

100%
Concours

PHYSIQUE
AU CONCOURS D'ENTRÉE
Masseur-kinésithérapeute

Salah Belazreg

Docteur en physique,
Professeur au lycée Camille Guérin
et conseiller pédagogique tuteur à Poitiers



Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements

d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour

les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée. Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).



© Dunod, Paris, 2012
ISBN 978-2-10-058619-6

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Table des matières



Chapitre 1 **Mesures et incertitudes** **1**

■ 1. Grandeurs physiques. Équations aux dimensions	1
■ 2. Système international d'unités	1
■ 3. Équations aux dimensions	2
■ 4. Mesures des grandeurs	3
■ 5. Dispersion d'une série de mesures	6
Questions à choix multiples	10
Exercices	10
Corrigés	11

Chapitre 2 **Ondes** **14**

■ 1. Généralités sur les ondes	14
■ 2. Ondes mécaniques – Propagation d'un signal	16
■ 3. Ondes lumineuses	24
■ 4. Ondes sonores	27
Questions à choix multiples	33
Exercices	36
Corrigés	40

Chapitre 3 **Propriétés des ondes** **47**

■ 1. Diffraction de la lumière	47
■ 2. Les interférences	49
■ 3. L'effet Doppler-Fizeau	56
Questions à choix multiples	60
Exercices	63
Corrigés	65

Chapitre 4 **Les bases de la mécanique** **71**

■ 1. La cinématique	71
■ 2. Dynamique d'un point matériel	81
■ 3. Centre d'inertie. Quantité de mouvement	85
■ 4. Les lois de Newton	86
■ 5. Étude des mouvements plans	89
Questions à choix multiples	97
Exercices	100
Corrigés	106

Chapitre 5 **Travail, puissance, énergie et chaleur** **125**

■ 1. Travail et puissance d'une force	125
■ 2. Théorème de l'énergie cinétique	129
■ 3. Énergie potentielle. Énergie mécanique	131
■ 4. Changements de phase	134
■ 5. Notion de quantité de chaleur	134
Questions à choix multiples	138
Exercices	140
Corrigés	144

Chapitre 6

Électrocinétique des courants continus

162

■ 1. Le courant électrique	162
■ 2. Définitions	165
■ 3. Les lois de Kirchhoff	166
■ 4. Énergie électrique reçue par un récepteur	168
■ 5. Le générateur	172
Questions à choix multiples	174
Exercices	175
Corrigés	178

Chapitre 7

Le noyau et les transformations nucléaires

188

■ 1. Le noyau atomique	188
■ 2. Stabilité des noyaux	193
■ 3. La radioactivité	195
■ 4. Les réactions nucléaires provoquées	203
Questions à choix multiples	206
Exercices	209
Corrigés	216

Chapitre 8

Temps et relativité restreinte

234

■ 1. La relativité galiléenne	234
■ 2. Invariance de la vitesse de la lumière	236
■ 3. Relativité restreinte	238
Exercices	240
Corrigés	242

Chapitre 9

Les oscillateurs

246

■ 1. Les oscillations libres des oscillateurs mécaniques	246
■ 2. Les oscillations libres des oscillateurs électriques	253
Questions à choix multiples	259
Exercices	261
Corrigés	267

Chapitre 10

Transferts quantiques d'énergie et dualité onde-corpuscule

287

■ 1. Nature corpusculaire de la lumière	287
■ 2. Spectres d'émission et d'absorption	289
■ 3. Le laser - Oscillateur à fréquence optique	291
■ 4. Caractéristiques d'un faisceau laser	297
■ 5. Quelques applications du laser	299
■ 6. Mécanique ondulatoire	300
Questions à choix multiples	301
Exercices	303
Corrigés	306

Chapitre 11

Optique géométrique

314

■ 1. Émission et propagation de la lumière	314
■ 2. Réflexion et réfraction de la lumière	317
■ 3. Notion d'objet et d'image	319
■ 4. Les lentilles minces	320
■ 5. L'œil. Accommodation	324
■ 6. L'appareil photographique	327
Questions à choix multiples	327
Exercices	328
Corrigés	331
Index	344

Mesures et incertitudes

1

Plan

1. Grandeurs physiques. Équations aux dimensions
2. Système international d'unités
3. Équations aux dimensions
4. Mesures des grandeurs
5. Dispersion d'une série de mesures

Objectifs

- Savoir établir une équation aux dimensions
- Retrouver l'unité d'une grandeur physique dans le système S.I.

