DEUG A - MODULE UEM2

PREPARATION AUX TRAVAUX PRATIQUES DE PHYSIQUE

I - INTRODUCTION

L'enjeu d'une expérience scientifique est d'avoir accès à un certain nombre de grandeurs permettant de déduire une loi ou encore de vérifier (voir valider) une théorie.

Une observable physique est une grandeur qui peut être mesurée grâce à une expérience appropriée. Cependant toute expérience contient des causes d'imperfections (techniques et humaines), et les appareils de mesure non seulement la perturbent mais, de plus, apportent leurs propres imperfections. **La mesure d'une observable n'est donc en fait qu'une évaluation, aussi précise que possible, de la valeur de cette observable.**

Ainsi pour tenir compte de ces imperfections, en plus du résultat de la mesure (notons la x), on donne une incertitude (notée x) qui traduit les erreurs introduites par l'ensemble du montage.

II - ERREURS

II - 1 - Erreurs systématiques

Les erreurs systématiques restent identiques lorsque la mesure est répétée au cours d'une même expérience ou lorsque l'expérience est répétée dans les mêmes conditions.

On distingue :

- Les erreurs systématiques qui peuvent être corrigées et qui n'engendrent donc pas d'incertitudes : elles sont dues au fait qu'un instrument de mesure n'est jamais complètement neutre et que son insertion dans une expérience modifie, parfois de manière importante, le résultat attendu. Cette modification est cependant calculable en fonction des caractéristiques des appareils utilisés. Elles se traduisent donc par une correction (exemple : voir TP mesure de résistances).
- Les erreurs systématiques de construction des appareils et des composants : le résultat affiché par un appareil ou la valeur lue sur un composant ne correspondent pas exactement à la réalité. Ce défaut de justesse ne peut être corrigé (à moins d'utiliser des appareils plus précis) et il se traduit donc nécessairement par une incertitude.

II - 2 - Erreurs fortuites

Les erreurs fortuites dépendent essentiellement de l'opérateur. On peut inclure dans cette catégorie :

- les erreurs de lecture : erreur de parallaxe, interpolation entre les graduations, ...

- les erreurs de réglage.

III - INCERTITUDES

III - 1 - Définitions

a) Incertitude absolue

Soit x_0 la valeur exacte de l'observable, soit x la valeur mesurée, on appelle **erreur absolue : e = x_0 – x.** On ne peut bien évidemment pas connaître e avec précision mais on va donner **la valeur limite supérieure de e** : **Dx =| sup [e] |**

x est appelée incertitude absolue sur la mesure x et s'exprime dans la même unité que x.

b) Incertitude relative

$\frac{\Delta x}{x}$: rapport de quantités ayant même unité, n'a donc **pas d'unité.**

c) Intervalle de confiance

Il est défini par les deux valeurs x_1 et x_2 telles que : x_1 x x_2 avec **x_1 = x - x et x_2 = x + x**

on a **x = $\frac{x_1 + x_2}{2}$** (moyenne) et **x = $\frac{x_2 - x_1}{2}$**

III - 2 - Expression d'un résultat

Pour une observable symbolisée par la lettre G, le résultat comporte la valeur x de l'observable et son incertitude x. On l'écrit sous la forme suivante :

G = (x ± x) ***unité (ou sous-unité) SI***

G = (x ± Dx) ***10^m unité SI***

Une incertitude est elle-même évaluée de façon approchée, au mieux avec une précision de 10%. Sauf cas tout à fait exceptionnel, il est donc erroné d'écrire par exemple Δx = 0,0348 ; on écrira plus raisonnablement Δx = 0,04.

Þ On prendra garde de majorer la valeur de l'incertitude trouvée.

De même, si le calcul de x doit être fait avec un nombre suffisant de chiffres, il ne faut retenir dans le résultat final que les chiffres réellement significatifs. Si le résultat affiché par la calculatrice est x = 8,2374 ..., compte tenu de l'incertitude Δx = 0,04 on écrira *(8,24 ± 0,04) unité SI :* ici, **on arrondit le résultat.**

Notons que **des zéros peuvent être significatifs** : si le résultat affiché est x = 8,0026, il faut écrire :

(8,00 ± 0,04) unité SI.

