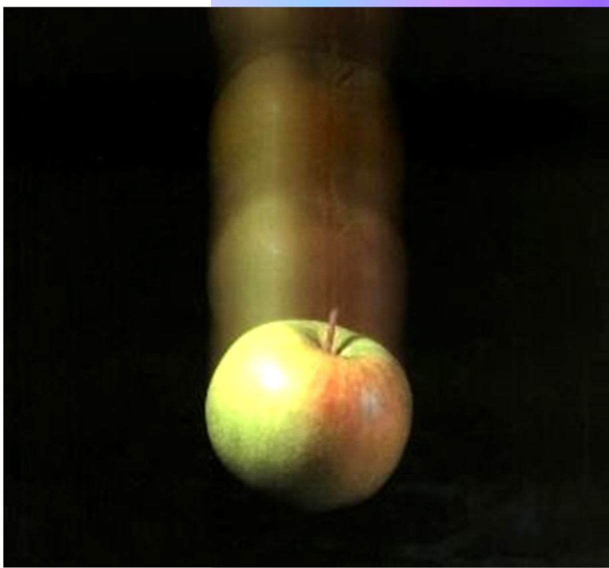
Faculté des Sciences
Aix-Marseille Université

L1 – PC
Campus St Jérôme

UE 14 - Outils et Méthodes Scientifiques



Travaux Pratiques – Chimie -Physique

2013 - 2014

TABLE DES MATIERES

PREAMBULE

PREPARATION DES TRAVAUX PRATIQUES

Dans cet enseignement, on vous apprend analyser vos expériences et à exploiter judicieusement les mesures pour obtenir des résultats sensés. Les travaux pratiques sont plus qu'une simple illustration des cours et TD, ils sont la preuve que les outils et méthodes sont compris par vous et ont un intérêt. Les expériences ne sont pas difficiles, elles peuvent être délicates à exploiter, vous devez faire preuve de bon sens , de rigueur et de curiosité scientifiques.

La qualité de la manipulation n'est pas liée au fait d'avoir un ordinateur et du matériel sophistiqué, si on ne sait pas utiliser l'un et/ou l'autre le résultat sera médiocre ou erroné ; une méthode simple ou ancienne peut être la plus précise et/ou la plus efficace.

Vous devez, avant chaque séance : étudier soigneusement le texte du TP ; faire les parties théoriques préliminaires s'il y en a ; réfléchir à l'introduction et à la teneur du compte-rendu.

MANIPULATION - REDACTION DES COMPTES RENDUS

La manipulation est faite en binôme, ce qui implique une participation de chaque étudiant à la réalisation pratique et à la rédaction.

Contrairement à ce que semble penser certains étudiants, un compte-rendu de TP n'est pas une succession de bouts de phrases et de résultats sans unités jetés à côté d'un «I-2» ou « 3-A». C'est un document autonome, **qui se lit**, avec un **titre**, une **introduction** (pourquoi faire ce TP), des paragraphes, des **explications** sur chaque mesure, des **schémas**, le résultat des mesures, les calculs d'incertitudes, les unités;

On y ajoute des **remarques** sur les difficultés expérimentales ou les explications complémentaires données par l'enseignant, on termine par une **conclusion** (qu'a-ton appris ? l'expérience est-elle probante ? intéressante ? à améliorer, et comment ?)

(Eviter que le CR , hors schémas, fasse moins de 2 et plus de 4 ou 5 pages, et plus d'une faute d'orthographe par ligne...)

RESTITUTION DES CR- NOTATION

Chaque étudiant doit, individuellement, faire la préparation du TP. Le compte-rendu est rédigé par binôme (avec les deux noms, le rédacteur souligné) et rendu à la fin de la séance.
La note de TP est attribuée entièrement en contrôle continu.

MESURES DE LA GRAVITE

INTRODUCTION

Une **chute libre** est un mouvement sous le seul effet de la pesanteur. L'attraction terrestre étant (par définition) verticale, une chute libre est verticale lorque l'objet est lâché sans vitesse initiale (ou avec une vitesse verticale) ; si on lui imprime une vitesse oblique, on observe alors une trajectoire courbe (lancer d'une balle, tir d'un projectile, …) dont les caractéristiques sont la flèche et la portée.

Nous allons illustrer ces notions en faisant des mesures du temps de chute verticale d'une bille, à l'aide d'une horloge électronique affichant le millième de seconde, et en observant avec une caméra une chute avec vitesse initiale.. Nous en déduirons dans chaque cas une estimation de l'accélération de la pesanteur en détaillant les différentes sources d'erreurs et en comparant les méthodes.

NOTE : Le matériel est à partager entre 2 binômes, certains commençant par la partie chute verticale, les autres par la partie chute parabolique ; prévoir d'intervertir les tables avant le milieu de la séance,

A) CHUTE VERTICALE

I - PRINCIPE DE L'EXPERIENCE

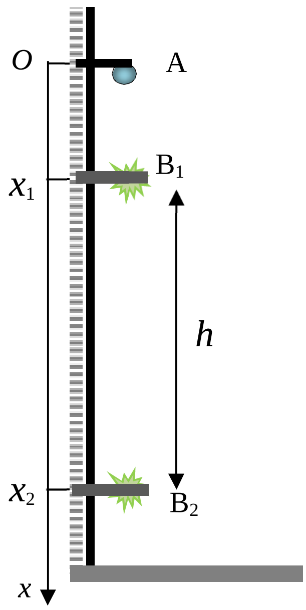
1.1 Equation du mouvement

On considère une chute libre sans vitesse initiale: l'objet de masse m, soumis à son seul poids ($F = m$g) est en mouvement rectiligne le long d'un axe Ox vertical, on écrira donc directement les valeurs scalaires des accélérations , vitesses et trajectoires. Le mouvement est alors décrit par :

- ✓ L'accélération γ , constante, positive si l'axe est orienté vers le bas:
  $\gamma = \partial v/\partial t = g$, où g est l'accélération de la pesanteur ;
- ✓ La vitesse v , donnée à un instant t en intégrant l'accélération :
  $v = \partial x/\partial t = \int g.\partial t = gt + v_0$, où v_0 est la vitesse à l'instant $t = 0$;
- ✓ La position x , donnée à un instant t en intégrant la vitesse :
  $x = \int v.\partial t = ½\, g.t^2 + v_0 t + x_0$ où x_0 est la position à l'instant $t = 0$;

On note que x, v et γ sont indépendantes de la masse m .

1.2 Montage



L'objet est une bille d'acier ; le point de départ est un électroaimant A dont la coupure de l'alimentation provoque le lâcher de la bille sans vitesse initiale.

Dans sa chute la bille coupe le faisceau de deux barrières lumineuses B_1 et B_2 (lampe et photodiode placée en face l'une de l'autre) ; la première déclenche le début du comptage de temps, l'autre provoque la fin du comptage.

