioactivité.
- 3°- Les sources radioactives sont scellées et donc protégées de tout contact extérieur. Elles ne présentent pas de risque direct de contamination (contamination = ingestion ou inhalation d'éléments radioactifs). Par contre, ces sources présentent un risque d'irradiation, car les rayonnements émis par la source ionisent à distance. En conséquence, il est nécessaire de réduire l'exposition en jouant sur les paramètres temps, distance et écrans. En pratique :
  - Minimiser le temps de contact pendant le déplacement de la source,
  - Maintenir la source éloignée de votre emplacement de travail,
  - Replacer la source dans sa boîte individuelle en plomb dès que son utilisation n'est pas nécessaire.
- 4°- À la fin de la séance de travaux pratiques, remettre la boîte en plomb dans l'armoire de stockage.
- 5°- A la fin de la séance de TP, pensez à vous laver les mains !

#### Tube Géiger Muller

Le tube Géiger Muller qui sera utilisé dans la manipulation est représenté sur la photo ci-dessous. Quant à sa description et son principe de fonctionnement, ils sont donnés en annexe.

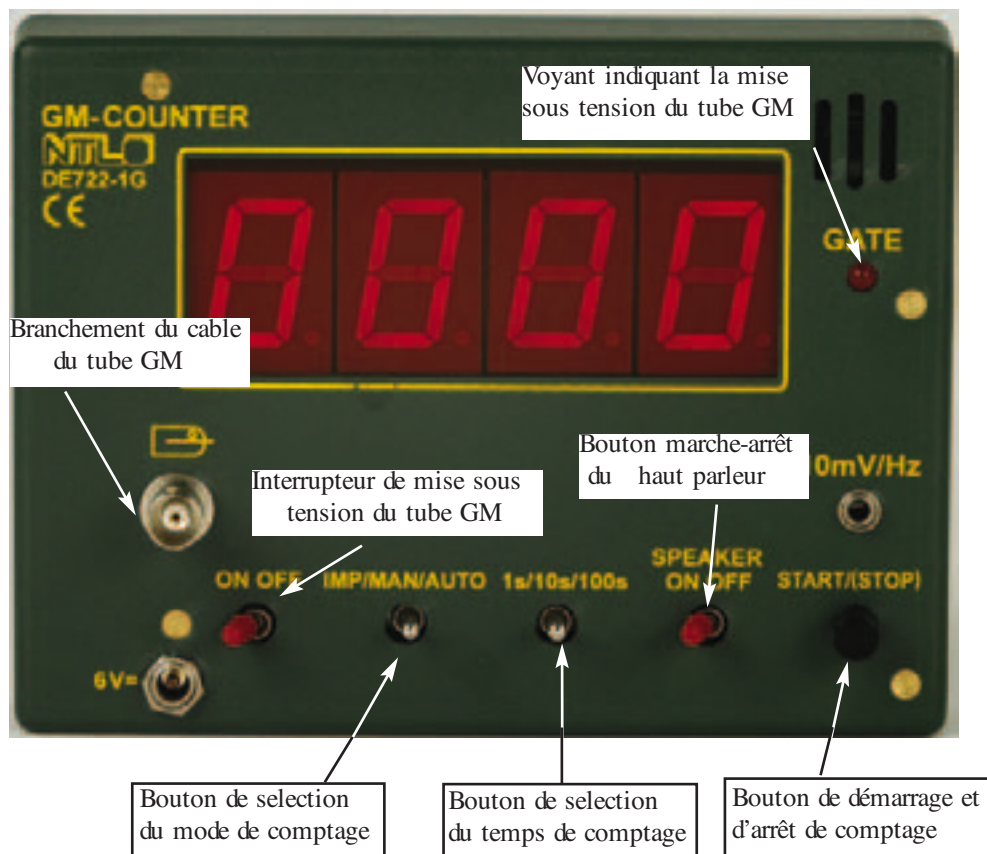


#### Compteur Geiger Muller

Le compteur électronique associé au tube GM, utilisé dans la manipulation, est représenté sur la photo ci-après.

- En **position IMP**, la durée du comptage est fixée par le manipulateur au moyen du Bouton de démarrage et d'arrêt de comptage.

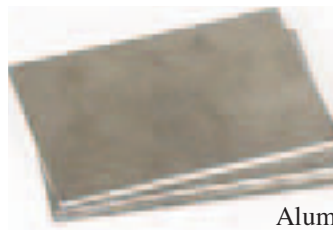
- En **position MAN** (ou **AUTO**), le temps de comptage est imposé par la position du Bouton de sélection du temps de comptage (1s, 10s ou 100s). Dans ces positions, le compteur s'arrête automatiquement au taux de comptage fixé. Cependant, le démarrage (ou le redémarrage) s'effectue au moyen du bouton Start/(stop).



Les plaques écrans et leur support sont représentés sur la photo suivante:



Plomb



Aluminium



Support de plaques

### La nappe magnétique.

La nappe magnétique et une vue complète de la chaîne de mesure est représentée sur la photo ci-après:

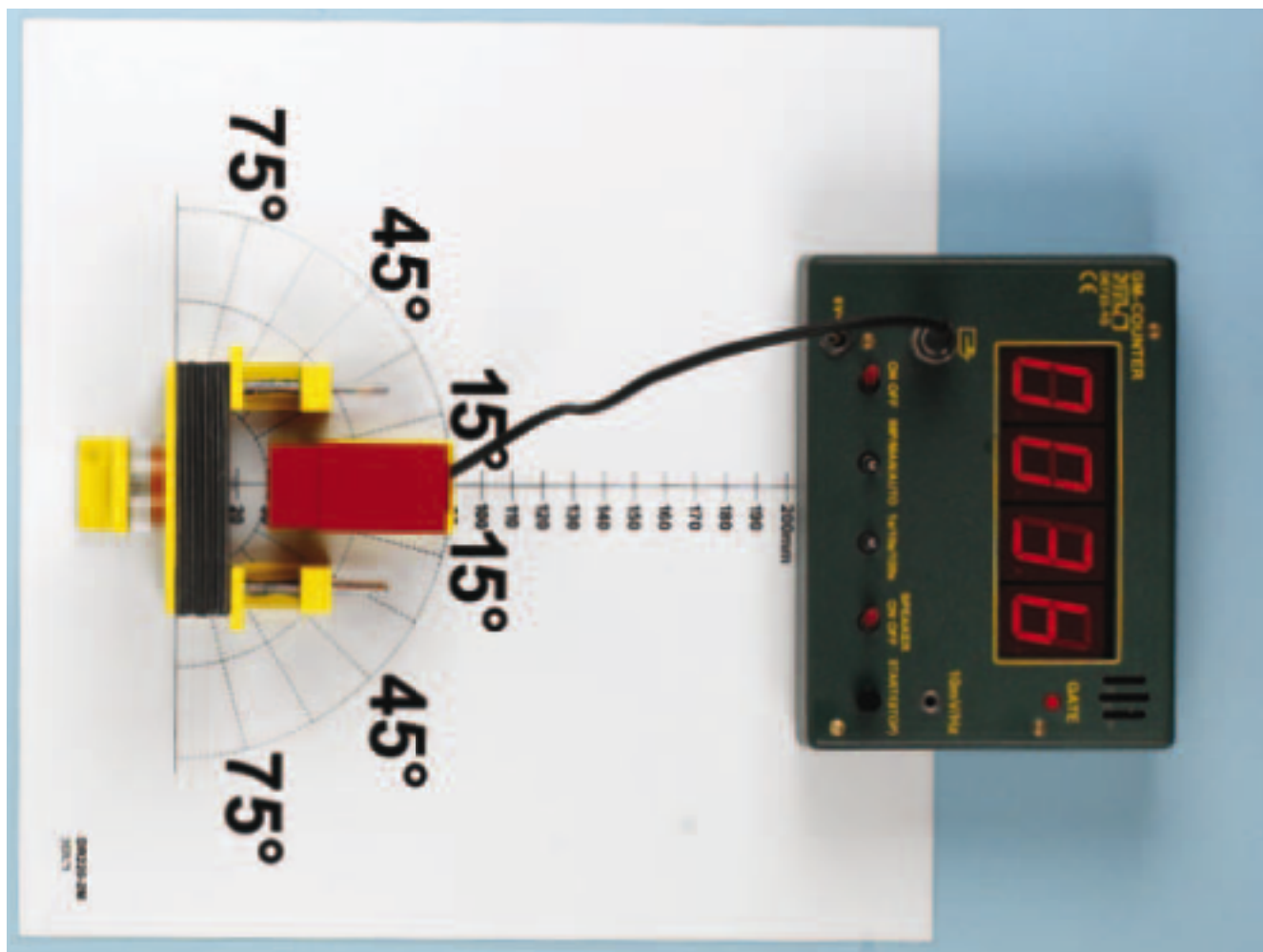
### MANIPULATION DE DÉMONSTRATION

(Dans toute la manipulation, on assimilera la source radioactive à une source ponctuelle)

Montrer aux étudiants:

- Le caractère aléatoire de l'émission radioactive.
- Que le rayonnement radioactif, reçu par le détecteur, est d'autant plus important que l'angle solide, sous lequel est vue la fenêtre du détecteur, à partir de S, est grand.
- Qu'en se plaçant à la même distance de la source radioactive, l'émission présente un maximum dans une direction qui ne dépend que de l'orientation de la source.
- Qu'en interposant un écran (plaque) entre la source et le détecteur, on atténue le rayonnement radioactif.

- Qu'en éloignant toutes les sources radioactives du détecteur GM, il subsiste un rayonnement radioactif qui correspond à la radioactivité naturelle.
- Que l'atténuation du rayonnement radioactif dépend:
  - 1- Du type de rayonnement considéré.
  - 2- De la nature des plaques écrans.
  - 3- De l'épaisseur du milieu matériel traversé par le rayonnement.



### MANIPULATION (Sur 15 points)

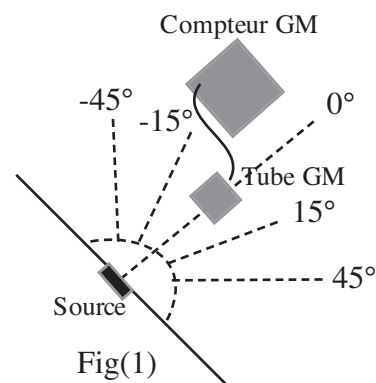
#### (Caractère et propriétés des rayonnements radioactifs)

Disposer, comme indiqué sur le schéma de la Fig(1): La nappe magnétique, la source radioactive  $\beta$ , le tube GM à 3,5 cm de la source puis, le compteur GM. Ensuite, brancher le tube GM à son compteur électronique.

1°- Pour chacune des directions  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $22,5^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $-15^\circ$ ,  $-22,5^\circ$  et  $-45^\circ$ , et pour une même distance tube GM-Source (3,5 cm), faites 10 mesures de 10 (s) chacune. Sur le compteur électronique GM, vous choisirez le mode MAN et bien sûr une durée 10 (s). Le démarrage d'une mesure s'effectue au moyen du bouton start/stop.

**NB:** Tant que le voyant **gate** n'est pas éteint, la durée fixée n'est pas écoulée. Par conséquent, la mesure considérée n'est pas terminée.

Consigner les résultats des mesures et le nombre moyen de coups, pour chacune des directions, dans le tableau  $T_1$ .





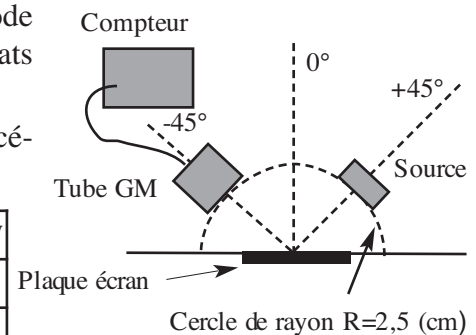
Direction	Mesures	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	Moy
+45°	Nbre de coups											
+22,5°	Nbre de coups											
+15°	Nbre de coups											
0°	Nbre de coups											
-15°	Nbre de coups											
-22,5°	Nbre de coups											
-45°	Nbre de coups											

Tableau T<sub>1</sub>

**2°-** Sur un demi cercle de 2,5 (cm) de rayon, disposer le détecteur GM, la source  $\beta$  et le support de plaques (avec un écran), comme indiqué sur la Fig(2). Ensuite, choisissez le mode MAN et une durée de 10 (s) puis, faites 10 mesures. Consigner les résultats de mesures dans la 1<sup>re</sup> rangée du tableau T<sub>2</sub>.

Enlever la plaque avec son support puis, refaites les mesures précédentes. Consigner les résultats obtenus dans la 2<sup>de</sup> rangée du tableau T<sub>2</sub>.

Mesures	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	Moy
Nbre de coups											
Nbre de coups											

Tableau T<sub>2</sub>

Fig(2)

**3°-** Débarrasser, provisoirement, votre paillasse de toutes les sources radioactives. Ensuite, choisir le mode IMP sur le compteur GM et relever le nombre de coups sur une période de 15 (mn). En déduire le nombre moyen  $N_0$  de coups pour une période de 10 (s).

**4°-** Sur la nappe magnétique, disposer la source  $\beta$  et le détecteur GM comme indiqué sur la Fig(1). Ensuite, Pour des intervalles de temps de 10 (s), relever le long de l'axe de direction 0° et pour les distances x du tableau de mesures T<sub>3</sub>, six (6) mesures par position. Consigner les nombres de coups moyens dans le tableau T<sub>3</sub>, où x est la distance entre source et la fenêtre du tube GM.

x (mm)	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120
Nbre de coups moy													

Tableau T<sub>3</sub>

**5°-** Sur la nappe magnétique, disposer le support de la source  $\beta$  (avec sa source) à son emplacement. Ensuite, procéder aux opérations suivantes:

**5.1-** Placer la fenêtre du détecteur le long de l'axe 0° de manière à ce que le détecteur touche la source. Ensuite, déterminer, à partir de 6 mesures, le nombre moyen de coups, N, pour une durée de 10 (s).