De même, une écriture telle que *(11680 ± 1200) unité SI* n'est pas correcte. On écrira :

(12000 ± 2000) unité SI ou encore : *(12 ± 2)* 10^3 *unité SI.*

IV - CALCUL DES INCERTITUDES

IV - 1 - Détermination des incertitudes expérimentales

a) Cas d'un composant

Sur un composant (résistance, capacité…) le constructeur fournit la valeur nominale x ainsi que son incertitude relative $\frac{\Delta x}{x}$ en %.

Exemple : Soit une résistance R de 100 Ohms ayant une incertitude relative de 0,2 %, on a alors :

$$\frac{\Delta R}{R} = 0{,}002 \quad \Rightarrow \quad R = 0{,}002 \text{ x } 100 = 0{,}2\ \Omega \quad \text{ainsi} \quad R = (100{,}0 \pm 0{,}2)\ W$$

b) Appareils de mesure

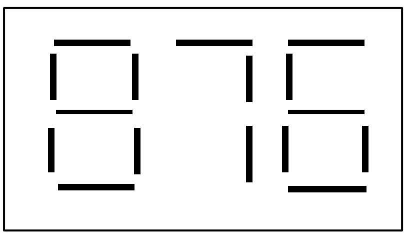
- **Appareils à aiguille**. La classe des appareils à aiguille (tels les ampèremètres ou voltmètres) permet de calculer l'incertitude de la mesure grâce à la formule :

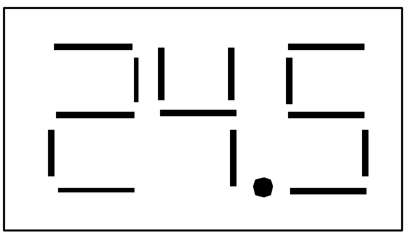
  $$\mathbf{x = \frac{classe}{100}.\ calibre}$$

  La valeur de l'incertitude ne dépend pas de la valeur de l'observable x mais seulement du calibre utilisé pour un appareil donné. **Pour réduire x, il faut donc utiliser le calibre le plus petit compatible avec la valeur x**, c'est-à-dire le calibre qui assure une déviation maximale de l'aiguille. Attention toutefois à ne pas saturer le calibre, ce qui pourrait être dommageable pour l'appareil.

- **Appareil numérique**. Leur incertitude est souvent donnée sous la forme ± (α % lecture + m digits). **Les m digits signifient que le dernier chiffre lu sur l'afficheur n'est donné qu'à plus ou moins m.**

Exemples : incertitude de l'appareil : ± (2 % lecture + 3 digits).





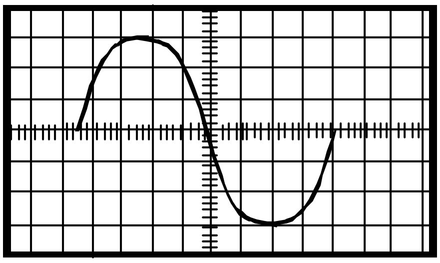
Le dernier chiffre est le chiffre des unités,
l'incertitude vaut 0,02 x 876 + 3 = 20,52

le résultat s'écrit x = (880 ± 30) unités SI.

le résultat s'écrit $x = (24{,}5 \pm 0{,}8)$ unités SI.

le dernier chiffre est le chiffre des dixièmes,
l'incertitude vaut $0{,}02 \times 24{,}5 + 0{,}3 = 0{,}79$

c) Oscilloscope



La trace de l'oscilloscope sur l'écran a une certaine épaisseur qui entache la mesure d'une erreur. Sur l'exemple de principe représenté ci-dessus l'épaisseur de la trace tant sur la déviation horizontale que verticale est de ± une demie petite graduation, à traduire en unité de temps pour l'axe horizontal (ou en volt en mode XY et en volt pour l'axe vertical).

IV - 2 - Calculs d'incertitudes

Il est possible que la grandeur qui nous intéresse ne soit pas directement issue de la mesure mais soit fonction d'une ou plusieurs observables. Imaginons que nous voulions déterminer la valeur de la constante de gravitation g et son incertitude g grâce à la mesure de la période T d'oscillation d'un pendule de longueur L.

On a la relation $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ (4 - 1)

La mesure a permis de déterminer L ± L et T ± T, il nous faut maintenant calculer g ± g.

D'après la relation (4 - 1) on a : $g = (2\pi)^2 \frac{L}{T^2}$. Il reste à calculer : g = f (L, T, L, T).