■ 1. Grandeurs physiques. Équations aux dimensions

La physique est une science basée sur l'observation de phénomènes physiques, et l'étude de ces phénomènes nécessite la définition de grandeurs physiques.

On appelle **grandeur physique** toute propriété physique mesurable.

Une grandeur physique F est mesurable si on sait définir l'égalité, la somme et le rapport de deux grandeurs de son espèce.

La mesure de la grandeur s'obtient donc par comparaison entre deux grandeurs physiques de même nature dont l'une est choisie comme unité, soit :

$$F = f \cdot U_F \quad \left| \begin{array}{l} F : \text{grandeur physique} \\ f : \text{valeur numérique de la grandeur } F \\ U_F : \text{unité de la grandeur } F \end{array} \right.$$

La valeur numérique f est liée à la précision de la mesure.

Par exemple, pour une masse : $m = x \text{ kg}$ où x représente la valeur mesurée de la masse.

■ 2. Système international d'unités

Des grandeurs fondamentales ont été choisies : elles sont au nombre de sept (tableau ci-après). L'ensemble des unités est regroupé dans un système cohérent et universel d'unités, appelé le **système international (SI)**.

Toute grandeur physique peut donc s'exprimer sur la base de ces unités fondamentales.

Grandeurs fondamentales	Unités	Symboles
Masse	kilogramme	kg
Longueur	mètre	m
Temps	seconde	s
Intensité du courant électrique	ampère	A
Température	kelvin	K
Quantité de matière	mole	mol
Intensité lumineuse	candéla	cd
Unités supplémentaires		
Angle plan	radian	rad
Angle solide	stéradian	sr

■ 3. Équations aux dimensions

Le principe des équations aux dimensions consiste à ramener les différents paramètres qui interviennent dans une formule aux grandeurs fondamentales du système international d'unités.

Le tableau ci-dessous donne quelques grandeurs physiques et leur dimension.

Grandeur physique	Dimension	Unité
Masse	M	kg
Longueur	L	m
Temps	T	s
Intensité du courant électrique	I	A

Exemple

- Unité d'une accélération.

Comme $a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}$ (cas d'un mouvement rectiligne), alors :

$$[a] = \frac{[x]}{[t^2]} \quad ([a] : \text{se lit dimension de } a).$$

Or $[x] = L$ et $[t] = T$, donc :

$$[a] = \frac{L}{T^2} = LT^{-2}$$

$$[a] = \frac{L}{T^2} = L \cdot T^{-2}.$$

Dans le système (SI), une accélération s'exprime donc en $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.

■ Unité d'une force.

Comme $F = ma$, alors $[F] = [m][a]$, soit

$$[F] = MLT^{-2}$$

Dans le système (SI), une force s'exprime en $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Le tableau ci-dessous donne quelques grandeurs dérivées (elles dérivent des unités fondamentales) ainsi que leurs unités.

Grandeur	Equations aux dimensions	Unités de base	Noms
Force	MLT^{-2}	$\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$	newton : N
Pression	$ML^{-1}T^{-2}$	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$	pascal : Pa
Travail	ML^2T^{-2}	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$	joule : J
Puissance	ML^2T^{-3}	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3}$	watt : W
Charge	$Q = IT$	A · s	coulomb : C
Potentiel	$ML^2T^{-2}Q^{-1}$	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-1}$	volt : V
Capacité	$M^{-1}L^{-2}T^2Q^2$	$\text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^4 \cdot \text{A}^2$	farad : F
Résistance	$ML^2T^{-1}Q^{-2}$	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-2}$	ohm : Ω
Conductance	$M^{-1}L^{-2}TQ^2$	$\text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^3 \cdot \text{A}^2$	siemens : S
Champ magnétique	$MT^{-1}Q^{-1}$	$\text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}$	tesla : T
Inductance	$ML^2T^{-2}I^{-2}$	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-2}$	henry : H

■ 4. Mesures des grandeurs

■ 4.1. Valeur exacte et valeur approchée

Soit à mesurer une certaine grandeur physique F , une longueur par exemple.