Les hauteurs sont mesurées le long d'un rail gradué au millimètre. Le point A est fixe, les positions de B_1 et B_2 le long du rail peuvent être modifiées.

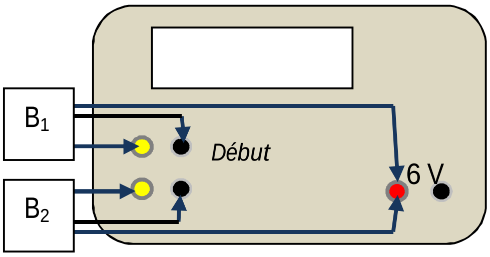
L'axe des positions (Ox) est orienté vers le bas, son origine est prise au point de départ de la chute. Le temps t des équations est compté à partir de l'instant du lâcher de la bille, le chronomètre enregistre l'intervalle de temps $\boldsymbol{T = t_1 - t_2}$ entre les passages des la bille aux poins x_1 et x_2. On notera *h* la hauteur entre les deux barrières.

Les valeurs expérimentales disponibles sont donc les abscisses x_1 et x_2, et l'intervalle de temps T.

II - MANIPULATION

Les rails étant gradués en millimètres, on exprimera les hauteurs en mm avec une incertitude de ±1mm. Pour les temps, les valeurs ne peuvent être meilleures que 0,001s (affichage) mais c'est la répétition de l'expérience qui indique l'intervalle d'incertitude.

Branchements : le dispositif de chronométrie fournit une alimentation 6V pour l'éclairage des lampes des barrières (bornes rouge et noire à droite) ; chaque photodiode doit également être connectée (fiches jaunes et noires à gauche) .



Ou montage équivalent

Fonctionner en mode « horloge »

L'électro-aimant peut être soit alimenté par la même sortie 6 V , soit par une alimentation indépendante ; un interrupteur est placé dans la boucle d'alimentation. En position fermée il assure la tenue de la bille, en l'abaissant on déclenche la chute.

Toutes les Mesures seront présentées en Tableaux, avec Moyennes, Unités et Incertitudes

2.1 Chute libre : estimation de l'accélération *g* de la pesanteur *(1h max)*

Les valeurs expérimentales étant les abscisses x_1 et x_2, et l'intervalle de temps $T = t_2 - t_1$,

a) Retrouver que l'équation du mouvement conduit à l'expression : $g = 2\frac{(\sqrt{x_2} - \sqrt{x_1})^2}{T^2}$

b) Valeurs de départ : conditions A ; x_1 aux environs de 15 à 20 cm, h = 50cm ($x_2 = x_1 + h$).

Faire une série de mesures de T (au moins 4 ou 5 cohérentes) pour ces conditions A ; noter les valeurs de T_A obtenues ; en déduire la mesure correspondante avec son incertitude $T_{Am} \pm \Delta T_A$

Appliquer cette valeur T_{Am} et celles de x_1 *et* x_2 pour calculer g ; on notera g_A la valeur obtenue.

b) Conditions B; modifier x_1 à votre guise, en conservant l'écart h = 50cm ; mêmes calculs, déterminer de même la valeur g_B.

c) En conservant la valeur de x_1 de votre choix parmi les deux précédentes, modifier maintenant la valeur de la hauteur h (conditions C); faire une nouvelle série et calculer g_C.

d) Etude des résultats : critiquer l'influence du choix de x_1 et de h ; quelle condition vous paraît la meilleure ? pourquoi ?

2.2 Etude des incertitudes *(30 mn, à faire après toutes les mesures A et B)*

Chaque mesure d'abscisse et de temps comporte une incertitude : c'est au minimum la précision de lecture ou d'affichage (±1 mm pour les distances, ±0.001 s pour le temps) mais elle peut être supérieure (précision de la position de coupure du faisceau ? répétabilité de la mesure de temps ?)

✓ Pour mettre en évidence l'incertitude sur la valeur de g due aux deux grandeurs temps T et positions x_1 et x_2, on va estimer Δg par : $\Delta g = (g_{max} - g)$ et donc calculer la valeur extrême g_{max} en prenant :

--d'abord, l'incertitude sur les hauteurs mais pas sur le temps (avec $x_2 + \Delta x$, $x_1 - \Delta x$, T);

--puis l'incertitude sur le temps et pas sur les hauteurs (avec x_1, x_2, $T - \Delta t$);

--enfin l'incertitude totale (avec $x_2 + \Delta x$, $x_1 - \Delta x$, $T - \Delta T$)).

✓ Faire ces calculs pour les mesures en conditions A, faire un tableau et résumer les valeurs obtenues sous la forme $g \pm \Delta g$. Que peut-on conclure ?

✓Comment pourrait-on améliorer ces mesures expérimentales ?

B) MOUVEMENT PARABOLIQUE

I - PRINCIPE DE L'EXPERIENCE

1.1 Trajectoire - Equations du mouvement

Un objet de masse m, soumis à son seul poids ($F = m\gamma$) est lâché d'un point O avec une vitesse initiale comportant une composante horizontale (axe x) et une composante verticale (axe y). D'après la relation fondamentale de la dynamique, on obtient un mouvement dans le plan (x, y) dont les équations des projections sur les axes selon les vecteurs unitaires $\overrightarrow{u_x}$ et $\overrightarrow{u_y}$, sont données par:

Selon l'axe vertical :

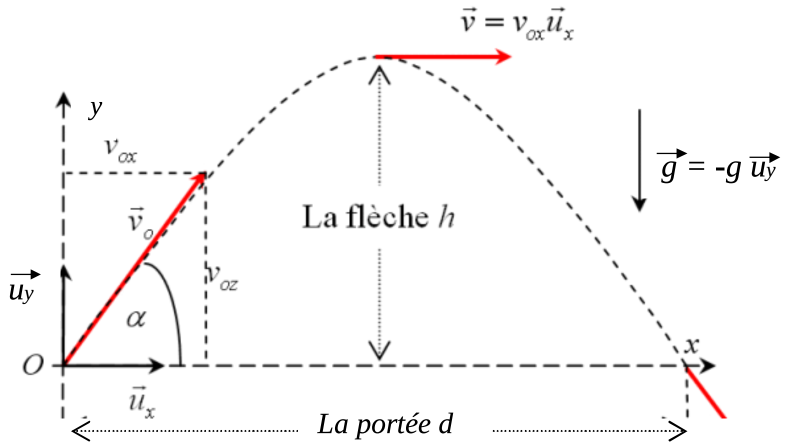
- ✓ L'accélération γ_y , constante, négative :
  $\gamma_y = -g = \partial v_y/\partial t$;
- ✓ La vitesse v_y , donnée à un instant t en intégrant l'accélération :
  $v_y = \int -g.\partial t = -gt + v_{y0} = \partial y/\partial t$;
- ✓ La position y , donnée à un instant t en intégrant la vitesse :
  $y = \int v_y.\partial t = -\frac{1}{2} g.t^2 + v_{y0}t + y_0$ (i)

