

Miniguide méthodologique

Loïc Séguin-Charbonneau

Ce miniguide est un aide mémoire très condensé. Si vous avez besoin d'explications détaillées ou de plus de détails sur les bonnes pratiques méthodologiques, vous pouvez consulter une des nombreuses références sur le sujet (par exemple, [1, 2, 4, 5]). Pour des définitions précises de tous les termes de métrologie, vous pouvez consulter le Vocabulaire international de métrologie [3].

Règles d'écriture du résultat d'un mesurage

Lorsqu'on écrit un résultat de mesurage, que ce soit un résultat de mesurage obtenu directement avec un instrument de mesure ou obtenu indirectement à partir de calculs, on écrit la valeur mesurée, l'incertitude et l'unité en respectant les règles suivantes :

1. l'incertitude s'écrit avec un ou deux chiffres significatifs ;
2. le nombre de positions décimales de la valeur mesurée est le même que celui de l'incertitude ;
3. la valeur mesurée est suivie du signe \pm , puis de l'incertitude, le tout entre parenthèses et suivi de l'unité ;
4. lorsque nécessaire, on utilise la notation scientifique en prenant soin d'utiliser la même puissance de 10 pour la valeur mesurée et l'incertitude.

Exemple correct	Exemple incorrect	Règle violée
$(23,4123 \pm 0,0018) \text{ mA}$	$(23,412\ 31 \pm 0,001\ 87) \text{ mA}$	1
$(123,7 \pm 0,8) \mu\text{F}$	$(123,7 \pm 0,08) \mu\text{F}$	2
$(8,79 \pm 0,03) \text{ V}$	$8,79 \pm 0,03 \text{ V}$	3
$(4,284 \pm 0,002) \times 10^{-5} \text{ m}$	$(4,284 \times 10^{-5} \pm 2 \times 10^{-8}) \text{ m}$	4

TAB. 1 : Exemples d'utilisation des règles d'écriture pour les résultats de mesurage.

Opération		Valeur	Incertitude
Somme	$R = A + B$	$\tilde{R} = \tilde{A} + \tilde{B}$	$\Delta R = \Delta A + \Delta B$
Différence	$R = A - B$	$\tilde{R} = \tilde{A} - \tilde{B}$	$\Delta R = \Delta A + \Delta B$
Produit	$R = A \times B$	$\tilde{R} = \tilde{A} \times \tilde{B}$	$\Delta R = \tilde{R} \left(\frac{\Delta A}{ \tilde{A} } + \frac{\Delta B}{ \tilde{B} } \right)$
Quotient	$R = A/B$	$\tilde{R} = \tilde{A}/\tilde{B}$	$\Delta R = \tilde{R} \left(\frac{\Delta A}{ \tilde{A} } + \frac{\Delta B}{ \tilde{B} } \right)$
Exposant	$R = A^n$	$\tilde{R} = \tilde{A}^n$	$\Delta R = \tilde{R} \left(n \frac{\Delta A}{ \tilde{A} } \right)$

TAB. 2 : Règles simples de calcul d'incertitude pour des variables indépendantes $A = \tilde{A} \pm \Delta A$ et $B = \tilde{B} \pm \Delta B$.

Évaluation et propagation des incertitudes

Lorsqu'on effectue un mesurage, il est impossible de connaître exactement la valeur du mesurage [4]. Il faut évaluer l'incertitude en additionnant l'incertitude instrumentale et l'incertitude liée au contexte. L'incertitude instrumentale peut être déterminée à partir de règles empiriques (par exemple, prendre la moitié de la plus petite division pour une lecture sur un instrument graduée) ou être fournie par le fabricant (par exemple, le fabricant d'un multimètre numérique donne un tableau détaillé pour le calcul des incertitudes instrumentales).

On évalue les incertitudes liées au contexte en tenant compte de la méthode de mesure. Lorsqu'il fait cette évaluation, l'expérimentateur doit être confiant que la valeur du mesurande se situe dans l'intervalle défini par l'incertitude. Par exemple, pour un instrument à affichage numérique, si la valeur sur l'affichage fluctue, on peut attribuer une incertitude liée au contexte de la moitié de l'écart entre les valeurs extrêmes.

Dans des cas simples, on peut calculer l'incertitude sur un résultat de mesurage composé en utilisant les règles résumées dans le tableau 2. Ces règles simples surestiment généralement l'incertitude composée, mais elles donnent le bon ordre de grandeur.

Présentation des tableaux

Un tableau doit présenter les données de façon claire, concise et complète. Un bon tableau maximise la quantité d'information fournie en minimisant l'encre utilisée. Les colonnes doivent être clairement identifiées, les unités et les incertitudes doivent être présentes, les données doivent être écrites en respectant les règles d'écriture. La légende accompagnant le tableau

r (m)	E (kN/C)
$0,201 \pm 0,008$	$9,82 \pm 0,03$
$0,233 \pm 0,009$	$7,04 \pm 0,03$
$0,262 \pm 0,009$	$5,91 \pm 0,03$
$0,29 \pm 0,01$	$4,72 \pm 0,03$
$0,32 \pm 0,01$	$3,92 \pm 0,03$
$0,35 \pm 0,01$	$3,59 \pm 0,03$
$0,38 \pm 0,01$	$2,62 \pm 0,03$
$0,41 \pm 0,01$	$2,60 \pm 0,03$
$0,44 \pm 0,01$	$2,09 \pm 0,03$
$0,47 \pm 0,01$	$2,27 \pm 0,03$

TAB. 3 : Grandeur du champ électrique produit par une particule ponctuelle chargée, E , à différentes distances de la particule, r .

doit décrire son contenu suffisamment clairement pour qu'un lecteur comprenne la nature des données qui y sont présentées. Les tableaux doivent être numérotés pour pouvoir y faire facilement référence dans le texte.

