

## Activité 3 : Erreurs et incertitudes

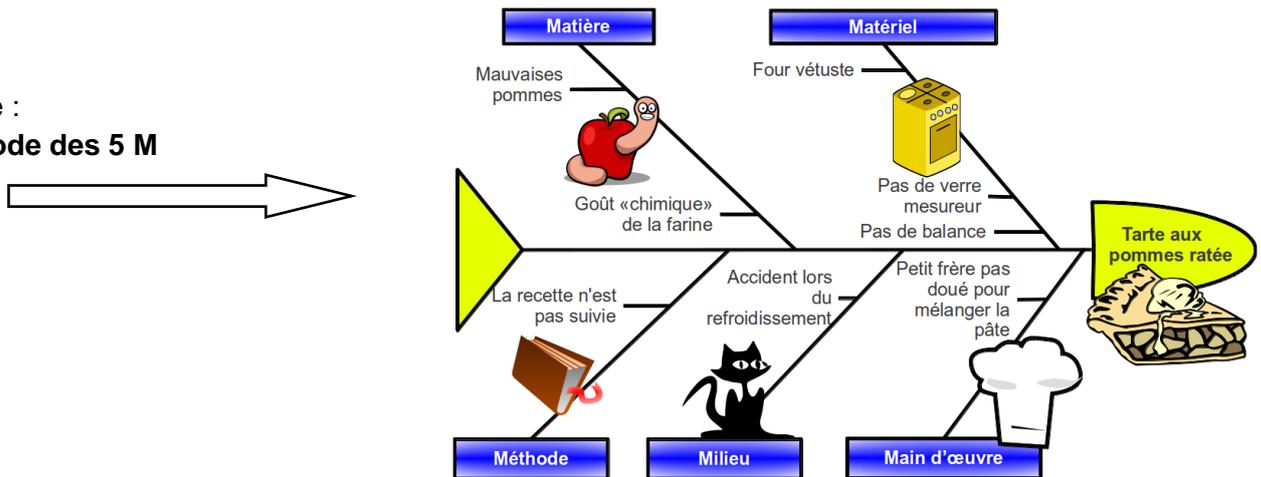
### I. Vocabulaire

- La grandeur  $M$  que l'on veut mesurer est appelée le mesurande.
  - On appelle mesurage l'action de mesurer, c'est-à-dire l'ensemble des opérations permettant de déterminer expérimentalement un intervalle de valeurs (centré autour de la valeur mesurée  $m$ ) dans lequel la valeur vraie a des chances de se trouver.
  - La valeur vraie  $M_{\text{vraie}}$  est la valeur que l'on obtiendrait si le mesurage était parfait. Un mesurage n'étant jamais parfait il ya toujours une erreur de mesure :  $\text{Erreur} = m - M_{\text{vraie}}$
- Remarque : par définition la valeur vraie n'est pas connue donc l'erreur non plus.

### II. Comment recenser les erreurs de mesures ?

Réponse :

la méthode des 5 M



### III. Précision et exactitude

La **précision** (ou la fidélité) d'un ensemble de mesures indique à quel point celles-ci sont proches les unes des autres. L'**exactitude** (ou la justesse) d'une série de mesures indique à quel point la moyenne des résultats de mesures est proche de la valeur vraie.

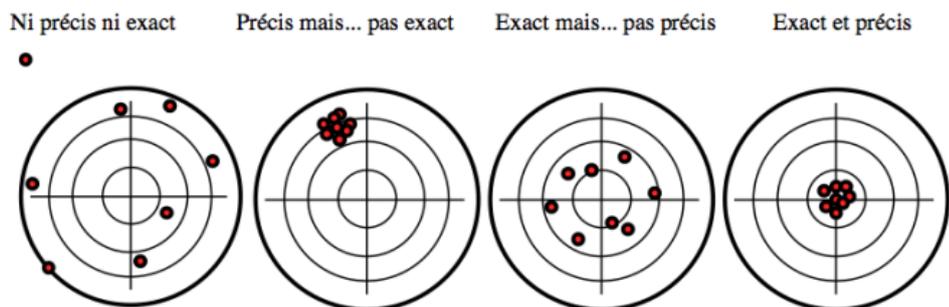


Illustration des notions (le centre de la cible correspond à la valeur vraie)

### IV. Expression d'un résultat de mesurage

Exemple :  $T = 25,3 \pm 0,4 \text{ } ^\circ\text{C}$  (niveau de confiance 68%)

- La température vraie  $T_{\text{vraie}}$  a environ 68 % de chance d'être dans l'intervalle  $[24,9 \text{ } ^\circ\text{C} ; 25,7 \text{ } ^\circ\text{C}]$  ;
- $25,3 \text{ } ^\circ\text{C}$  est la valeur mesurée ;
- $0,4 \text{ } ^\circ\text{C}$  est l'incertitude notée  $U(T)$ .

Cas général :  $M = m \pm U(M)$  unité (niveau de confiance en %)

- on devra écrire  $U(M)$  avec 1 seul chiffre significatif, arrondi par excès ;
- on devra écrire  $m$  avec le même nombre de décimales que  $U(M)$  et la même unité ;
- l'intervalle de confiance est  $[m - U(M) ; m + U(M)]$  ;
- la précision relative est  $U(M)/m$  (en % si on multiplie par 100)

## V. Comment évaluer la valeur mesurée et l'incertitude ?

### 1) Incertitude de type A

On parle de mesure de type A lorsqu'on effectue  $n$  mesures dans les mêmes conditions expérimentales dites conditions de répétabilité (même opérateur, même matériel, ...).