**5.2-** Au moyen du porte plaques, interposer, de façon progressive, des plaques d'aluminium entre la source  $\beta$  et la fenêtre du détecteur. Ensuite, déterminer, pour chaque épaisseur d'écrans, e, et pour une période de 10 (s) le nombre moyen de coups enregistré par le compteur; on prendra six (6) mesures par épaisseur. Consigner les résultats obtenus dans le tableau T<sub>5</sub>.

e (mm)	0	2	4	6	8	10
Nbre de coups moy						

**5.3-** Répéter l'opération 5.2 pour les plaques de Pb, de plexiglas et d'acier.

**6°-** Répéter le 5° avec une source  $\gamma$ .

### Dépouillement et résultats

**1°-** Pourquoi le nombre de coups détectés par le compteur GM, pendant les 10 intervalles de temps de 10 (s) chacun et pour une même direction, sont différents?

**2°-** Pourquoi le nombre moyen de coups détectés par le compteur GM dépend de l'orientation de la source radioactive (direction)?

**3°-** Sur une feuille de papier, représenter la source S et les demi-axes  $0^\circ$ ,  $+15^\circ$ ,  $+22,5^\circ$ ,  $+45^\circ$ ,  $-15^\circ$ ,  $-25,5^\circ$  et  $-45^\circ$ . Ensuite, tracer, en choisissant une échelle adéquate et sur les demi-axes précédents, des segments de droite dont la longueur est proportionnelle au nombre de coups moyen relevé et, ayant une extrémité confondue avec S. Commenter le résultat obtenu. Conclusion.

**4°-** Comparer le nombre moyen de coups des deux rangées du tableau  $T_3$ . Commentez le résultat? Conclusion.

**5°-** Que représente le nombre  $N_0$ ?

**6°-** En utilisant le tableau  $T_4$ , tracer le graphe du Nbre de coups moy en fonction de  $x$ . Interpréter le graphe. Quelles conclusion en tirez-vous?

**7°-** Tracer et interpréter les graphes du Nbre moy de coups en fonction de  $x$  pour le plexiglas, le plomb et l'acier.

**8°-** Reprendre les questions 6° et 7° pour le rayonnement  $\gamma$ .

**9°-** Quelle conclusion en tirez vous de cette manipulation ?

## ANNEXE

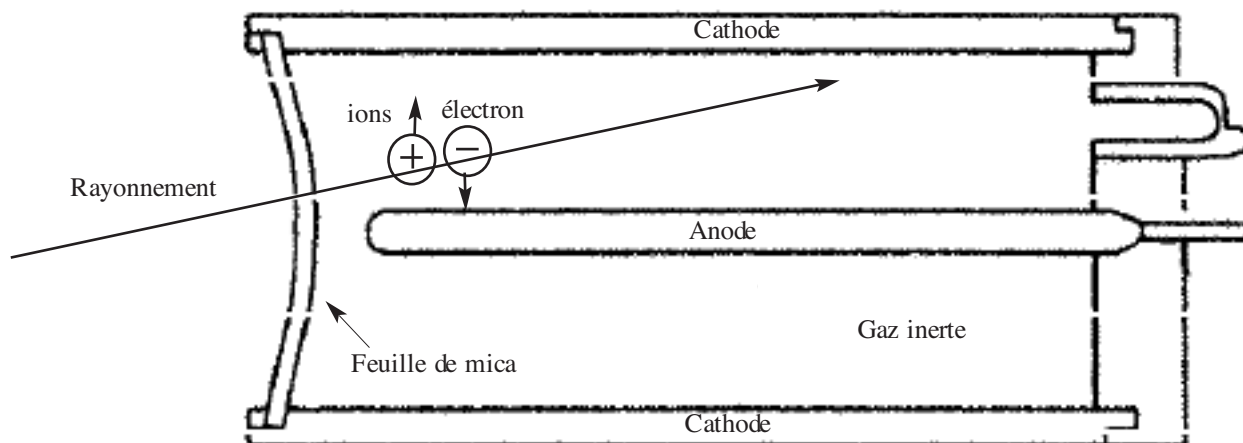
### LE TUBE COMPTEUR GEIGER MULLER ( TUBE GM)

#### Description:

Le tube compteur Geiger Muller (GM) est constitué d'un cylindre métallique et d'un axe en tungstène (Un condensateur cylindrique). Le cylindre, relié à la masse, forme la cathode et le fil de tungstène forme l'anode. L'intérieur du cylindre est rempli d'un mélange de gaz inerte (argon ou néon) à une pression de l'ordre de 100 (mmHg) et d'un gaz d'amortissement (vapeur de gaz halogène) à une pression d'environ 10 (mmHg).

Pour permettre aux particules ionisantes de rentrer à l'intérieur du détecteur, l'une des extrémités du tube est bouchée par une très fine feuille de mica.

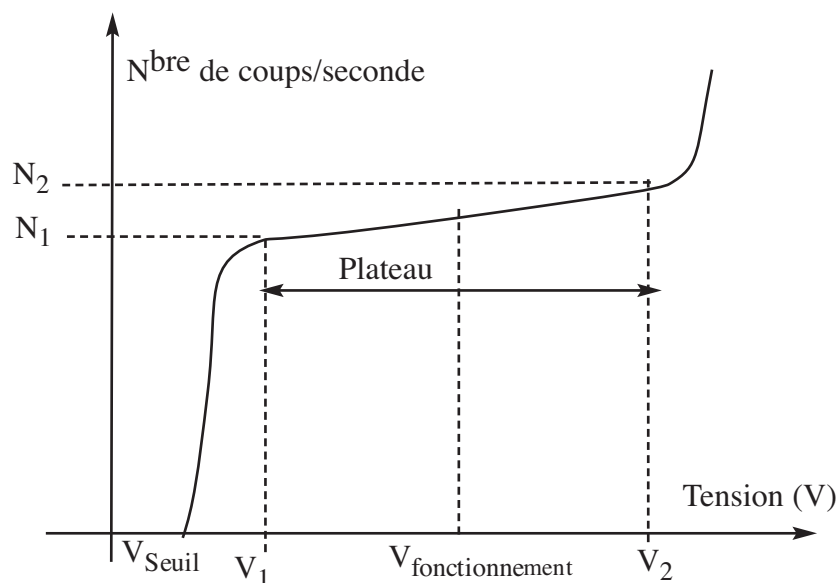
La vue en coupe d'un tube Géiger Muller est donnée ci- après.



Pour faire fonctionner le tube GM, on applique une différence de potentiel de quelques centaines de volts entre l'anode et la cathode afin d'obtenir un champ électrique radial important au voisinage du fil d'anode.