Il n'est pas question ici de rappeler toute la théorie, simplement que la notion de différentielle permet d'arriver, quelle que soit l'expression, à la solution. Cependant, dans de nombreux cas, on peut se contenter des quelques formules simples rappelées ci-après.

Dans tous les cas la méthode est la suivante :

1 - Calcul de la différentielle df de la fonction f qui est l'accroissement de f lorsque chacune des variables qui permettent de calculer f subit un accroissement supposé infiniment petit dx, dy, ...

2 - Mise en facteur des accroissements portant sur la même variable puis simplification de l'expression si possible.

3 - Passage aux incertitudes (symbolisées par la lettre) en prenant la valeur absolue des coefficients de chaque accroissement.

Pour les cas particuliers les plus couramment rencontrés, la méthode est la suivante :

a) Multiplication par une constante

expression	$\mathbf{X}$	$=$	$\mathbf{ax}$	où a est une constante
accroissement	dX	$=$	adx	
incertitude	X	$=$	$\|a\|\ x$	

b) Somme et différence

expression	$\mathbf{X}$	$=$	$\mathbf{x + y - z}$
accroissement	dX	$=$	$dx + dy - dz$
incertitude	X	$=$	$x + \ y + \ z$

c) Produit, puissance : On passe à **la dérivée logarithmique** en prenant le **logarithme népérien** de l'expression :

expression $\quad \mathbf{X = \dfrac{axy}{z}}$ où a est une constante et x, y, z >0.

logarithme népérien $\quad \ln X = \ln a + \ln x + \ln y - \ln z$

accroissement $\quad \dfrac{dX}{X} = \dfrac{da}{a} + \dfrac{dx}{x} + \dfrac{dy}{y} - \dfrac{dz}{z}$ (da = 0)

incertitude $\quad \dfrac{\Delta X}{X} = \dfrac{\Delta x}{x} + \dfrac{\Delta y}{y} + \dfrac{\Delta z}{z}$

expression $\quad \mathbf{X = ax^n}$ où a est une constante et x, n >0.

logarithme népérien $\quad \ln X = \ln a + n \ln x$

accroissement $\quad \dfrac{dX}{X} = \dfrac{da}{a} + n\dfrac{dx}{x}$ (da = 0)

incertitude $\quad \dfrac{\Delta X}{X} = n\dfrac{\Delta x}{x}$

V - PAPIER LOG-LOG ET SEMI-LOG

V - 1 - Généralités

Le papier millimétré est le papier pour lequel chaque graduation est distante de 1 mm de la précédente. Pour l'utiliser on choisit un facteur d'échelle c tant pour l'axe des abscisses que pour celui des ordonnées, qui permet de relier par une relation linéaire la valeur physique x que l'on veut représenter à la distance X (en millimètre) que l'on reporte que le papier. On a :

$$X = c\,(x - x_0)$$ où x_0 est la valeur physique correspondant à l'origine.

Cependant, on peut imaginer d'autres échelles que l'échelle linéaire, comme par exemple l'échelle logarithmique.

Dire que le papier est logarithmique signifie que la loi qui va relier la valeur physique x à la distance X (que l'on peut mesurer avec une règle sur le papier log) est logarithmique. Plus précisément :

$$X = d \log_{10} \frac{x}{x_0}$$

Notez bien que c'est le logarithme à **base 10** qui est utilisé.

Vous remarquez sur la figure V.1, qu'avec ce type de graduations apparaissent des motifs qui se reproduisent chaque fois que la grandeur x est multipliée par 10. **Ce "motif" est appelé décade ou module**. L'exemple de la figure V -1 comporte 2 décades. La longueur d'une décade vaut d. La valeur de d dépend de l'imprimeur.