- La valeur retenue comme valeur mesurée est la moyenne :  $m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i$

- L'incertitude pour un niveau de confiance de 68 % est :

$$U_{68\%}(M) = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{avec} \quad \sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

- Pour calculer  $\sigma$  (estimateur) on utilise la fonction " $\sigma_{n-1}$ " des calculatrices ou "ecartype" dans Excel.

- L'incertitude élargie à un niveau de confiance de 95 % est :

$$U_{95\%}(M) = k \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

où le coefficient  $k$  (appelé coefficient de Student) dépend du nombre de mesures  $n$  selon le tableau ci-dessous :

$n$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12
$t$	12,7	4,3	3,18	2,78	2,57	2,45	2,37	2,31	2,26	2,20
$n$	14	16	18	20	25	30	40	50	100	$\infty$
$t$	2,16	2,13	2,11	2,09	2,06	2,04	2,02	2,01	1,98	1,96

### 2) Incertitude de type B

On réalise une seule mesure donc  $m$  est la valeur du résultat de mesure. L'incertitude type est calculée à partir du certificat d'étalonnage, de la documentation constructeur...

Cas usuels	Formule pour calculer l'incertitude avec un niveau confiance de 95%
<b>Appareil analogique</b> (appareil à cadran, réglet, ...)	$U(M) = \frac{1 \text{ graduation}}{\sqrt{3}}$
<b>Appareil numérique</b> (voltmètre, ampèremètre, ...)	$U(M) = \frac{2(p \times \text{lecture} + n \times \text{digit})}{\sqrt{3}}$ <p>Les valeurs de <math>p</math> et <math>n</math> sont données par le constructeur, le digit est la plus petite valeur lisible sur l'écran</p>
<b>Autre instrument</b> (verrerie, ...) avec la précision ou tolérance du constructeur	$U(M) = \frac{2 \times \text{tolérance}}{\sqrt{3}}$

## VI. Incertitude composée

Lorsqu'un résultat  $m$  est obtenu à partir de mesurage de grandeurs indépendantes on calcule l'incertitude à l'aide des calculs suivants :

- si  $M = M_1 + M_2$  ou  $M = M_1 - M_2$  alors 
$$U(M) = \sqrt{U(m_1)^2 + U(m_2)^2}$$
- si  $M = M_1 \times M_2$  ou  $M = \frac{M_1}{M_2}$  alors 
$$\frac{U(M)}{M} = \sqrt{\left(\frac{U(M_1)}{M_1}\right)^2 + \left(\frac{U(M_2)}{M_2}\right)^2}$$

### Exercice 1 : mesures de type B

Dans chacun des cas ci-dessous exprimer correctement le résultat du mesurage.



Thermomètre gradué en °C



Tolérance



Précision = 3% valeur lue + 1 digit

### Exercice 2 : mesures de type A avec un détecteur de particules

- Ecouter les explications introductives du professeur ;
- Lisez les documents 1, 2 et 3 ;
- Répondez à la question : a-t-on mis en évidence la radioactivité du granit et le type de particules émises ?

#### Document 1 : les expériences

- Expérience 1 : série de mesures (chaque mesure dure 40 s) dans les conditions de répétabilité avec une seule « raquette » (voir photo) ;
- Expérience 2 : mesures similaires avec deux morceaux de granite (environ 8 kg au total) sous la raquette ;
- Expérience 3 : une feuille de papier ordinaire est intercalée entre la raquette et les morceaux de granite ;
- Expérience 4 : une feuille de papier aluminium est intercalée ;
- Expérience 5 : la raquette est éloignée du granite d'environ 8 cm.



Expérience 1 : raquette seule



Expérience 2 : raquette et granite



Exp3 : feuille papier ordinaire



Exp4 : feuille papier alu



Exp5 : raquette éloignée

**Document 2 :** les résultats de mesures

	Exp1	Exp2	Exp3	Exp4	Exp5
	Nombre signaux				
Mesure1	1393	1735	1768	1740	1513
Mesure2	1463	1599	1711	1738	1600
3	1449	1707	1724	1659	1511
4	1402	1752	1772	1766	1498
5	1389	1735	1685	1725	1569
6	1392	1706	1685	1716	1613
7	1441	1667	1664	1814	1530
8	1392	1688	1817	1716	1553
9	1357	1800	1669	1696	1604
10	1382	1708	1768	1783	1540
11	1431	1694	1684	1783	1538
12	1439	1729	1781	1708	1492
13	1384	1732	1699	1804	1631
14	1429	1658	1722	1706	1515
15	1385	1676	1756	1796	1543
16	1460	1706	1723	1767	1588
17	1417	1742	1723	1718	1600
18	1443	1768	1759	1757	1512
19	1416	1708	1728	1791	1508
20	1421	1757	1738	1770	1530

**Document 3 : Les trois formes de radioactivité**

On distingue trois types de rayonnements, correspondant à trois formes de radioactivité :

- le rayonnement  $\alpha$  : émission d'un noyau d'hélium (constitué de 2 protons et de 2 neutrons) appelé aussi "particule alpha". La portée dans l'air de ces particules est de quelques centimètres, elles sont arrêtées par une simple feuille de papier ;
- le rayonnement  $\beta$  : transformation d'un neutron en proton accompagnée par l'émission d'un électron. Il suffit d'une feuille d'aluminium ou d'une vitre en verre ordinaire pour interrompre le parcours des électrons ;
- le rayonnement  $\gamma$  : émission d'un rayonnement électromagnétique, de même nature que la lumière visible ou les rayons X, mais beaucoup plus énergétique et donc plus pénétrant. Plusieurs centimètres de plomb ou plusieurs décimètres de béton sont nécessaires pour les arrêter.