Lorsqu'une particule (ou un photon) traverse le gaz interne, elle ionise le gaz : Production de paires ions-électrons (environ 10 par cm de gaz, c'est très faible). Sous l'influence du champ électrique qui règne dans la chambre, les électrons vont être accélérés en direction du fil central et acquérir une grande vitesse sur une courte distance. Cette vitesse élevée va permettre à ces électrons d'ioniser à leur tour d'autres atomes, et de libérer de nouveaux électrons. Cette multiplication des charges se répète très rapidement et produit une avalanche d'électrons autour du fil anodique : Cela permet d'amplifier plus d'un million de fois le signal initial qui était très faible. Il faut environ **0,2 millisecondes** pour que les ions issus de l'avalanche soient évacués. Pendant ce temps, le compteur est aveugle. Ce qui veut dire que toute nouvelle particule ionisant le gaz ne donnera aucun signal électrique. Ceci génère **un temps mort** et le compteur ne sera donc pas capable de mesurer un taux de comptage supérieur à ~5000 coups par seconde. C'est une des limitations de ce type de détecteur.

Le taux de comptage d'un compteur GM va dépendre de la tension appliquée entre l'anode et la cathode:



Si la tension est trop faible, les électrons d'ionisation se recombinent avec les ions et on ne mesure aucun signal électrique. Au delà d'une tension seuil  $V_{\text{seuil}}$ , on observe un signal lié à l'avalanche des électrons d'ionisation sur le fil anodique. Cette tension seuil est fonction du gaz utilisé et du diamètre de l'anode. Au delà de cette tension seuil, de plus en plus de coups sont mesurés. Cependant, sur une plage importante de tensions, ce nombre de coups est quasiment indépendant de la tension appliquée. On appelle cette zone le plateau. Le point de fonctionnement  $V_{\text{fonct.}}$  est choisi au milieu du plateau (**500 (V) dans le cas GM utilisé dans ce TP**) comme indiqué sur la figure ci-dessus.

## STATISTIQUE DE COMPTAGE - MESURE D'UNE GRANDEUR ALÉATOIRE

Quand on mesure certaines grandeurs physiques, on n'obtient pratiquement jamais le même résultat même si les conditions expérimentales sont identiques. Ces fluctuations sont caractérisées par la probabilité de mesurer chaque valeur, qui dépend de la nature de la grandeur mesurée mais aussi de l'appareil de mesure.

**TP n°4**  
**Etude cinématique de la chute ralentie d'un corps**

**OBJECTIF:** l'objectif visé par ce TP est d'apprendre à l'étudiant comment déterminer les paramètres cinématiques d'un mobile (vitesse: moyenne et instantanée et accélération moyenne et instantanée).

**Matériel proposé:**

- Une sonnette fixée sur un support en bois avec son fil d'alimentation électrique.
- Une noix de fixation du support en bois sur la table de travail.
- Un disque en papier carbone.
- Une bande de papier blanc.
- Un corps de masse 200 (g).
- Un élastique de masse négligeable

**N.B:** En raison de l'insuffisance du matériel de manipulation, un seul exemplaire de la manipulation sera monté par laboratoire. La manipulation qui consiste à enregistrer le mouvement d'un mobile se fera, devant les étudiants, par l'enseignant responsable de la séance de TP. Ensuite, les étudiants travailleront sur l'enregistrement du document de la page 4.

**MANIPULATION**

- Sur le bord de la table et comme indiqué sur le schéma ci-contre, fixer le support en bois de la sonnette.

- Sur la partie horizontale du support de la sonnette, faites les opérations suivantes:

1°- vérifier que la punaise se trouve sous le marteau de la sonnette.

2°- Vérifier que la bande de papier peut coulisser librement entre les clous de guidage de la bande de papier qui y sont plantés.

3°- Enfoncer le disque en papier carbone, sur le clou central, de manière à ce qu'il puisse tourner librement, autour de ce clou, et qu'il couvre en permanence la punaise, qui assure le rebond du marteau de la sonnette.

4°- Placer la bande de papier de manière à ce qu'elle passe sous le disque en papier carbone et qu'elle puisse coulisser entre les clous de guidage.

5°- En tirant sur la bande de papier, vérifier qu'elle entraîne, par frottement, le disque en papier carbone (le disque doit tourner autour du clou central).

6°- Fixer l'une des extrémités de l'élastique au corps A et l'autre au support de la sonnette, comme indiqué sur la figure.

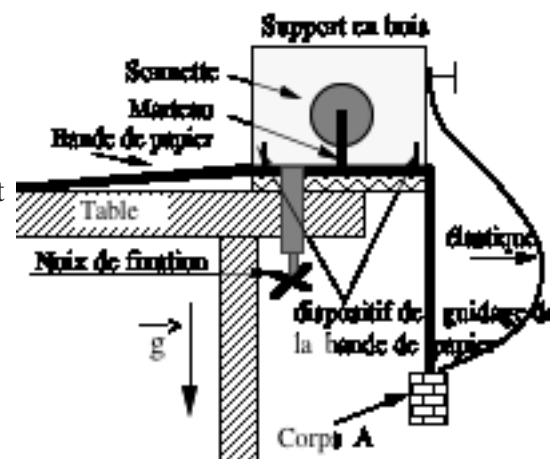
7°- Fixer, au moyen d'un morceau de scotch, l'une des extrémités de la bande de papier au corps A.

8°- Ramener le corps A à 1 mètre du sol (le corps A doit se trouver au dessous du support de la sonnette. Si ce n'est pas possible, noter la distance séparant le corps A du sol).

9°- Mettre en marche la sonnette puis, abandonner le corps A dans les secondes qui suivent.

10°- Quand le mouvement descendant de A est interrompu, arrêter la sonnette et retirer la bande de papier du corps A.

**Important:** La bande de papier doit comporter une succession de marques (points noirs). Si ce n'est



pas le cas, vérifier l'état du disque en papier carbone (le disque ne doit pas présenter de trous. Dans le cas contraire, changer le disque en papier carbone) et le fonctionnement normal de la sonnette (le marteau doit rebondir sur la punaise. Si ce n'est pas le cas, rapprocher la sonnette de la punaise sans pour autant gêner le défilement de la bande de papier) puis, refaire l'enregistrement.

Sur la bande de papier, bien enregistrée, la distance séparant deux marques successives est celle parcourue par le corps A en  $1/100$  de seconde, durant sa chute.

### La séance de TP sera consacrée à l'étude du mouvement du corps A.

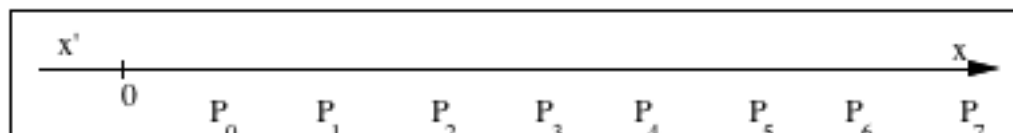
Sur le document de travail de la page 4, on a reproduit l'enregistrement de la chute ralentie par un élastique du corps A. Dans cet enregistrement, analogue à celui que l'enseignant de TP a effectué devant vous, le point de chute du corps A est situé à 1 (m) du sol.

On vous propose d'étudier le mouvement de A sur l'enregistrement du document de travail. Pour l'étude de ce mouvement, un intervalle de temps  $\Delta t_{\text{étude}} = 0,04$  (s) est jugé, à priori, très petit (\*). De ce fait, on a reproduit, dans l'enregistrement du document de travail, que les points successifs séparés de 0,04 (s) l'un de l'autre. Sur ce document, les points  $P_i$  ( $i=0, 1, 2, \dots$  et 7) représentent les positions, de A aux instants  $t_i = t_0 + i\Delta t_{\text{étude}}$ ,  $i=0, 1, 2, \dots$  et 7.  $t_0 \neq 0$  (s) est l'instant de passage de A au point  $P_0$ .