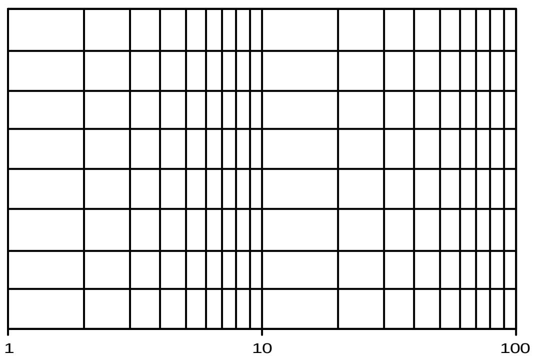


Figure V.1

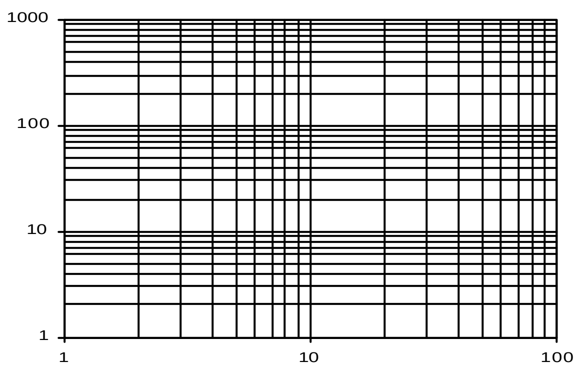


Figure V.2

Il reste à préciser que l'on parle de papier log-log lorsque les deux axes sont gradués selon l'échelle logarithmique et de papier semi-log lorsque l'un est logarithmique et l'autre décimal. La figure V- 1 représente un papier semi-log et la figure V - 2 un papier log-log.

V- 2 - Exemple d'utilisation

On observe l'évolution, en fonction d'une longueur x, d'une quantité N (x) respectant la relation théorique.

$$N(x) = N(0)\, e^{-\lambda x} \qquad (1)$$

On veut déduire de cette observation la constante λ ainsi que N (0). **La droite est la courbe la plus facilement interprétable** ; pour l'obtenir, une première idée consiste à prendre le logarithme (décimal par exemple) de (1).

$$\log_{10}N = -\lambda\ x \log_{10}e + \log_{10}N\ (0)$$

Changeons de variables en posant : $y = \log_{10}N$ d'où $y = ax + c$ où a et b sont deux constantes avec $a = -\lambda \log_{10}e = -0{,}434\ \lambda$ et $b = \log_{10}N\ (0)$

En reportant y en fonction de x sur du papier décimal, on obtient une droite (voir figure V-3).

N'oublions pas que ceci nécessite de calc uler pour chaque valeur de y, le logarithme de N.

La pente a de cette droite vaut : $$a = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{\log_{10} N_2 - \log_{10} N_1}{x_2 - x_1}$$

Le calcul du logarithme pour chacune des valeurs de N est fastidieux. Pour éviter cette tache, on emploie le papier semi-log. Pour ce papier, adapté au type d'expression donné par (5-1), il suffit de reporter directement x et N (voir figure V-4).