Selon l'axe horizontal

- ✓ L'accélération γ_x , nulle :
  $\gamma_y = 0 = \partial v_x/\partial t$;
- ✓ La vitesse v_x, donnée à un instant t en intégrant l'accélération :
  $v_x = v_{x0} = \partial x/\partial t$;
- ✓ La position x , donnée à un instant t en intégrant la vitesse :
  $x = \int v_x.\partial t = v_{x0}t + x_0$ (ii)

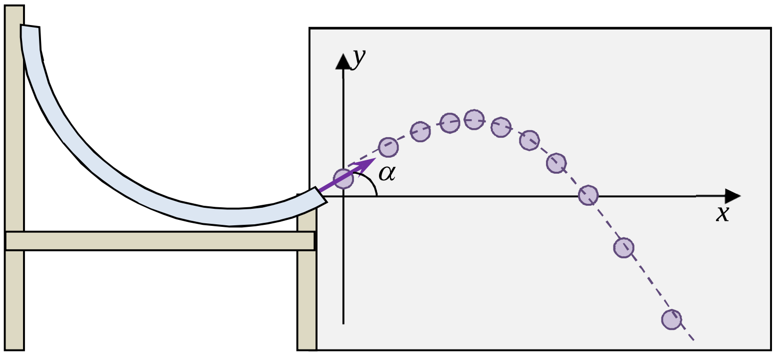
La trajectoire dans le plan (O, x, y), obtenue à partir de (i) et (ii), est une parabole: $y = a\,x^2 + b\,x + c$

On note que x, y, v_x, v_y et γ sont indépendantes de la masse m .



1.2 Montage

L'objet roule dans un tuyau monté sur un support orienté de façon à lui donner une vitesse oblique vers le haut en sortie du tube. Il suit alors une trajectoire parabolique devant un écran . Nous allons observer ces trajectoires et les enregistrer au moyen d'une caméra vidéo. Un logiciel d'ESAO nous permettra de retrouver l'équation de la trajectoire et de déterminer les paramètres Accélération et Vitesse initiale.



Une « webcam » est placée en face de l'écran et enregistre le mouvement. Ces enregistrements sont ensuite traités numériquement par le logiciel Atelier Scientifique (Généris). On peut également recopier les valeurs et faire les traitements (modélisation, calculs) à l'aide du logiciel Excel.

II - MANIPULATION

2.1 Equation de la trajectoire *(1h max)*

Retrouver, à partir des expressions (i) et (ii), que l'équation de la trajectoire est , avec $x_o=0$ et $y_o=0$:

$y= -1/2\ (g/v_{ox}^2)\ x^2 + (v_{oy}/v_{ox})\ x = a\ x$ avec $v_{ox}= v_o\cos\alpha$ et $v_{oy} = v_o\sin\alpha$

On enregistre le mouvement d'une bille avec le logiciel « Atelier Scientifique ».

✓Après l'enregistrement de la trajectoire par la caméra, on effectue le pointage de la bille en mode image par image, et on lance la modélisation ; le logiciel donne les paramètres de la courbe et le tableau des valeurs x, y et t.

✓Pour une des courbes, calculer en chaque point la vitesse horizontale $vo_x \pm \Delta v$; est-elle constante ? est-ce normal ?

✓Déterminer, d'après les paramètres de modélisation, les valeurs de v_0 et α .

✓Relever toutes les valeurs déterminées par le logiciel de modélisation.

✓Mesurer approximativement l'angle α d'inclinaison de la rampe de lancement à sa sortie ; comparer ces 2 valeurs de α .

✓ Répéter plusieurs fois l'expérience pour obtenir plusieurs fois la mesure de g.

2.2 Valeur de la gravité *(20 mn, à faire après l'ensemble des mesures A et B)*

✓Donner les valeurs de $\boldsymbol{g}$ obtenues par ces mesures ; calculer la moyenne g_m et l'écart δg_m entre ces valeurs ; commenter l'incertitude et la dispersion des résultats.

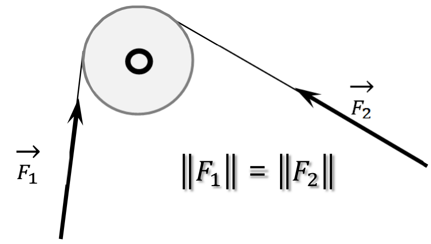
CONCLUSION :

Que pensez-vous de ces deux méthodes de mesures de l'accélération de la pesanteur g : facilité, précision… ? Quels autres types de mesures pourraient permettre de mesurer g, ou comment améliorer celles ci ?

FORCES ET VECTEURS

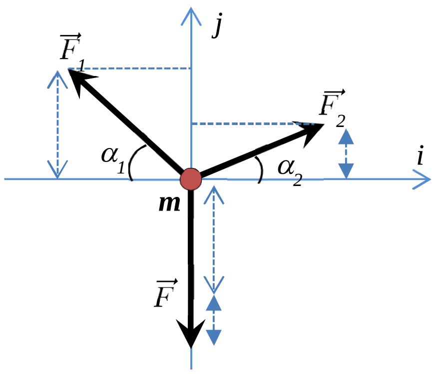
On s'intéresse à l'équilibre statique (c'est-à-dire immobile) d'une masse soumise à plusieurs forces. Les forces étant des grandeurs vectorielles, il faut envisager toutes leurs composantes dans l'espace. Pour simplifier le problème on travaillera seulement à deux dimensions, donc dans un plan.

On utilise pour transmettre les forces, des masses suspendues par des fils passant sur des poulies. Si le fil est rigide, la force est transmise dans une direction différente (grâce à la poulie) en conservant son module (grâce au fil). L'élément le plus gênant dans cette expérimentation est l'existence des frottements statiques des fils sur les poulies, dont on verra qu'ils peuvent introduire des incertitudes très importantes.



I. PRINCIPE

On envisage une masse m , soumise à son poids , de module $F=mg$ et suspendue à deux fils passant sur deux poulies de centres P_1 et P_2 et auquels on accroche des masses variables m_1 et m_2, ce qui permet d'exercer sur la masse m des forces F_1 et F_2 orientées selon des directions autres que la verticale, de module égal au poids des masses. L est la distance entre les poulies, h la hauteur entre m et la droite P_1P_2 , α_1 et α_2 les angles des fils avec l'horizontale.