Si l'on recommence plusieurs fois la mesure, en général on trouve des mesures légèrement différentes et on n'a aucune raison d'affirmer que l'une plutôt que l'autre de ces mesures exprime la valeur exacte de la grandeur F .

C'est dire que la valeur mesurée f d'une grandeur physique F n'est qu'une valeur approchée de F .

■ 4.2. Les différents types d'erreurs de mesure

Il existe différents types d'erreurs de mesure :

Erreurs systématiques

Ce sont celles qu'entraînent l'emploi de méthodes ou d'instruments imparfaits :

- erreurs dues à l'expérimentateur ;
- erreurs dues à la méthode de mesure ;
- erreurs dues à l'appareil de mesure.

Erreurs accidentelles

À l'incertitude due à l'emploi de méthodes ou d'instruments imparfaits évoquée précédemment, peut venir se superposer une autre incertitude due, celle-là, au manipulateur.

Prenons l'exemple d'un observateur qui voudrait mesurer une température. L'imperfection de son œil mais aussi la grosseur des traits de la graduation du thermomètre, notamment, introduisent une erreur due à l'observateur.

Ces erreurs sont surtout imputables à l'imperfection des sens de l'opérateur.

Remarque

On diminue les erreurs accidentelles, d'une part, en choisissant des méthodes de mesure bien étudiées et des instruments perfectionnés. ▮

4.3. Intervalle de confiance et précision sur une mesure

Intervalle de confiance

Du fait des incertitudes dues aux appareils ou (et) aux manipulateurs, il n'y a pas tout à fait coïncidence entre la « valeur exacte » de la grandeur mesurée et la mesure correspondante. Dès lors, il est judicieux de présenter le résultat sous forme d'un encadrement définissant un intervalle ayant de fortes chances de contenir la « vraie valeur » de la grandeur physique mesurée.

- Si F est une grandeur que l'on a de bonnes raisons de supposer invariable et dont la mesure puisse être recommencée à volonté dans d'aussi bonnes conditions, on prend souvent :

– pour **valeur approchée f de F** , la moyenne arithmétique des résultats des n mesures effectuées :

$$\bar{f} = \frac{f_1 + f_2 + \cdots + f_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i}{n}$$

– pour **incertitude absolue Δf** , la moyenne des valeurs absolues des écarts entre chaque résultat et cette moyenne $\bar{f}$:

$$\Delta f = \frac{|f_1 - \bar{f}| + |f_2 - \bar{f}| + \cdots + |f_n - \bar{f}|}{n}$$

- Ne connaissant pas la valeur exacte de la grandeur physique F , l'expérimentateur tiend souvent le langage suivant : « Il y a de fortes chances pour que la valeur exacte cherchée se situe dans une fourchette Δf , encadrant la valeur annoncée ! » En fait, il recherche une valeur convenable de l'encadrement du résultat qu'il a trouvé. Le choix d'une valeur Δx , qu'on appelle l'**intervalle de confiance**.

Si l'on fixe « les fortes chances » (c'est-à-dire la probabilité) à 95 %, ce taux de 95 % constitue le niveau de confiance correspondant à l'intervalle de confiance annoncé.

– Toute valeur numérique f résultant d'une mesure doit être accompagnée d'une indication sur la confiance qu'on peut lui accorder.

L'intervalle de confiance, souvent appelé incertitude sur la mesure, est noté Δf ; Δf a la même unité que f .

– L'incertitude dépend du niveau de confiance choisi.

Incertitude d'une mesure

Définition - Incertitude absolue

L'écart maximal entre la valeur centrale et toute autre valeur mesurée représente l'incertitude absolue.