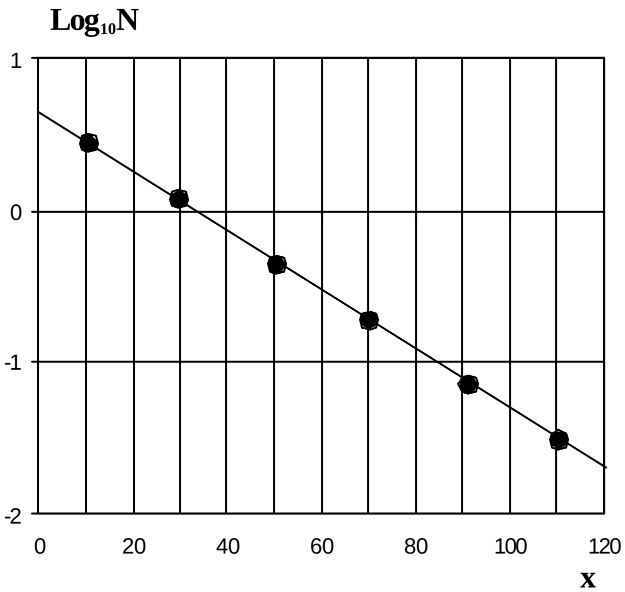


Figure V-3

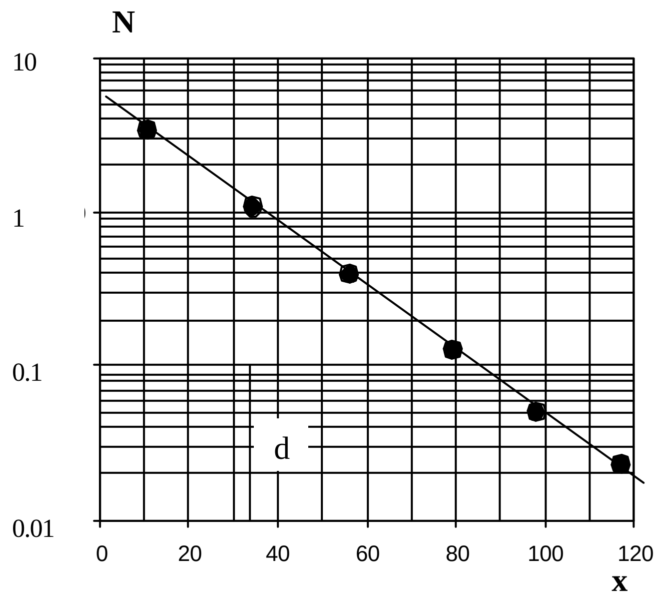


Figure V-4

Mais attention, pour le calcul de la pente, il ne faut pas oublier que l'axe vertical possède une échelle logarithmique. La détermination de la pente se fait grâce à la relation précédente, à savoir :

$$a = \frac{\log_{10} N_2 - \log_{10} N_1}{x_2 - x_1}$$

Ce qui nécessite cette fois de calculer uniquement le logarithme décimal de deux valeurs pour N (N_1 et N_2).

On peut même s'épargner ce calcul en remarquant que, pour l'échelle logarithmique, la valeur $\log_{10}N_2$ - $\log_{10}N_1$ est donnée par le rapport $[N_2\ N_1]/d$ où $[N_2\ N_1]$ est la longueur du segment N_2 - N_1 et d la hauteur d'un module. Il suffit de mesurer ces deux distances sur le papier.

VI - L'EXPERIENCE

VI - 1 - Préparation

Vous disposez d'un texte de quelques pages qui portent sur une manipulation prévue pour **trois heures**. Chaque texte contient la base théorique minimale correspondant à l'objectif scientifique assigné (généralement sous la forme d'une loi du genre z = f (x, y…) qu'il convient de vérifier).

A l'aide de ce texte il est nécessaire de **préparer l'expérience** dans les jours qui précèdent sa réalisation en laboratoire.

Préparer se résume à :

- Bien comprendre ce qui est demandé. Demandez-vous la signification exacte des grandeurs x, y, z… avec leurs unités et si possible leurs ordres de grandeur, les hypothèses simplificatrices qui éventuellement conduisent à la loi z = f (x, y, …) et son domaine de validité.
- Réfléchir à la façon expérimentale de procéder. Quel est le schéma ou montage à réaliser ? Quels sont les appareils de mesure nécessaires et leurs implantations ?

VI - 2 - Méthode de travail

Dans la plupart des expériences que vous réaliserez, vous étudierez l'évolution d'une observable y (élémentaire ou non) en fonction de la variation d'une autre observable x (éventuellement elle-même non élémentaire) symboliquement : y = f (x).

Si un montage doit être réalisé, il est impératif de le faire vérifier par un responsable (enseignant ou technicien présent dans la salle).

Vous allez donc construire " un tableau de mesures" (sans oublier les unités) sur le modèle suivant :

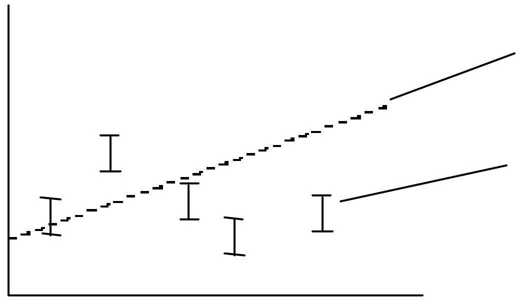
x	x_1	x_2	x_3	…
y	y_1	y_2	y_3	…

Vous allez également être amenés à reporter ces points, avec leurs incertitudes, sur un graphe.

Ce tracé se fera, selon le cas :

- en même temps que le remplissage du tableau (le report du point étant effectué avant la mesure suivante) s'il vous a été possible de déterminer les axes du graphe avant la manipulation.
- tout de suite après le remplissage du tableau si on ne pouvait pas prévoir le domaine de variation de x et de y.