Questions préliminaires (30 mn)

1) Le schéma ci-contre représente les forces auquelles la masse m est soumise ;

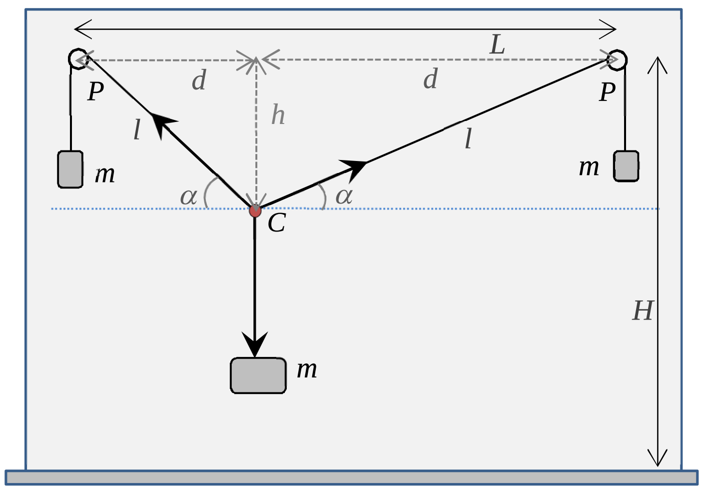
-- écrire les relations entre les forces F, F_1, F_2 et retrouver les conditions d'équilibre de la masse m:

$$m_1 \cos \alpha_1 = m_2 \cos \alpha_2$$
$$m_1 \sin \alpha_1 + m_2 \sin \alpha_2 = m$$

2) Montrer que dans le cas général ($m_1 \neq m_2$) (on rappelle que $\sin^2 \alpha + \cos^2\alpha = 1$) on a :

$$\sin\alpha_1 = \frac{m^2 + m_2^2 - m_1^2}{2mm_1} \quad et \quad \sin\alpha_2 = \frac{m^2 + m_1^2 - m_2^2}{2mm_2}$$

Décrire en quelques mots les limites physiques prévisibles du montage expérimental (hauteurs, masses…) ?
Le point d'application des 3 forces est ramené au point central d'accrochage C.



II MANIPULATION

Les systèmes d'accrochage des masses pèsent chacun 10g (à ne pas oublier dans les calculs des forces appliquées !). On dispose de masses complémentaires de 10 et 50g.

1) Observations préalables : frottements et incertitudes *(20 à 30 mn).*

Déplacer la masse m vers le haut, le bas, la droite, la gauche, et observer que si on place les crochets sans masses complémentaires, les frottements sont trop importants et que la masse centrale peut rester en équilibre à peu près n'importe où. Faire quelques essais rapides pour estimer pour quel ordre de grandeur des masses, quand on déplace m, le système revient toujours à peu près au même point d'équilibre. Ceci donne une première idée de la précision qu'on peut espérer selon les conditions d'expérience. Par la suite on déplacera à chaque valeur la masse m pour trouver son point d'équilibre.

2) Conditions symétriques ($m_1 = m_2 = m_0$) : tracé de courbe. *(1h environ)*

Dans ce cas on s'attend à trouver $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$.

--D'après les relations entre les projections des forces sur les directions verticale et horizontale, les masses m_0 étant gardées à une valeur constante , déterminer la relation linéaire entre m et α.

--Prendre m_0 =110g . Rechercher empiriquement (c'est-à-dire par la manipulation, sans faire le calcul) les valeurs maximale et minimale de m pour lesquelles on peut obtenir l'équilibre.

--Pour 5 ou 6 valeurs de m entre ces limites, mesurer les angles α_1, α_2 sur le rapporteur, la hauteur h et les distances d_1, d_2 . Calculer α_1, α_2 par leur tangente à partir des distances. Avec quelle précision vérifie-t-on $\alpha_1 = \alpha_2$? Vaut-il mieux mesurer les angles par le rapporteur ou par les distances ?

--Reporter les résultats en tableau ; dans la dernière ligne donner l'ordre de grandeur des incertitudes :

m	α_1 (rapporteur)	α_2 (rapporteur)	h	d_1	d_2	α_1 (=arc tan	α_2 (=arc tan)	α retenu	$\sin\alpha$	$\Delta\sin\alpha$
Δm=	$\Delta\alpha$=		Δh=	Δd=		$\Delta\alpha$=				

--Avec vos valeurs de α les meilleures possibles, calculer les valeurs de $\sin\alpha = f(m)$.

--Reporter sur un graphe les points ($\sin\alpha$, m) avec les barres d'incertitude.

--Déduire du graphe une estimation de m_0. Donner l'incertitude.

Remarque : si les ordinateurs sont disponibles, les étudiants qui le souhaitenet peuvent utiliser le tableur excel pour les calculs ci-dessus, et éventuellement pour le tracé du graphe et son éxploitation, (voir annexe) à condition de donner la formule des calculs d'incertitudes et de donner les relations littérales par lesquelles le logiciel obtient les résultats.

3) Conditions disymétriques ($m_1 \neq m_2$) : projection des forces. *(40 mn)*

Choisir au moins deux ensembles de valeurs (m, m_1, m_2) différentes et disymétriques pour lesquelles vous obtenez l'équilibre (par exemple : m=140g, m_1=80g, m_2=120g ;
m=100g, m_1= ? g, m_2= ? g.).

Dans chaque cas :

Déterminer les angles α_1 et α_2 (incertitudes ?) avec le rapporteur et en utilisant la tangente .

-- Choisir la meilleure des estimations des angles et faire un schéma des forces projetées (équivalent au schéma I.1) , les vecteurs ayant des longueurs proportionnelles aux masses (m, m_1, m_2) appliquées.

--Vérifier si les valeurs expérimentales remplissent les conditions d'équilibre (I.1), au moins dans les limites données par les intervalles d'incertitude.

MESURES DE MASSES - DENSITE

I. LES BUTS

Pendant cette séance , l'étudiant s'attachera à :

- comprendre ce qui définit la résolution d'une balance ;
- comparer différentes méthodes de mesure (directes et différentielles) ;
- comparer les erreurs relatives de masses déterminées avec deux types de balances ;
- minimiser les incertitudes en éliminant certains types d'erreurs;
- déterminer une grandeur physique non directement mesurable (la densité d'un matériau).

II. APPAREILLAGES

On dispose de trois types de balances :

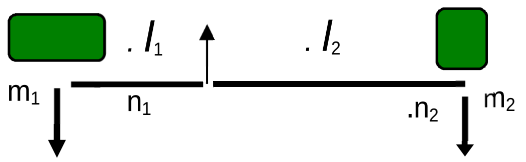
- une balance de Roberval qui peut supporter des masses sur ses plateaux jusqu'à ≈2 kg ;
- un balance de précision ou trébuchet (Ne pas dépasser 500g par plateau !!) ;
- une balance électronique qui sera utilisée à titre de comparaison.

III. PRINCIPES DES MESURES DE MASSES

Principe de la balance.

Une balance est un dispositif qui permet de mesurer des masses en réalisant un équilibre entre les moments des forces produits par des masses connues et une masse cherchée. Elle est basée NON sur l'égalité des masses, mais sur l'égalité des moments !!