– Si, après plusieurs mesures, on connaît deux valeurs extrêmes f_1 et f_2 d'une grandeur F , on écrit :

$$f_1 \leq F \leq f_2 \quad (1)$$

La valeur la plus probable de F est :

$$f = \frac{f_1 + f_2}{2}$$

La borne supérieure de l'incertitude sur F est :

$$\Delta f = \frac{f_2 - f_1}{2}$$

On peut remplacer l'expression (1) par la relation :

$$F = f \pm \Delta f$$

– Si, après plusieurs mesures, on connaît deux valeurs extrêmes F_1 et F_2 d'une grandeur F , on écrit :

$$F_1 \leq F \leq F_2$$

La valeur la plus probable de F est :

$$f = \frac{F_1 + F_2}{2}$$

– Théorème des incertitudes absolues.

L'incertitude absolue sur une somme ou sur une différence est égale à la somme des incertitudes absolues sur chaque terme.

Si $f = a + b$ ou $g = a - b$, alors $\Delta f = \Delta g = \Delta a + \Delta b$

Définition - Incertitude relative

La précision de la mesure est donnée par le rapport :

$$\frac{\Delta f}{f}$$

C'est un nombre sans unité, encore appelé incertitude relative sur le résultat.

L'incertitude relative sur un produit ou un quotient est égale à la somme des incertitudes relatives sur chaque facteur.

Si $f = a \cdot b$ ou $g = \frac{a}{b}$, alors $\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}$ et $\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}$

D'une façon générale, si la grandeur f est définie par $f = \frac{a^\alpha b^\beta}{c^\gamma}$, alors :

$$\frac{\Delta f}{f} = \alpha \frac{\Delta a}{a} + \beta \frac{\Delta b}{b} + \gamma \frac{\Delta c}{c}$$

Incertitude sur les valeurs calculées

Souvent, la grandeur physique F que l'on veut déterminer n'est pas directement mesurable. Elle est fonction de plusieurs autres grandeurs physiques $X, Y, \dots$ mesurables.

Par exemple, si F dépend de deux grandeurs X et Y , alors :

$$f = f(x, y)$$

Si les mesures x et y sont indépendantes, alors :

$$\Delta f = \left| \frac{\partial f}{\partial x} \right| \Delta x + \left| \frac{\partial f}{\partial y} \right| \Delta y$$

■ 5. Dispersion d'une série de mesures

Lorsque l'expérimentateur répète plusieurs fois la même mesure expérimentale d'une grandeur physique X (avec un protocole ne comportant pas d'erreur systématique),

il se trouve devant une série de résultats appelée « population ». Si n représente le nombre total de mesures, alors la taille de la population est n .

Dans ce cas, on ne cherche plus l'écart absolu. On applique plutôt la méthode statistique pour répondre à la question : « quel est le résultat qui mérite le plus notre confiance et quelle confiance peut-on lui accorder ? »

■ 5.1. Nature des mesures

Au cours d'une manipulation, les mesures peuvent être indépendantes, corrélées ou aléatoires.

Définitions - Mesures indépendantes et mesures corrélées

- Des mesures sont considérées comme **indépendantes** si elles sont effectuées par des manipulateurs différents sur des appareils différents (mais du même type) en suivant le même protocole.
- Les mesures sont considérées comme **corrélées** si elles sont effectuées par plusieurs manipulateurs utilisant successivement le même matériel ou un seul manipulateur utilisant plusieurs appareils.

Cette situation est la plus courante en travaux pratiques.

■ 5.2. Exploitation d'un grand nombre de mesures

Si l'on dispose d'un grand nombre de mesures d'une même grandeur physique, on commence dans un premier temps à les grouper en **classes**, c'est-à-dire le nombre de mesures appartenant à chaque classe. Ensuite, on trace l'**histogramme** correspondant en portant en ordonnée les effectifs de chaque classe (n) et en abscisse la valeur centrale (x) de chaque classe. Les histogrammes sont fréquemment de forme symétrique aplatis sur les côtés. On en trace souvent la courbe « enveloppe », à l'allure de cloche ; cette courbe est appelée « courbe de Gauss ».