### Dépouillement de l'enregistrement

Le mouvement du corps A étant rectiligne (chute verticale), on a appelé  $x$  l'axe vertical qui contient sa trajectoire. Sur cet axe, orienté vers le bas, on a repéré les points,  $P_i$ , par leurs abscisses  $x_i$  ( $i=0, 1, 2, \dots$  et 7), de telle sorte que  $x=0$  (cm) corresponde au début du mouvement ( $t=0$  (s)).

Au moyen d'une règle graduée, mesurer les distances séparant les points  $P_1, P_2, \dots$  et  $P_7$  de  $P_0$  puis, consigner les dans le tableau de mesures  $T_1$ , ci- après.

								
$x - x_0$ (cm)								
$t - t_0$ (s)								

**N.B:**  $x_0$  est l'abscisse du point  $P_0$  et  $t_0$  est l'instant de passage de A par ce point

Tableau  $T_1$

### Exploitation des résultats du dépouillement

#### 1°- Diagramme des espaces

1.1- A partir du tableau de mesures  $T_1$ , tracer le diagramme des espaces de A; c'est à dire: Le graphe  $(x - x_0) = f(t - t_0)$ .

1.2- Déduire du diagramme des espaces du 1.1, la position de A, par rapport à  $P_0$ , à l'instant  $t = t_0 + 0,14$  (s).

#### 2°- Diagramme des vitesses

2.1- Sur le diagramme des espaces du 1.1, vérifier que la longueur de toute portion du graphe dont l'intervalle de temps est de 0,04 (s) est assimilable à celle de sa corde. Conclusion.

2.2- En assimilant la vitesse moyenne du corps A, prise sur un intervalle de temps de 0,04 (s), à sa vitesse instantanée, au milieu de cet intervalle de temps, compléter le tableau de mesures  $T_2$ , ci-après.

2.3- Tracer, en utilisant le tableau de mesure de la question 2.2, le diagramme des vitesses de A; c'est à dire: Le graphe  $V = f(t - t_0)$ .



2.4 - A partir du diagramme des vitesses de A, déterminer:

- a- La valeur numérique de  $t_0$  ainsi que la distance parcourue par A à l'instant  $t_0$ .
- b- La nature des différentes phases du mouvement de A.
- c- Les durées des deux premières phases du mouvement de A ainsi que la distance parcourue par A, dans chacune d'elles.
- d- L'instant  $t_x$  ou la vitesse de A est maximale. Ensuite, déterminer, par la méthode qui vous semble appropriée, l'accélération de A à cet l'instant  $t=t_x$ .
- e - L'accélération de A dans la première phase de son mouvement.

	$P_0$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_6$	$P_7$
$x-x_0$ (cm)								
$t-t_0$ (s)								
$\Delta x$ (cm)								
$V$ (cm/s)								

Tableau  $T_2$ 

### 3°- Diagramme des accélérations

3.1- Sur le diagramme des vitesses du 2.3, vérifier que la longueur de toute portion du graphe dont l'intervalle de temps est de 0,04 (s) est assimilable à celle de sa corde. Conclusion.

3.2- En assimilant l'accélération moyenne du corps A, prise sur un intervalle de temps de 0,04 (s), à son accélération instantanée, au milieu de cet intervalle de temps, compléter le tableau de mesures  $T_3$ , ci-après.

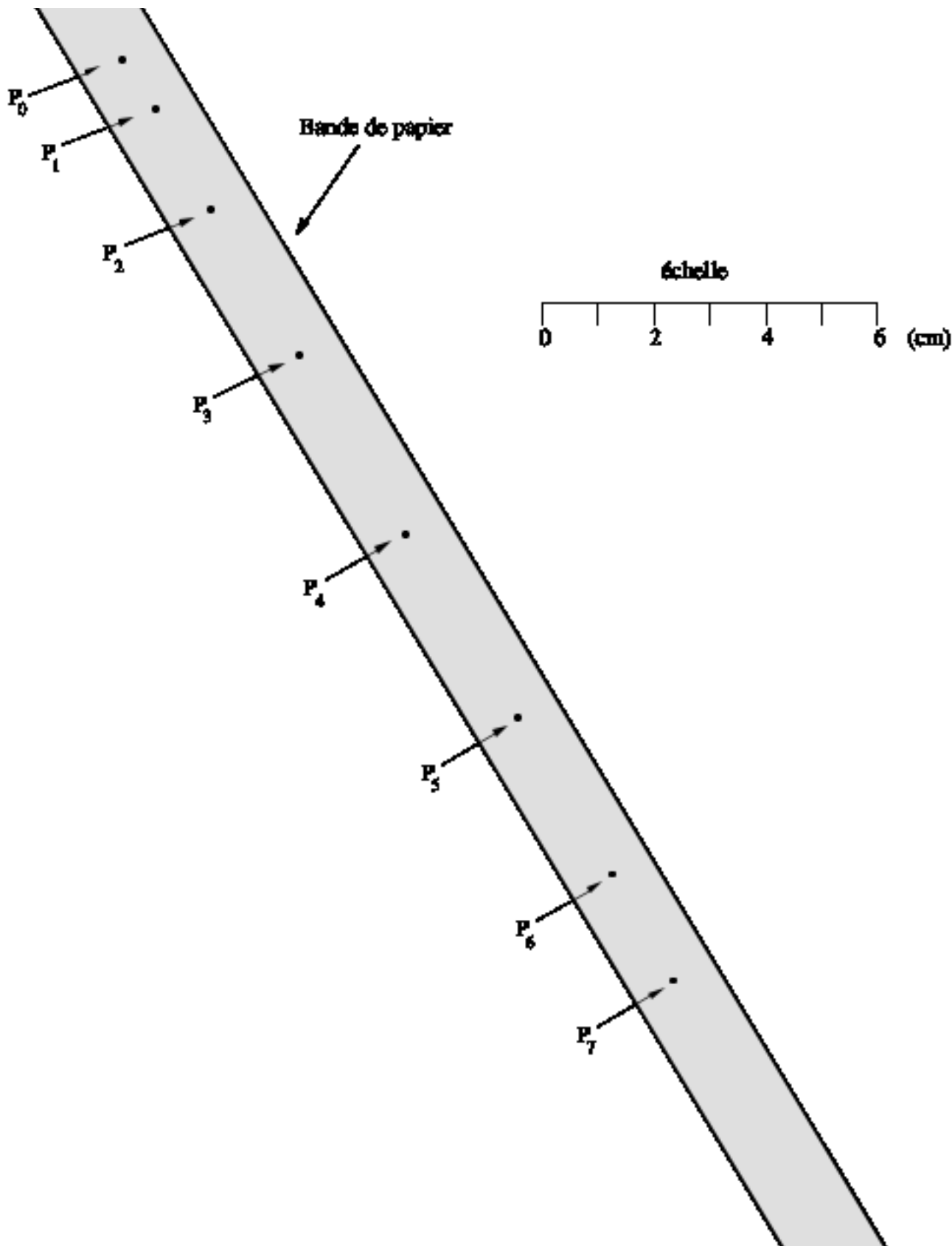
	$P_0$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_6$	$P_7$
$x-x_0$ (cm)								
$t-t_0$ (s)								
$\Delta x$ (cm)								
$V$ (cm/s)								
$\Delta V$ (cm/s)								
$a$ (cm/s <sup>2</sup> )								

Tableau  $T_3$ 

3.3- A partir du tableau de mesures  $T_3$ , tracer le diagramme des accélérations de A.