On note m et n les masses respectives des masses et des plateaux , l les longueurs des bras



On a : $M_1 = P_1 . l_1 = P_2 . l_2 = M_2$

Soit : $(m_1 + n_1).g.l_1 = (m_2 + n_2).g.l_2$

Balance Roberval

trébuchet

balance romaine

Résolution de la balance

La **résolution** de la balance correspond à l'imprécision d'appréciation de l'équilibre c'est à dire à la plus petite masse qui, déposée sur l'un des plateaux, est capable de perturber l'équilibre. L'incertitude des mesures est limitée à cette valeur. Elle sera notée δm (incertitude **absolue**). Cette résolution se détermine une seule fois pour une balance donnée. (Se mesure plateaux en l'air , en équilibre avec des masses des deux cotés !)

Pesée simple (balance de Roberval)

Avec ce type de balance, on simplifie la relation en considérant que les deux plateaux ont la même masse et que les deux bras sont de la même longueur; on ramène donc la pesée à l'égalité des masses posées sur les deux plateaux.

Le corps à peser est placé dans un des plateaux (plateau A) et équilibré en ajoutant des masses dans le $2^{ème}$ plateau (plateau B). La somme des masses servant à l'équilibre est noté m_B. ex: $m_B = 125.4$ g

Dans une pesée simple, on considère que $M = m_B \pm \delta m$. (ex : 125.4 ± 0.1 g)

- Si le corps à peser est ensuite placé dans l'autre plateau (B) et équilibré avec un ensemble de masses de valeur m_A , c'est aussi une pesée (simple) de M. (ex: 124.8 g)

Si la balance est parfaitement juste, m_A et m_B seront égales (à δm près).

En pratique, toutefois, m_A et m_B sont différentes du fait de l'existence d'inégalités dans les longueurs des bras et les masses à vide des deux plateaux. De ce fait, **écrire $M = m_B \pm \delta m$ est présomptueux (et faux,** car l'incertitude est beaucoup plus grande!)

On a entre les deux pesées simples une différence notée 2DM. (ex: 125.4g -124.8g = 0.6g). La masse M du corps à déterminer ne correspond donc ni à m_A ni à m_B.

Dans la pratique, pour une balance à deux plateaux symétriques, on a une estimation raisonnable de l'incertitude en faisant ces deux pesées simples et en prenant leur moyenne:

(1) $M = (m_A + m_B) / 2$ et $\Delta M = DM + \delta m$ (2), où $DM = |m_A - m_B| / 2$

ΔM , incertitude sur la mesure de M (ex: $\Delta M = DM + \delta m = 0.3$ g+ 0.1g)

Et donc : $M = (m_A + m_B)_{/ 2} \pm \Delta M$ (ex : 125.1± 0.4 g)

On remarque que les deux simples pesées sont incluses dans cet écart, mais la valeur moyenne choisie est plus proche de la (probable) vraie valeur.

Si on veut effectuer une meilleure pesée, on devra revenir à l'égalité des moments (cf double pesée).

C'est également le principe de l'égalité des moments qui est utilisé lorsque par construction, les bras ne sont pas équivalents, ou quand un des plateaux n'existe pas (balances romaines utilisées sur les marchés, pèse-personnes de pharmacie, balances publiques pour peser les remorques…)

Double pesée

La double pesée permet d'éliminer les erreurs dues à l'inégalité des longueurs des bras et à la différence de masse des plateaux, ou plus généralement sur n'importe quelle balance, à une mauvaise estimation des moments de forces intervenant dans l'équilibre.

Sur une balance de type Roberval, une double pesée sera réalisée à chaque fois que la balance est considérée comme fausse, c'est à dire n'est pas à l'équilibre avec des masses égales sur les deux plateaux (ex: non conservation de l'équilibre en inversant le contenu des deux plateaux).

En double pesée, une tare (objet de masse quelconque mais supérieure à celle de l'objet étudié) est équilibrée par un ensemble de masses de valeur $\mathbf{m_1}$. Cette même tare (**sans la changer de plateau**) est ensuite équilibrée par l'objet à peser, de masse M, et un ensemble de masses $\mathbf{m'_1}$. Il ne reste alors que l'incertitude de la mesure, liée à la résolution de l'appareil (δm) et au nombre de mesures réalisées.

-- Première pesée: tare à gauche, équilibrée par des masses m_1 à droite (ex: 147.57 ± 0.02g)

-- Deuxième pesée : tare à gauche, équilibrée à droite par la masse cherchée M et des masses m'_1; (ex : 17.37±0.02g)

On peut alors écrire : $M_1 = (n_1+m_1).g.l_1 = (n_1+M+m'_1).g.l_1 = M_2$

Donc $m_1 = M + m'_1$

Finalement : $M = m_1 - m'_1$ avec $\mathbf{\Delta M} = \delta m_1 + \delta m'_1 = \mathbf{2\ \delta m}$

(ex : M = 142.57 – 17.37 g , soit M = 125.20 ± 0.04 g)

Remarque : **La masse réelle de la tare ne présente AUCUN intérêt. De plus, $\mathbf{m_1}$ n'est pas la masse de la tare, puisqu'une mesure réalisée en une pesée simple est supposée fausse.**

IV. MANIPULATION : MESURE DE MASSE

A – PESEE SIMPLE

Le corps à peser est l'objet marqué « M » (masse M).

1. Par simple pesée, déterminer m_A et m_B ainsi que δm. En déduire Δm et M en utilisant les relations (1) et (2). Donner le résultat sous la forme : M =……..±……..
2. Déterminer M grâce à la balance électronique : vérifier que tous les résultats concordent. (Incertitude minimale de la balance : ± 0,1 g)

B – DOUBLE PESEE

On pèsera par double pesée la masse « M » sur le plateau de droite, en utilisant sur le plateau de gauche l'objet marqué « T » comme tare.

-- déterminer la masse, M, et l'incertitude.

C - COMPARATIF

Faire un tableau récapitulatif ;Conclure quant à la qualité et la précision des différentes mesures.

SIMPLES PESEES			DOUBLE PESEE	ELECTRONIQUE
m_A	m_B	$m \pm \Delta M$	$m \pm \Delta m$	$m \pm \Delta' m$

V. MESURES DE DENSITES

Définition : On appelle densité d'un corps solide ou liquide, le rapport de la masse volumique ρ de ce corps à la masse volumique ρ_0 de l'eau.

Cette grandeur n'est pas accessible par une mesure directe : pour la déterminer, il faut mesurer à la fois la masse M d'un certain volume V de matière, et la masse m d'un volume identique V d'eau.

$d = \rho / \rho_0 = M/m$ (sans dimension ! cad pas d'unité) pour l'eau, d=1

On déterminera ici la densité du verre dont on dispose sous forme de billes sphériques.