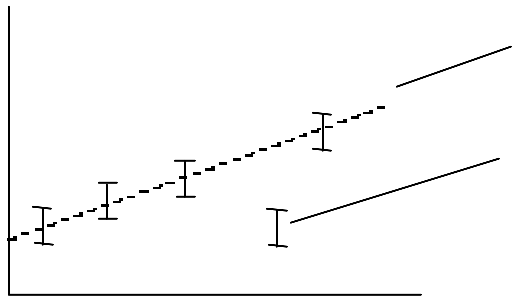
- En aucun cas il ne faut tracer le graphe après avoir totalement terminé l'expérience. En effet, la construction du graphe en temps réel permet :
    - d'avoir, en quelques mesures bien réparties, une vision globale (incertitudes comprises) de la courbe y = f(x).
    - de vérifier, à l'allure de la courbe, qu'il n'y a pas de "gros ennuis" dans l'expérience.
    - de refaire rapidement la mesure d'un point qui est manifestement erroné.



Théorie

Expérience : c'est assez mal parti ! Vérifiez le montage, les appareils etc, avant d'entreprendre de nouvelles mesures.

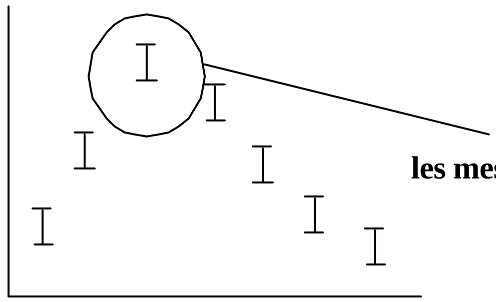
Détection et remplacement immédiat d'une mesure manifestement erronée.



Théorie

Mesure très probablement erronée, à recommencer immédiatement. Si le résultat est le même, recherchez-en la cause avant de poursuivre.

Détermination d'une zone utile, où les mesures doivent être plus nombreuses.



position et valeur du maximum ? **Multipliez les mesures dans cette zone.**

VI - 3 - Construction de graphes

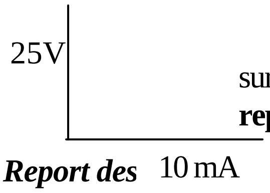
a) Choix des variables et du papier (décimal, semi-log ou log-log)

Dans beaucoup de cas y = f (x) représente une loi simple, connue. La manipulation consiste alors à vérifier que le phénomène évolue bien selon cette loi et, ensuite, à déterminer un ou plusieurs paramètres intervenant dans f. **Chaque fois que cela est possible, il faut choisir des variables et un type de papier (décimal, semi-log, log-log) tels que y = f (x) se réduise à une droite.** C'est en effet la forme la plus facilement contrôlable et interprétable.

b) Graduation des axes de coordonnées

Quel que soit le type de papier utilisé, **sur chaque axe doivent figurer une échelle et une unité** (si la variable est dimensionnée). Le choix des échelles repose sur plusieurs contraintes :

- il faut qu'elles s'étendent sur l'intervalle de valeurs étudiées. Ceci est déterminé en début d'expérience par la détermination des valeurs max et min.
- il faut que cette gamme occupe **au maximum** le papier **tout en choisissant une échelle facile d'emploi**, c'est-à-dire ne nécessitant pas de calcul mental plus ou moins périlleux.



Remarque : Echelle et unité se trouvent sur les axes de coordonnées, il est inutile de les reporter ailleurs sur le graphe et en particulier **l'écusson du type représenté ci-contre est à proscrire.**

c) Report des

Nous voulons représenter y = f (x). Pour chaque point ce n'est pas seulement le couple (x, y) qu'il faut reporter mais aussi l'incertitude associée à ces 2 mesures. On obtient donc **un rectangle d'incertitude** correspondant aux intervalles de confiance.

Si l'un des intervalles d'incertitude est trop petit pour être représenté, on ne reporte alors qu'une barre d'incertitude.

Si les deux intervalles sont trop petits, alors c'est simplement le point que l'on reporte.

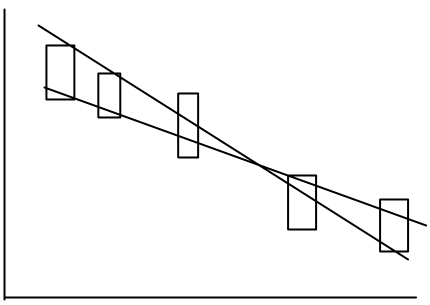
d) Tracé de courbes

Plaçons nous dans le cas où la théorie prévoit une relation linéaire entre les variables choisies pour les axes.