3.4- A partir du diagramme des accélérations de A, évaluer la variation de vitesse entre les instants  $t=t_0$  et  $t'=t_0+0,08$  (s). Ensuite, comparer ce résultat avec celui que l'on peut lire sur le diagramme des vitesses de A. Conclusion.

DOCUMENT DE TRAVAIL



## GONIOMÈTRE

## Sujet n°1

SNV et STU

## Matériel proposé:

- Un goniomètre complet
- Une source de lumière produite par une lampe au Cd.
- Un prisme

## Manipulation et questions

- 05 1°- Sans toucher au collimateur, déterminer, en degrés et en minutes d'angle, le zéro du goniomètre .
- 2°- Dans cette question, on appellera, A, l'angle du prisme qui est repéré par la couleur bleue. Pour le prisme d'angle A, déterminer:
- 05 2.1- La valeur numérique de A, en degrés et en minutes d'angle.
- 05 2.2- La déviation minimale pour la raie de couleur .....X<sub>1</sub>g..... , en degrés et en minutes d'angle .
- 

## Sujet n°2

SNV et STU

## Matériel proposé:

- Un goniomètre complet
- Une source de lumière produite par une lampe au Cd.
- Un prisme

## Manipulation et questions

- 05 1°- Sans toucher au collimateur, déterminer, en degrés et en minutes d'angle, le zéro du goniomètre.
- 2°- Dans cette question, on appellera, A, l'angle du prisme qui est repéré par la couleur bleue.
- 05 2.1- Placer le prisme d'angle A sous une incidence  $i_0 = \dots X_2 g \dots$  puis, déterminer, en degrés et en minutes d'angle, la déviation totale subie par la raie de couleur ....Y<sub>2</sub>g.... .
- 05 2.2- Déterminer, en degrés et en minutes d'angle, la déviation minimale pour la raie de couleur ...Z<sub>2</sub>g.
- 

## Sujet n°3

SNV et STU

## Matériel proposé:

- Un goniomètre complet
- Une source de lumière produite par une lampe au Cd.
- Un prisme

## Manipulation et questions

- 05 1°- Sans toucher au collimateur, déterminer, en degrés et en minutes d'angle, le zéro du goniomètre.
- 2°- Dans cette question, on appellera, A, l'angle du prisme qui est repéré par la couleur bleue. Sa valeur est ....X<sub>3</sub>g.... .
- Dans le prisme d'angle A, déterminer:
- 05 2.1- La valeur de la déviation minimale, en degrés et en minutes d'angle, pour la raie de couleur .....Y<sub>3</sub> g..... .
- 05 2.2- La valeur numérique, à quatre décimale, de l'indice de réfraction du prisme pour la raie de couleur ...Z<sub>3</sub>g.. .

## RÉFRACTION

SNV et STU

## Sujet n°1

## Matériel proposé:

- Une nappe en caoutchouc.
- Un bloc de verre de forme semi cylindrique.
- Trois épingles.

## Manipulation et questions

Sur une feuille de papier, tracer deux droites perpendiculaires(  $x'x$  et  $y'y$ ). Au point d'intersection, O, de ces droites, tracer un demi cercle de centre O et de rayon 6 (cm). Ensuite, poser la feuille de papier sur la nappe en caoutchouc puis, disposer le bloc semi cylindrique de manière à faire coïncider son centre de courbure avec celui du demi cercle et son diamètre avec la droite  $y'Oy$ . Sur ce dernier, repérer deux points  $P_1$  et  $P_2$  tels que:  $P_1Ox = \dots X_1(^{\circ})$  et  $P_2Ox = \dots Y_1(^{\circ})$ .

04 1°- Tracer la suite des rayons lumineux, issus de  $P_1$  et de  $P_2$  et émergeant par le point O. Ensuite, déterminer, en degré et en radian, les angles de réfraction de ces rayons lumineux.

2°- Sur le même bloc et dans les mêmes conditions que précédemment, on a déterminé les angles de réfraction de quatre autres rayons lumineux, issus de  $P_3$ , de  $P_4$ , de  $P_5$  et de  $P_6$  et, émergeant par le point O. Les résultats sont consignés dans le tableau de mesures suivant:

Point de départ du rayon lumineux.	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_6$
Angle d'incidence " $i$ " en ( $^{\circ}$ )			....	....	....	....
en (rd)			....	....	....	....
Angle de réfraction " $r$ " en ( $^{\circ}$ )			....	....	....	....
en (rd)			....	....	....	....

08 2.1- Tracer le graphe .... $Z_1$ ...

03 2.2- Déduire du graphe précédent la valeur moyenne de l'indice de réfraction du verre pour la lumière blanche. .

## Sujet n°2

SNV et STU

## Matériel proposé:

- Une nappe en caoutchouc.
- Un bloc de verre de forme prismatique
- Quatre épingles.

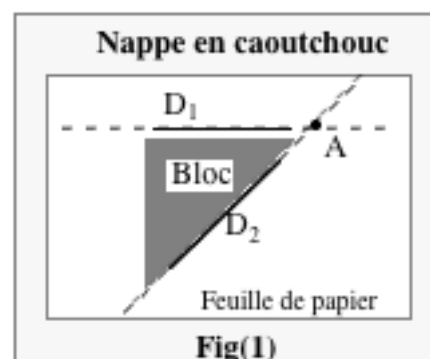
## Manipulation

- Sur une feuille de papier, poser le bloc de verre de forme prismatique puis, tracer, au moyen d'un crayon et des faces de ce bloc, deux segments de droite  $D_1$  et  $D_2$  (Cf. Fig(1)).

- Retirer le bloc de la feuille de papier puis, déterminer le sommet, A, du prisme en prolongeant les segments de droite  $D_1$  et  $D_2$ .

- A 2 (cm) de A et sur l'une des traces des faces du bloc qui forment l'angle A, pointer un point I puis, tracer la perpendiculaire N, passant par I, à  $D_1$  (ou à  $D_2$ ).