A – MESURES DES MASSES ET VOLUMES

1. Détermination de la masse : prendre une dizaine de billes, les peser sur la balance électronique et par double pesée sur le trébuchet. En déduire la masse moyenne d'une bille , avec l'incertitude : $m_b \pm \Delta m_b$

2. Détermination du volume : à l'aide d'un pied à coulisse, mesurer le diamètre de chacune des billes ; faire la moyenne sur les 10 billes et donner le **rayon** moyen : $r_b \pm \Delta r_b$

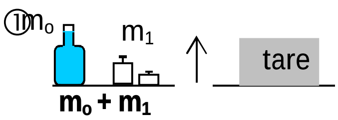
En déduire le volume moyen d'une bille $V_b \pm \Delta V_b$ (rappel : $V = 4/3\, \pi\, r^3$)

3. Calculer la densité du verre constituant les billes : $d_b \pm \Delta d_b$

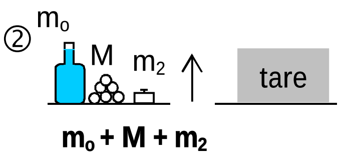
Que deviendrait la précision sur le résultat si on ne mesurait qu'une bille ? si on en mesurait 20 ?

B – MESURE PAR TRIPLE PESEE

Ceci va être réalisé en un minimum de manipulation, en effectuant une "triple pesée". Il s'agit de déterminer selon le même principe que la double pesée (c'est à dire en équilibrant des masses successives par rapport à une tare fixe posée toujours sur un **même plateau**) la masse M du corps et la masse m de l'eau retirée en faisant des différences entre pesées **.**

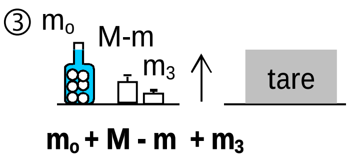


Pesée n°1: on prend une fiole munie d'un trait de repère. On la remplit d'eau jusqu'au repère, on équilibre la tare avec la fiole et une masse m_1. La masse de la fiole pleine d'eau est m_0.



Pesée n°2: après avoir placé le corps de densité inconnue à côté de la fiole, la tare est à nouveau équilibrée ($M = m_1 - m_2$).

Le corps est placé dans la fiole et le niveau d'eau est ramené au repère initial (un volume d'eau de masse m, égal au volume du corps est retiré).



Pesée n°3: la tare est à nouveau équilibrée ($m = m_3 - m_2$).

1. On utilise le trébuchet :_Déterminer la résolution de la balance.
2. Prendre pour masse M **une vingtaine de billes** de verre identiques. Effectuer les 3 pesées avec le plus de précision possible. En particulier, **faire attention aux niveaux d'eau,** car un écart même faible avec le niveau initial induit une erreur relative très importante sur m.
3. En déduire la densité du verre (en écrivant provisoirement 3 décimales). Calculer l'incertitude absolue δd (rappel : l'incertitude relative δd/d est donnée par la relation d'incertitude (3) déduite de l'équation d=M/m).
$$\frac{\delta d}{d} = \frac{\delta M}{M} + \frac{\delta m}{m} \qquad (3)$$
Ecrire la valeur de d correctement en tenant compte de l'incertitude : : $d_b \pm \Delta d_b$
4. Refaire les mesures en utilisant seulement **3 ou 4** billes. Calculer les nouvelles valeurs de M , m et d, puis la valeur de δd. Ecrire à nouveau : $d_b \pm \Delta d_b$.

C – COMPARAISON DES MESURES

Comparer (en tableau) les valeurs $d_b \pm \Delta d_b$ obtenues par les mesures en A.3, B.3 et B.4 ; commenter les résultats et conclure sur les sources d'incertitudes et le moyen de les minimiser.

DOSAGE D'UNE SOLUTION ACIDE

Dans ce TP, on va mesurer le titre d'une même solution acide par deux méthodes de dosage: par mesure volumétrique et par indicateurs colorés, et comparer les résultats obtenus.

I. INTRODUCTION - RAPPELS

1) Analyse quantitative volumétrique

L'analyse quantitative volumétrique permet de déterminer le **titre** d'une solution en un composé chimique donné, en utilisant des mesures simples de volume. L'analyse quantitative volumétrique met en jeu des réactions chimiques **totales et instantanées** entre des **solutions titrées** (dont on connaît la concentration très précisément) et un **volume connu** de la solution à doser. La fin de la réaction est mise en évidence par un changement de couleur de la solution titrée, de la solution à doser ou d'un **indicateur coloré** adapté.

2) Indicateurs colorés des dosages acido-basiques

Les indicateurs colorés usuels servant à mettre en évidence la fin d'une réaction acidobasique sont des acides ou des bases organiques faibles, dont les formes acide et basique ont, en solution aqueuse, des couleurs différentes. Ils sont ajoutés en **très petite quantité** (1 à 2 gouttes) dans la solution à doser.

- **Hélianthine (orange de méthyle)**

  Zone de virage entre pH=3,1 et pH=4,4
  Forme acide rouge et forme basique jaune

- **Bleu de bromothymol**

  Zone de virage entre pH=6,0 et pH=7,6 (couleur verte)
  Forme acide jaune et forme basique bleue

- **Phénolphtaléine**

  Zone de virage entre pH=8,3 et pH=9,9
  Forme acide incolore et forme basique rose

Le choix de l'indicateur coloré dépend de la nature des acides ou des bases à doser (forts ou faibles) et du pH de la solution au point d'équivalence.

3) Rappels sur les acides forts et bases fortes

a) Acides forts et bases fortes

Ils sont totalement dissociés en solution aqueuse :

$$AH + H_2O \rightarrow A^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)} \qquad B^-_{(aq)} + H_2O \rightarrow BH_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

b) pH des solutions aqueuses

L'eau est à la fois un acide faible et une base faible : H_2O peut capter ou donner un proton. La réaction acido-basique entre deux molécules d'eau est **l'autoprotolyse** de l'eau :

$$H_2O + H_2O \rightleftarrows OH^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$$

$$K_e = \left[H_3O^+\right]\left[OH^-\right] = 10^{-14}$$ à température ambiante

Suivant la proportion de H_3O^+ par rapport à OH^-, la solution est **acide, neutre ou basique**. L'acidité de la solution est mesurée par le pH ($pH = -\log\left[H_3O^+\right]$)

Pour des solutions de concentrations usuelles ($10^{-6} < C < 10^{-1}$ mol.L^{-1}) et à température ordinaire, on a:

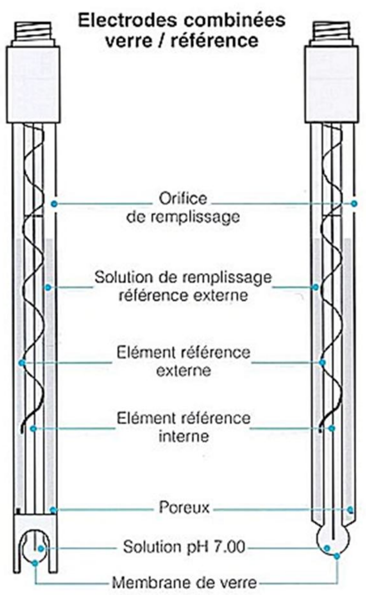
$$pH = -\log\left[AH\right] \text{ pour les acides forts}$$

$$pH = 14 + \log\left[B^-\right] \text{ pour les bases fortes}$$

Pour des solutions aqueuses extrêmement diluées, il n'est plus possible de négliger les H_3O^+ et les OH^- provenant de l'autoprotolyse de l'eau devant ceux provenant de l'acide fort ou de la base forte et la détermination du pH s'effectuera par la résolution d'une équation du second degré.