Les rectangles d'incertitude (éventuellement les barres) permettent de tracer deux droites, l'une de pente maximale et l'autre minimale compatibles avec l'ensemble des mesures. Chacune des droites coupe **tous** les rectangles ou barres (cf figure VI -1).

Dans le cas de la figure VI -2, la théorie prévoit que la droite passe par l'origine, les deux droites passent donc par ce point particulier.

Si les incertitudes ne peuvent être représentées sur le graphique, tous les points doivent être alignés pour que la théorie soit vérifiée.



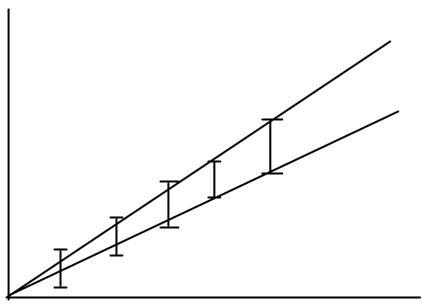


Figure VI.1 **Figure VI.2**

VII - LE COMPTE RENDU

VII - 1 - Généralités

Le compte rendu est **un rapport scientifique**. Il doit permettre rapidement à toute personne ayant un niveau scientifique équivalent à celui de l'auteur de comprendre le sujet de l'expérience et d'apprécier la façon dont celle-ci a été réalisée. Un compte rendu doit être **concis, précis et complet**. Il fait partie de l'expérience. **En aucun cas il ne doit ressembler à un brouillon.**

Voici ce que doit comporter un compte rendu.

Titre

I - OBJECTIF

- *Les objectifs peuvent être définis en une ou deux phrases.*

II - THEORIE

- *Pas de développements théoriques superflus : se limiter aux expressions qui seront effectivement utilisées, en précisant la signification des variables et les unités.* ***Démontrer les relations utilisées.***

III - REALISATION

Pour chaque phénomène étudié :

III - 1 - Sous-titre numéroté indiquant le phénomène

III-1-1- Procédure

- *Schéma de(s) montage(s),* ***sans omettre l'emplacement des appareils de mesures.***
- *Calcul des incertitudes (si non trivial).*

III-1-2 - Mesures et interprétation

- *Présentation des mesures avec repérage des graphes (le plus simple : "voir graphe n° XX", en n'oubliant pas de reporter le n°XX sur le graphe en question).*
- *Résultats déduits des mesures avec incertitudes.*

IV - DISCUSSION

- Les lois théoriques correspondant aux phénomènes étudiés sont-elles vérifiées, et dans quels domaines ?

- Les résultats obtenus semblent-ils raisonnables ?

- Analyse critique du travail effectué : points jugés positifs ou négatifs, modifications souhaitables de la procédure expérimentale, suggestions pour l'amélioration de l'expérience, etc….

Ce compte-rendu, écrit en commun par les deux étudiants constituant le binôme, peut être rédigé pendant la séance ou exceptionnellement après. Il est impératif de montrer les résultats obtenus au responsable.

UNITES S.I.

GRANDEUR	UNITE	SYMBOLE
Longueur	mètre	m
Temps	seconde	s
Fréquence	hertz	Hz
Angle plan	radian	rad
Angle solide	stéradian	sr
Masse	kilogramme	kg
Force	newton	N
Energie	joule	J
Puissance	watt	W
Pression	pascal	Pa

Intensité électrique	ampère	A
Potentiel électrique	volt	V
Quantité d'électricité	coulomb	C
Impédance	ohm	W
Capacité	farad	F
Inductance	Henry	H
Cha mp électrique	volt par mètre	Vm^{-1}
Champ magnétique	tesla	T
Flux magnétique	weber	Wb

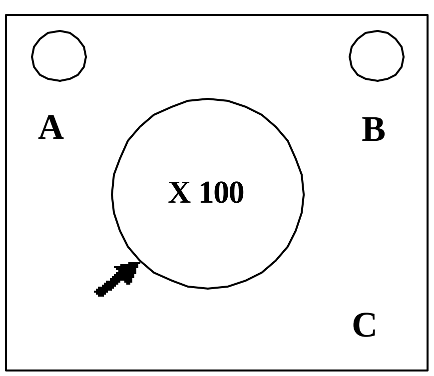
PREFIXES USUELS

Préfixes	**Valeur**	**Symbole**
Tera	10^{12}	T
Giga	10^{9}	G
Méga	10^{6}	M
Kilo	10^{3}	k
Hecto	10^{2}	h
Déca	10^{1}	da
Déci	10^{-1}	d
Centi	10^{-2}	c
Milli	10^{-3}	m
Micro	10^{-6}	µ
Mano	10^{-9}	n
Pico	10^{-12}	p
Femto	10^{-15}	f