Définitions - Moyenne et écart-type

- Soit x_i l'une des quelconque des mesures. La **moyenne des mesures**, notée $\bar{x}$, est donnée par :

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad \text{où } n = \sum_{i=1}^n n_i \text{ représente le nombre total de mesures}$$

- L'**écart-type** σ_n caractérise la dispersion d'une série de mesures autour de la moyenne.

Si la valeur exacte de la moyenne $\bar{x}$ est connue ou si la population est de taille finie, on utilise l'écart-type σ_n défini à partir de l'écart quadratique moyen :

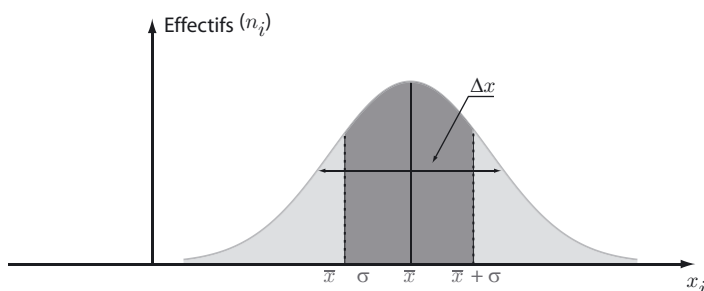
$$\sigma_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

Dans le cas où la moyenne $\bar{x}$ est une estimation, c'est-à-dire que sa valeur exacte est inconnue (c'est le cas en physique expérimentale, en chimie...) un meilleur estimateur de l'écart-type est l'écart-type corrigé :

$$\sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

S'il n'y a pas d'erreur systématique, $\bar{x}$ est la meilleure estimation possible de la valeur exacte inconnue de la grandeur mesurée.

Si les effectifs des classes se placent sur une courbe de Gauss, la théorie des probabilités montre qu'il y a alors 68 % de chances pour qu'une valeur isolée x_i soit comprise dans l'intervalle $[\bar{x} - \sigma_{n-1}; \bar{x} + \sigma_{n-1}]$.



On dit que que l'incertitude sur x_i est σ (pour un niveau de confiance de 68 %).

La largeur à mi-hauteur Δx est telle que :

$$\Delta x = 2\sigma \sqrt{2 \ln 2} \simeq 2,35\sigma$$

Pour avoir un niveau de confiance de 95 %, il est nécessaire de considérer un intervalle $[\bar{x} - 2\sigma_{n-1}; \bar{x} + 2\sigma_{n-1}]$.

Avec un intervalle $[\bar{x} - 3\sigma_{n-1}; \bar{x} + 3\sigma_{n-1}]$, on atteint le niveau de confiance 99,7 %.

Pour un grand nombre de mesures, la meilleure estimation de la grandeur physique mesurée est la moyenne arithmétique des résultats. L'incertitude est estimée par l'écart-type σ , 2σ , 3σ , ... avec un niveau de confiance qui dépend de l'étendue de l'intervalle considérée ($\pm\sigma$, $\pm 2\sigma$, $\pm 3\sigma$, ...).

Un exemple pratique – Exploitation d'un nombre restreint de mesures

Cette situation est la plus courante en travaux pratiques.

Lors d'une séance de travaux pratiques de chimie en 1^{re}S, différents groupes d'élèves ont déterminé le volume molaire des gaz. Les mesures des 9 groupes donnent :

Groupe	1	2	3	4	5	6	7	8	9
V_M (en $L \cdot mol^{-1}$)	25,78	24,98	25,58	25,19	25,58	25,27	26,36	25,97	25,19

Si les erreurs sont uniquement aléatoires, on prend la moyenne des 9 mesures comme estimation de la grandeur à déterminer, soit :

$$\bar{x} = \frac{\sum_i x_i}{n}$$

Numériquement : $V_{M(\text{moy})} = 25,54 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$.