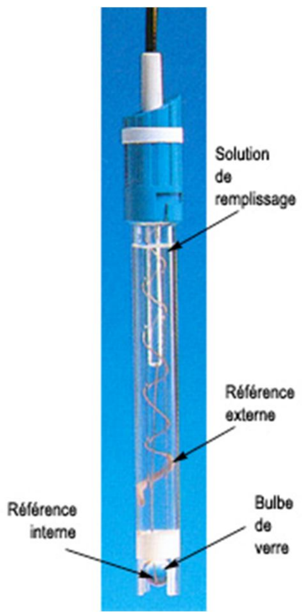
4) <u>Suivi du pH par potentiométrie</u>

On mesure, à intensité de courant nulle, la différence de potentiel entre une électrode de référence (généralement une électrode au **calomel** : $Hg/Hg_2Cl_2/KCl$) et une électrode indicatrice. L'électrode indicatrice est une **électrode de verre**, constituée d'une membrane de verre (0,01 mm) contenant une solution-tampon et dont le potentiel dépend du pH de la solution. On peut ainsi suivre directement le pH de la solution au cours d'un dosage et tracer la courbe pH=f($V_{ajouté}$). Les deux électrodes sont en général **combinées** : elles constituent un ensemble dans lequel les deux électrodes sont montées sur le même support.



Schémas d'électrode combinée en verre

Source :http://knol.google.com/k/la-mesure-du-ph-de-a-à-z#



<u>Remarque</u> : L'électrode de verre ne doit pas rester au sec : lorsqu'elle n'est pas utilisée, laisser l'électrode combinée immergée dans une **solution de KCl saturée**.

II. MANIPULATION

1) Préparation de la Solution Titrée de Soude

La solution titrée est une solution aqueuse de soude (NaOH) de titre connu (environ 0,1 mol.L^{-1} **connu précisément**) qui sera préparée par pesée **précise** d'une quantité connue de pastilles de soude.

☞ La mise en solution de ce sel solide sera faite directement dans une fiole jaugée de 100 mL avec une **certaine quantité initiale** d'eau distillée (environ la moitié)

☞ Lancer l'agitation

☞ Une fois toute la soude solubilisée, compléter le volume à 100 mL

☞ A partir de la masse précise de soude et du volume préparé, calculer la concentration de la solution. Déterminer l'incertitude sur ce résultat.

2) Dosage d'un Acide Fort par une Base Forte : Volumétrie

Dans ce cas, le saut de pH est très important ($\Delta pH \approx 12\ unités$) et la fin de la réaction peut être indifféremment mise en évidence par le changement de couleur d'un indicateur coloré usuel.

1) Réaction de dosage

La solution à doser est une solution aqueuse d'acide chlorhydrique (HCl).

La réaction de dosage s'écrit :

$$H^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)} + Na^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)} \rightarrow H_2O + Na^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$$

L'acide chlorhydrique (acide fort), la soude (base forte), le chlorure de sodium (sel d'acide fort et de base forte) sont **totalement dissociés** en solution aqueuse et les ions Cl^- et Na^+ ne participent pas à la réaction de dosage (ions **indifférents ou spectateurs**). La réaction chimique se résume donc à la réaction entre les ions **hydronium** (H_3O^+) et **hydroxyde** (OH^-) : $H_3O^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)} \rightarrow 2H_2O$

Question : Etant donnée la réaction de dosage, quel est le pH à l'équivalence ? Quel est l'indicateur le mieux adapté à ce dosage ? Ce sera l'indicateur à utiliser dans la suite du TP.

2) Mode opératoire

☞ Verser la solution titrée de NaOH dans la burette

☞ Placer dans le vase à réaction :

- 20,0 mL de solution acide mesurés à la pipette
- 20 mL d'eau distillée mesurés à l'éprouvette
- **1 ou 2 gouttes** d'indicateur coloré

☞ Mettre en marche l'agitation

☞ Faire couler la solution titrée jusqu'au changement de couleur de l'indicateur coloré et noter le volume V_1. Jeter le contenu du bécher dans le bidon « phase aqueuse ».

☞ Recommencer les opérations précédentes noter le volume V_2.

☞ Parmi les deux volumes V_1 et V_2, vérifier que les deux valeurs s'accordent entre elles ($|V_i - V_j| < 2\delta V$) et calculer le titre de la solution de soude. Exprimer cette concentration en molarité et en $g.L^{-1}$ (titre pondéral). Accompagner ces résultats de leur incertitude absolue. Calculer le pH de la solution d'acide chlorhydrique et évaluer l'incertitude sur ce résultat.

☞ Donner l'allure de la courbe pH=f(V(HCl)) en indiquant le pH à l'équivalence et les zones de changement de couleur de l'indicateur coloré choisi.

3) Dosage d'un acide fort par une base forte : pH-métrie

☞ Remplir la burette avec la solution titrée de soude.

☞ Disposer dans un bécher de 100 mL :

- 20,0 mL de solution d'acide fort mesurés à la pipette
- 2 gouttes d'hélianthine, 2 gouttes de phénolphtaléine
- l'électrode combinée rincée à l'eau distillée
- le petit barreau aimanté

☞ Lancer l'agitation.

☞ Etant donné les résultats de la partie III du TP, faire un dosage précis en versant la soude 0,5 par 0,5 mL, puis 0,2 par 0,2 mL aux alentours du saut de pH (au moins 2 mL avant et 2 mL après le saut de pH). Noter la couleur de la solution et la valeur du pH à chaque ajout après stabilisation de la mesure.

☞ Poursuivre l'addition de soude environ 5 mL après l'observation de l'équivalence de manière à pouvoir tracer une courbe complète. Jeter le contenu du bécher dans le bidon « phase aqueuse ».

☞ Tracer la courbe pH=f(V_{NaOH}) en y faisant figurer les zones de changement de couleur des indicateurs colorés. Reporter sur chaque point de la courbe l'incertitude sur la mesure de pH et sur la mesure de volume de soude.

☞ En utilisant la méthode des tangentes, déterminer le point d'équivalence et en déduire le titre de la solution d'acide fort. Comparer ce résultat avec celui obtenu par volumétrie.

CONCLUSION

Question : Quelle méthode est la plus précise ? Dans quelles conditions choisiriez vous l'une ou l'autre ?

.