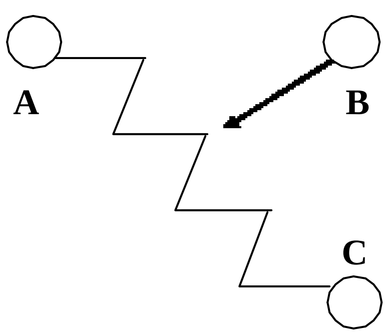
Rappels sur l'utilisation des boites A.O.I.P. :

*** Présentation :**

Vue de dessus



Vue du côté



- branchement entre A et C : valeur totale de la résistance, c'est-à-dire la valeur maximale de la boite **quelle que soit la position du curseur.**
- branchement entre A et B : valeur variable de la résistance, c'est-à-dire la valeur de la boite indiquée par la position du curseur (en tenant compte du facteur multiplicateur)

*** Incertitude de construction :**

La plus couramment rencontrée : $(\Delta R/R)_{\text{construction}} = 0{,}2\% = 2.10^{-3}$

(parfois :$(\Delta R/R)_{\text{construction}} = 1\%$).

*** Association en série de boites A.O.I.P. dont l'incertitude de construction est identique**

$R = a + b + c$

$\Delta R = \Delta a + \Delta b + \Delta c = a.\,(\Delta a/a) + b.\,(\Delta b/b) + c.\,(\Delta c/c) = (\Delta a/a)\,.\,(a + b + c) = (\Delta a/a)\,.R$

d'où $(\Delta R/R) = (\Delta a/a)$

donc l'incertitude relative de construction de x boites A.O.I.P. montées en série est égale à l'incertitude relative de construction d'une seule boite.

Par analogie avec les boites de résistances A.O.I.P. :

*** Association de capacités (TP Pont de Sauty : capacité variable)**

La capacité variable est constituée par l'association en parallèle de plusieurs capacités ; pour chacune de ces capacités on a un $(\Delta C/C)_{\text{construction}}$.

Si l'incertitude relative de construction est la même pour toutes les capacités, alors l'incertitude de l'ensemble sera (DC/C)$_{\text{construction}}$.

UTILISATION D'UN APPAREIL A CADRE MOBILE

I - APPAREILS DE MESURE A CADRE MOBILE

Les appareils de mesure dits "à cadre mobile", dans un champ permanent sont construits sur le principe des galvanomètres. Lorsque le galvanomètre à cadre mobile est mis en parallèle avec une très faible résistance il fonctionne en ampèremètre. L'appareil se monte alors en série dans le circuit dont on mesure l'intensité.

Lorsque le galvanomètre à cadre mobile est mis en série avec une très forte résistance il fonctionne en voltmètre. L'appareil se monte alors en parallèle sur le circuit dont on mesure la tension.

L'adjonction de redresseur utilisable dans la bande de fréquences 30-2000 Hz, et de piles permet d'utiliser ces appareils :

- soit en ampèremètre ou voltmètre (continu) repère blanc,
- soit en ampèremètre ou voltmètre (alternatif) repère rouge,
- soit en ohmmètre, repère vert.

Tout cet ensemble réuni en un seul appareil constitue le contrôleur universel Métrix.

II - PRECISION

L'appareil utilisé est donné :

- en classe 1,5 pour les mesures en continu,
- en classe 2,5 pour les mesures en alternatif.

Cela signifie que l'incertitude absolue sur la tension (ou le courant), due à la construction de l'appareil est au plus égale à :

$$V \text{ (ou } I) = \frac{1{,}5 \text{ x calibre}}{100} \quad \text{en continu}$$

$$V \text{ (ou } I) = \frac{2{,}5 \text{ x calibre}}{100} \quad \text{en alternatif}$$

Pour les résistances on ne tiendra compte que de l'erreur de lecture.