Par exemple, considérons un laboratoire où on aurait mesuré la grandeur du champ électrique produit par une charge ponctuelle à différentes distances de la charge. L'expression théorique du champ électrique est

$$\vec{E} = \frac{kq}{r^2} \vec{u}_r \quad (1)$$

Le tableau 3 montre les différentes mesures obtenues lors de cette expérience.

Présentation des graphiques

Un graphique doit présenter les données de façon claire, concise et complète. Un bon graphique maximise la quantité d'information fournie en minimisant l'encre utilisée. Les axes doivent être clairement identifiés, les unités et les incertitudes doivent être présentes. Les droites extrêmes doivent être présentes. La légende accompagnant le graphique doit décrire son contenu suffisamment clairement pour qu'un lecteur comprenne la nature des données qui y sont présentées et la relation qu'on tente de mettre en évidence. Les graphiques doivent être numérotés pour pouvoir y faire facilement référence dans le texte.

Si on reprend l'exemple de la section précédente, la figure 1, montre la relation entre la gran-

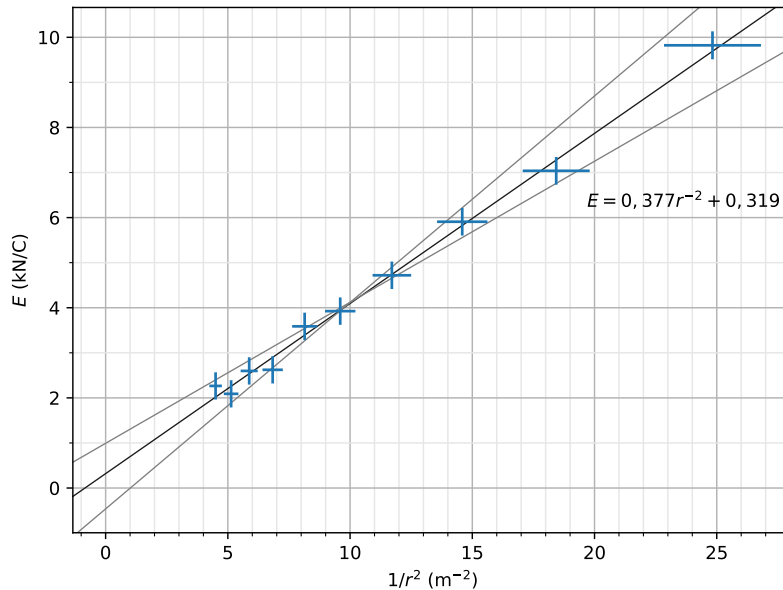


FIG. 1 : Grandeur du champ électrique d'une particule ponctuelle chargée. La relation linéaire entre la grandeur du champ électrique et l'inverse du carré de la distance est cohérente avec l'expression théorique du champ électrique produit par une charge ponctuelle (équation 1).

deur du champ électrique et l'inverse du carré de la distance. Théoriquement, cette relation devrait être linéaire et c'est bien ce que semble montrer le graphique.

Vérification d'un modèle

Vérifier un modèle implique de s'assurer que les mesures concordent avec les prédictions du modèle. Plus spécifiquement, on vérifie si

- la distribution des points est cohérente avec ce que prédit le modèle (ils devraient être répartis aléatoirement autour de la courbe de régression et on doit avoir un maximum de 20% de points singuliers) ;
- les paramètres du modèle obtenus expérimentalement sont cohérents avec les paramètres théoriques.

Très souvent, dans le cours, le modèle sera linéaire ou il aura été linéarisé. Par exemple, en analysant la relation entre E et $1/r^2$ plutôt que celle entre E et r , on a linéarisé l'expression de la grandeur du champ électrique produit par une charge ponctuelle. Dans ce cas, les points devraient être distribués le long d'une droite, et les paramètres de la droite (pente et ordonnée à l'origine) devraient avoir des valeurs de kq et 0, respectivement.

Cahier de laboratoire

La tenue d'un cahier de laboratoire fait partie des bonnes pratiques en recherche. Le cahier de laboratoire devrait être clairement identifié (nom du propriétaire et sujet). Pour chaque expérience, le cahier de laboratoire devrait contenir le titre de l'expérience et la date à laquelle l'expérience a été réalisée. On met ensuite le travail préalable au laboratoire, puis les données et observations qualitatives obtenues lors de l'expérience. Les schémas de circuits et certains calculs simples devraient aussi se retrouver dans le cahier de laboratoire.

Références

- [1] Gilles BOISCLAIR et Jocelyne PAGÉ. *Guide des sciences expérimentales*. 4e. Montréal : ERPI, 2014.
- [2] André DE BELLEFEUILLE. *Introduction aux techniques expérimentales*. /CLASSE/Physique/etudiant/cours/203-NYB-Électricitéetmagnétisme/NYB-labo/GuideITE/GuideITE-part1.pdf. 2014.
- [3] GROUPE DE TRAVAIL 1 DU COMITÉ COMMUN POUR LES GUIDES EN MÉTROLOGIE. *Définitions du VIM et annotations informatives*. 2017. URL : <https://jcgmbipm.org/vim/fr/>.
- [4] GROUPE DE TRAVAIL 1 DU COMITÉ COMMUN POUR LES GUIDES EN MÉTROLOGIE. *Évaluation des données de mesure - Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure*. https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM_100_2008_F.pdf. Bureau international des poids et mesures, 2008.
- [5] Éric LAFLAMME. *Mesures et incertitudes en laboratoire*. Montréal : Fides éducation, 2018.