REGRESSION LINEAIRE ET MOINDRES CARRES

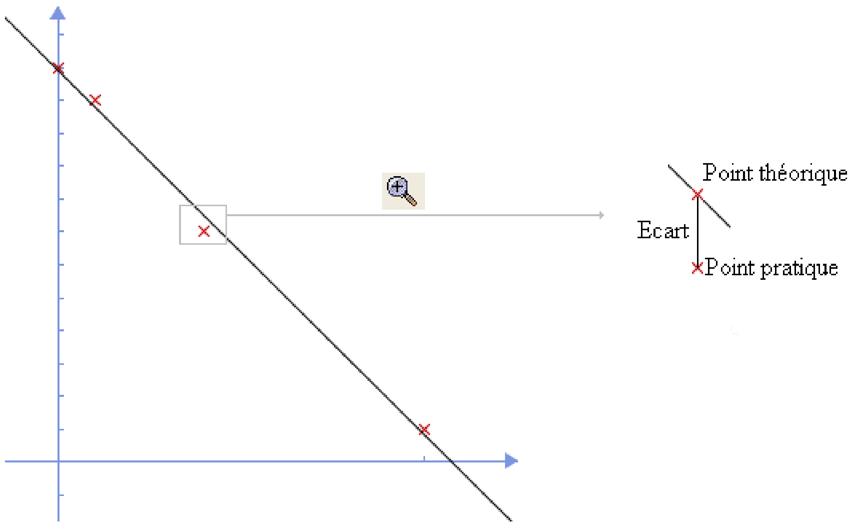
I. Régression linéaire

De nombreuses quantités physiques sont reliées par des conditions du type y=ax+b. Par des expÉriences, on arrive à connaitre des couples (x_i,y_i), et on cherche à déterminer a et b. En général, en raison des erreurs de mesure, les points (x_i,y_i) ne sont pas alignés, mais sont "presque" sur une même droite. Il faut alors choisir a et b de sorte que la droite soit la meilleure possible.

Pour cela, il faut choisir une mesure de l'écart entre une droite y=ax+b et le nuage de points expérimentaux (x_i,y_i). On choisit en général le carré de la différence entre le point théorique et le point expérimental, c'est-à -dire $(y_i-(ax_i+b))^2$. L'écart total est donc :

$$J(a,b) = \sum_{i=1}^{n} (y_i - ax_i - b)^2.$$

Effectuer une régression linéaire, c'est trouver la droite qui minimise l'écart précédent, c'est-à -dire la somme des carrés des différences : on parle de droite des moindres carrés.



En rouge, on a dessiné les points expérimentaux, et en noir, on a tracé une droite de régression. Le point théorique qui correspond au point pratique est celui situé sur la droite à la même abscisse. La méthode des moindres carrés consiste à prendre la somme des écarts au carré, et à la minimiser.

Un minimum d'une fonction de plusieurs variables ne peut se produire qu'en un point où les dérivées partielles s'annulent, c'est à dire:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial J}{\partial a} & = & -2\displaystyle\sum_{i=1}^{n} x_i(y_i - ax_i - b) = 0, \\ \dfrac{\partial J}{\partial b} & = & -2\displaystyle\sum_{i=1}^{n} y_i - ax_i - b = 0. \end{cases}$$

On a un système linéaire d'ordre 2 en a et b à résoudre, et on trouve :

$$a = \frac{n\displaystyle\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n} y_i}{n\displaystyle\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2} \text{ et } b = \frac{\displaystyle\sum_{i=1}^{n} y_i \sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n} x_i y_i}{n\displaystyle\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2}.$$

Ces formules sont en général directement implémentées dans les calculatrices ou les tableurs.

Ex : La tension U aux bornes d'une batterie de force électromotrice E et de résistance interne R est U = E- RI. On a procédé à différentes mesures :

Intensité mesurée (A) :	0	0,1	0,4	1
Tension mesurée (V) :	12	11	7	1

La régression linéaire donne $y = a\,x + b$ avec a =- 11.7 et b = +11.9 , soit E=11,9 Volts et R=11,07 Ohms.

II . Méthode des moindres carrés, en général

Bien sûr, toutes les quantités physiques ne sont pas linéaires. On peut parfois s'y ramener si l'évolution est exponentielle (comme dans l'étude d'une population) en prenant le logarithme, ou si l'évolution est logarithmique (comme pour une étude de pH) en prenant l'exponentielle. Mais ce n'est pas toujours le cas...

Lorsque la dépendance entre y et x est régie par une fonction f, où f dépend de certains paramètres, la méthode des moindres carrés consiste à trouver les paramètres pour minimiser

$$J = \sum_{i=1}^{n} (y_i - f(x_i))^2$$

où les (x_i,y_i) sont les points expérimentaux. On réalise ensuite le même type d'étude que pour le cas linéaire.

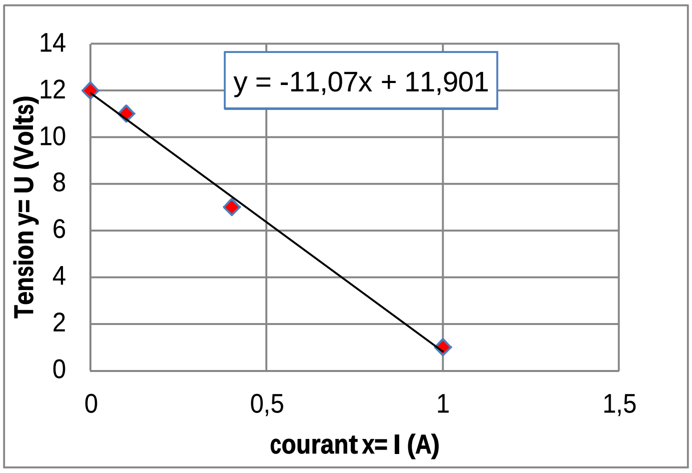
III. Ajustement par moindres carrés sous « Excel »

Cas d'une relation linéaire : $y = a\,x + b$

Une fois les valeurs entrées sous forme de tableau, sélectionner la zone des cellules contenant les données ;

Utiliser « Insertion graphes », puis, sur le graphique obtenu, sélectionner les points de données ; utiliser (clic droit) « Insérer une courbe de tendance » , « linéaire » et « Afficher l'équation de la courbe »

On obtient le résultat ci-contre



! Excel calcule vite et bien mais ne réfléchit pas à votre place : vous devez comprendre les valeurs qui sont données dans l'équation de la courbe de tendance, réfléchir aux unités, à la précision (écart entre les points de mesure et la droite de tendance), etc….

On peut également obtenir les valeurs de a et b sans faire tracer la droite :

Si:
- Les valeurs x sont dans les cellules A1 à A8
- Les valeurs y sont dans les cellules B1 à B8

>> a se calcule avec la formule =DROITEREG(B1:B8;A1:A8)

>> b se calcule avec la formule =MOYENNE(B1:B8)- DROITEREG(B1:B8;A1:A8)*MOYENNE(A1:A8)