- Au point I, tracer un quart de cercle, de centre I et de rayon 4 à 5 (cm), qui coupe la normale N et le segment de droite  $D_1$  (ou  $D_2$ )

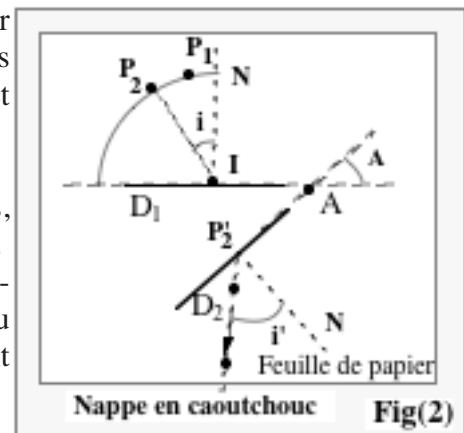


- Sur le quart de cercle précédent (Fig(2)), pointer, à partir de la normale  $N$ , deux points  $P_1$  et  $P_2$ , de manière à ce que les angles  $(NI, IP_1)$ , et  $(NI, IP_2)$  valent respectivement:  $\dots X_2(^{\circ})$  et  $Y_2(^{\circ})$ .

- Tracer les segments de droite  $P_1I$  et  $P_2I$ .

- Poser la feuille de papier sur la nappe en caoutchouc puis, le bloc de manière à ce que ses faces coïncident avec  $D_1$  et  $D_2$ .

02 - Au moyen de deux épingles, matérialiser le rayon lumineux, issu de  $P_1$  et abordant le prisme en  $I$ . Ensuite, tracer, au moyen des deux autres épingles et par visée, le rayon émergent correspondant. Répéter l'opération pour le point  $P_2$ .



### Questions

02 1°- Au moyen d'un rapporteur, mesurer l'angle  $A$  du prisme et les angles d'incidence,  $i$ , et d'émergence,  $i'$ , des deux rayons lumineux.

2°- Dans les mêmes conditions que précédemment, on a repéré 5 autres points sur le demi cercle ( $P_3, P_4, P_5, P_6$  et  $P_7$ ) puis, on a répété l'opération, effectuée à  $P_1$ , pour ces 5 points. Les angles d'incidence,  $i$ , et d'émergence,  $i'$ , que nous avons mesurés sont consignés dans le tableau ci-dessous.

Points de mesures	1	2	3	4	5	6	7
" $i$ " en ( $^{\circ}$ )			.....	.....	.....	.....	.....
" $i'$ " en ( $^{\circ}$ )			.....	.....	.....	.....	.....
$[(i + i') - A]$ en ( $^{\circ}$ )							

11x0,25

05 2.1- Compléter le tableau de mesures ci-dessus puis, tracer le graphe  $(i+i'-A)=f(i)$ .

03,25 2.2- Dédurre du graphe précédent la valeur moyenne de l'indice de réfraction du verre pour la lumière blanche.

### RÉFLEXION

Sujet n°1

SNV et STU

#### Matériel proposé:

- Une nappe en caoutchouc.
- Une glace
- Quatre épingles.

#### Manipulation et questions

- Au milieu d'une feuille de papier, tracer deux droites  $x'Ox$  et  $y'Oy$ , perpendiculaires au point  $O$  (Cf. Figure ci-contre)..

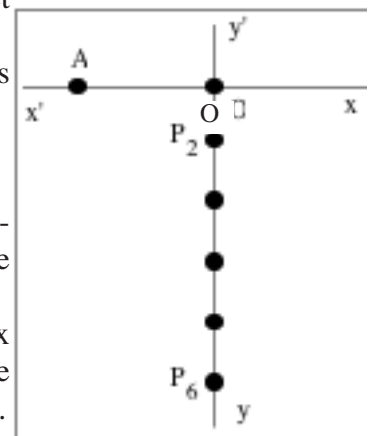
- A  $X_1$  (cm) et  $Y_1$  (cm) de  $O$  (Sur la portion  $Oy$ ), pointer les points  $P_2$  et  $P_6$ .

- A 8 (cm) de  $O$  (Sur la portion  $x'O$ ), pointer le point  $A$ .

- Tracer les segments de droite  $AP_2$  et  $AP_6$ .

- Poser la feuille de papier sur la nappe en caoutchouc puis, disposer la glace perpendiculairement à la feuille de papier de manière à ce que les points précédents soient sur sa face réfléchissante.

1°- Au moyen de deux épingles, matérialiser le rayon lumineux  $AP_2$  puis, tracer, au moyen des deux autres épingles, sa partie réfléchiée par la glace. Répéter la même opération pour le segment de droite  $AP_6$ .





2°- Mesurer, en degré et au moyen d'un rapporteur, les angles d'incidence et de réflexion des rayons lumineux  $AP_2$  et  $AP_6$ .

3°- Dans les mêmes conditions que précédemment, on a repéré, sur la portion de droite Oy, quatre autres points ( $P_1$ ,  $P_3$ ,  $P_4$  et  $P_5$ ). Ensuite, on a:

- Matérialisé les rayons incidents  $AP_i$  ( $i=1, 3, 4$  et  $5$ ).
- Tracé les rayons réfléchis correspondants.
- Mesuré les angles d'incidence,  $i$ , et réfléchi,  $i'$ , correspondants.
- Consigné les valeurs des angles d'incidence et de réflexion dans le tableau de mesures ci-après:

Point d'incidence	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_6$
Angle d'incidence $i$ en ( $^\circ$ )	.....		.....	.....	.....	
Angle de réflexion $i'$ en ( $^\circ$ )	.....		.....	.....	.....	

4x0,25

Tracé des rayons réfléchis

2x1,50

- 05 3.1 - Compléter le tableau de mesures ci-dessus puis, tracer le graphe  $i'$  ( $^\circ$ ) en fonction  $i$  ( $^\circ$ ).
- 03 3.2 - Peut-on établir une loi mathématique simple donnant  $i'$  en fonction de  $i$  ? Comment ?
- 03 3.3 - La loi de la réflexion de Snell-Descartes est-elle vérifiée dans ce cas ? Si non, quelles sont, à votre avis, les principales sources d'erreurs ?

## Sujet n°2

## SNV et STU

## Matériel proposé:

- Une nappe en caoutchouc.
- Une glace
- Quatre épingles.

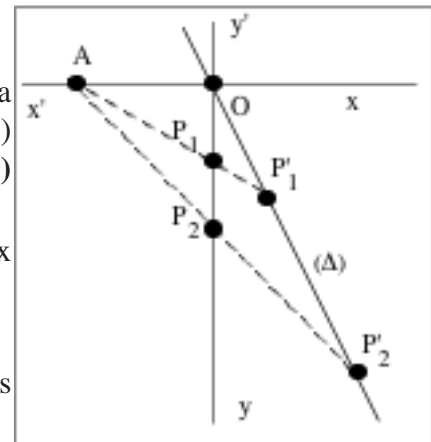
## Manipulation et questions

- Au milieu d'une feuille de papier et comme indiqué sur la figure ci-contre, tracer deux droites perpendiculaires ( $x'Ox$  et  $y'Oy$ ) et une autre droite (D), passant par O et faisant un angle  $\alpha = X_2$  ( $^\circ$ ) avec Oy.

- A  $Y_2$  (cm) et  $Z_2$  (cm) de O (Sur la portion Oy), pointer deux points  $P_1$  et  $P_2$ .

- A 8 (cm) de O (Sur la portion  $x'O$ ), pointer le point A.

- Comme indiqué sur la figure ci-contre, tracer les segments de droite  $AP'_1$  et  $AP'_2$ , passant, respectivement, par  $P_1$  et  $P_2$ .



1,50 1°- Poser la feuille de papier sur la nappe en caoutchouc puis, matérialiser, au moyen de deux épingles, le rayon lumineux  $AP_1$ .

1,50 1.1- Disposer la glace perpendiculairement à la feuille de papier de manière à ce que les points  $P_1$  et  $P_2$  soient sur sa face réfléchissante. Ensuite, tracer, au moyen des deux autres épingles, le rayon lumineux réfléchi par la glace.

1,50 1.2- Déplacer la glace de manière à ce que les points  $P'_1$  et  $P'_2$  soient sur sa face réfléchissante puis, tracer, au moyen des deux autres épingles, le rayon lumineux réfléchi par la glace, dans sa deuxième position..

2x1,50 1.3- Répéter les opérations 1.1 et 1.2 pour le rayon lumineux  $AP_2$ .

2°- Pour les deux positions de la glace, mesurer, en degré et au moyen d'un rapporteur, les angles d'incidence et de réflexion des rayons lumineux  $AP_1$  et  $AP_2$ . 8x0,50

3°- Déterminer les déviations  $D_1$ ,  $D'_1$ ,  $D_2$  et  $D'_2$ , induites par la glace aux rayons lumineux  $AP_1$  et  $AP_2$  pour ses deux positions. 4x1,50

1,50 4°- Comparer l'angle  $\alpha$  à  $(D_1 - D'_1)$  et à  $(D_2 - D'_2)$ . Conclusion.

1,50 5°- Représenter l'image du point A à travers la première position de la glace. Est-elle stigmatique?

### RADIOACTIVITÉ

#### Sujet n°1

#### Matériel proposé:

- 1 tube Géiger Muller (GM).
- 1 Compteur GM.
- 1 Source radioactive ( $\beta^+$ ).
- 1 support magnétique de source.
- 1 Nappe magnétique.

#### Manipulation

Disposer, comme indiqué sur le schéma de la Fig(1): La nappe magnétique, la source radioactive  $\beta$ , le tube GM et le compteur GM. Ensuite, brancher le tube GM à son compteur électronique.

Faites vérifier votre montage par l'enseignant de TP. Ensuite, relever, tous les 10 (s) et le long de l'axe de direction ... $X_1^\circ$ ..., six (6) mesures pour chacune des positions x du tableau de mesures T; x étant la distance entre source et la fenêtre du tube GM. Consigner les nombres de coups moyens,  $N_{\text{moy}}$ , dans le tableau T.

x (mm)	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120
$N_{\text{moy}}$													

#### Questions

Tableau T

- 1°- Tracer le graphe ..... $Y_1$ ..... en fonction de x.
- 05 2°- Interpréter le graphe.
- 03 3°- Quelles conclusion en tirez-vous?
- 02 4°- Pouvez vous déterminer, à partir du graphe précédent, une grandeur caractéristique de l'air
- 05 les  $\beta^+$  de la source considérée? Si oui, laquelle? Donnez sa valeur.

#### Matériel proposé:

- 1 tube Géiger Muller (GM).
- 1 Compteur GM.
- 1 Source radioactive ( $\beta^+$ ).
- 1 support magnétique de source.
- 1 Nappe magnétique.

#### Sujet n°2

#### Manipulation

Disposer, comme indiqué sur le schéma de la Fig(1): La nappe magnétique, la source radioactive  $\beta$ , le tube GM et le compteur GM. Ensuite, brancher le tube GM à son compteur électronique.

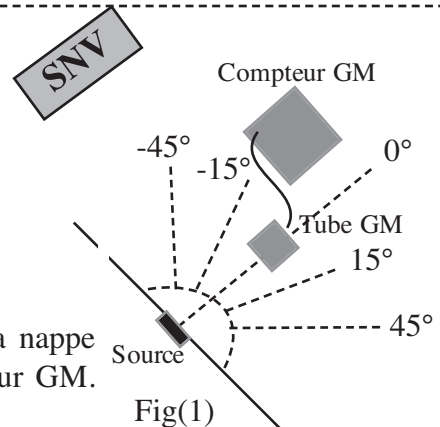
Faites vérifier votre montage par l'enseignant de TP. Ensuite, relever, tous les 10 (s) et le long de l'axe de direction ... $X_2^\circ$ ..., six (6) mesures pour chacune des positions x du tableau de mesures T; x étant la distance entre source et la fenêtre du tube GM. Consigner les nombres de coups moyens,  $N_{\text{moy}}$ , dans le tableau T.

x (mm)	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120
$N_{\text{moy}}$													

#### Questions

Tableau T

- 05 1°- Tracer le graphe ... $Y_2$ ... en fonction de x.
- 03 2°- Interpréter le graphe.
- 02 3°- Quelles conclusion en tirez-vous?
- 05 4°- Pouvez vous déterminer, à partir du graphe précédent, une grandeur caractéristique de l'air pour les  $\beta^+$  de la source considérée? Si oui, laquelle? Donnez sa valeur.





## MECANIQUE

## Sujet n°1

## Matériel proposé:

- Un document de travail (Enregistrement du mouvement d'un mobile).

## Dépouillement et questions

La bande de papier, du document de travail, est la reproduction d'une bande de papier enregistrée au moyen d'une sonnette analogue à celle que vous avez utilisée dans le TP n°4. Cependant, sur cette bande de papier, on a représenté que les points successifs séparés de 0,04 (s) l'un de l'autre. Le mobile est ..... Pour l'étude d'un tel mouvement, un intervalle de temps de 0,04 (s) est jugé petit.

- 05 1°- Dresser le tableau qui vous permettra de tracer les diagrammes des espaces, des vitesses et des accélérations.
- 06 2°- Tracer le diagramme des vitesses de ce mobile. Commenter le en précisant la nature des différentes phases du mouvement.
- 04 3°- Déterminer l'accélération du mobile à l'instant  $t=t_0+\dots\dots\dots$  (s)



## Sujet n°2

## Matériel proposé:

- Un document de travail (Tableau de mesures).

## Dépouillement et questions

La bande de papier, du document de travail, est la reproduction d'une bande de papier enregistrée au moyen d'une sonnette analogue à celle que vous avez utilisée dans le TP n°4. Cependant, sur cette bande de papier, on a représenté que les points successifs séparés de 0,04 (s) l'un de l'autre. Le mobile est ..... Pour l'étude d'un tel mouvement, un intervalle de temps de 0,04 (s) est jugé petit.

A partir du document de travail, on a établi le tableau de mesures suivant:

	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>7</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>9</sub>
x-x <sub>0</sub> (cm)	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
t-t <sub>0</sub> (s)	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Δx (cm)		.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	
V (cm/s)		.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	

- 06 1°- Tracer le diagramme des vitesses de ce mobile. Commenter le en précisant la nature des différentes phases du mouvement.
- 04 2°- A partir du diagramme des vitesses, évaluer la distance parcourue par le mobile entre les instants  $t_1=t_0+\dots\dots\dots$  (s) et  $t_2=t_0+\dots\dots\dots$  (s).
- 05 3°- Tracer le diagramme des accélérations de ce mobile.