L'étendue des mesures est :

$$r = x_{\max} - x_{\min}, \text{ soit } r = 1,38 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$$

L'écart-type est donné par :

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

Numériquement $\sigma_n = 0,44 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$.

On est dans le cas d'une estimation d'une moyenne par un intervalle de confiance.

On suppose que la distribution des moyennes d'échantillon suit une loi normale

$$\mathcal{N}\left(m, \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right).$$

L'intervalle de confiance de la moyenne est :

$$\left[\bar{x} - t_\alpha \cdot \frac{\sigma_n}{\sqrt{n}}; \bar{x} + t_\alpha \cdot \frac{\sigma_n}{\sqrt{n}}\right] \quad \left| \begin{array}{l} t_\alpha : \text{variable réduite correspondant} \\ \text{au risque choisi} \end{array} \right.$$

Au risque de 5 %, les tables donnent $t_\alpha = 2,31$.

La probabilité pour qu'une variable aléatoire X appartienne à un intervalle donné est de 95 % pour l'intervalle $[\bar{x} - 2,31 \times \frac{\sigma_n}{\sqrt{n}}; \bar{x} + 2,31 \times \frac{\sigma_n}{\sqrt{n}}]$.

Ainsi :

$$25,20 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \leq V_M \leq 25,88 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$$

On a donc 95 % de chance que la valeur réelle du volume molaire se trouve dans cet intervalle.

Coefficient de confiance 0,99, la table donne $t_\alpha = 3,35$ et par suite :

$$25,05 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \leq V_M \leq 26,03 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$$



Questions à choix multiples

- 1** La grandeur G est liée aux grandeurs X , Y et Z au moyen de l'expression : $G = X^a Y^b Z^c$
Les dimensions de X , Y et Z sont : $[X] = L^2.T^{-1}$; $[Y] = L^{-2}$; $[Z] = M.L^2$;
 $[G] = M.T^{-1}$

Par analyse dimensionnelle, on trouve que les coefficients a , b et c sont égaux à :

- ☐ a. $a = 0$; $b = 1$; $c = 1$ ☐ c. $a = 1$; $b = 1$; $c = 1$ ☐ e. $a = 1$; $b = 2$; $c = 1$
☐ b. $a = 0$; $b = 1$; $c = 2$ ☐ d. $a = 1$; $b = 1$; $c = 2$

- 2** Soient 3 grandeurs x_1 , x_2 et x_3 reliées par la relation $x_3 = \frac{x_1^2}{x_2}$

$$x_1 = 1,20 \pm 0,02 \text{ m}$$

$$x_2 = 1,80 \pm 0,03 \text{ m}$$

$x_3 = 0,80 \text{ m}$ avec l'incertitude suivante :

- ☐ a. $\pm 0,01 \text{ m}$ ☐ c. $\pm 0,03 \text{ m}$ ☐ e. $\pm 0,07 \text{ m}$
☐ b. $\pm 0,02 \text{ m}$ ☐ d. $\pm 0,04 \text{ m}$

Exercices

- 3** (**) 1. Un fil de cuivre de longueur $l = 60,36 \text{ cm}$ et de diamètre $d = 0,998 \text{ mm}$ a une masse $m = 4,200 \text{ g}$.

Calculer en unités S.I., la masse volumique μ du cuivre.

2. Déterminer la précision de la mesure de la grandeur μ puis donner l'expression correcte du résultat.

On donne les formules d'approximations :

$$(1 + \varepsilon)^n \simeq 1 + n\varepsilon$$

$$(1 - \varepsilon)^n \simeq 1 - n\varepsilon$$

$$(1 - \varepsilon)(1 + \varepsilon') \simeq 1 - \varepsilon + \varepsilon'$$

- 4** (***) La valeur du champ de gravitation $\mathcal{G}$ est donnée par la relation :

$$\mathcal{G}(z) = g_0 \frac{R_T^2}{(R_T + z)^2}$$

1. Montrer que si z est petit devant R_T , $\mathcal{G}(z)$ est une fonction linéaire de z .

2. Calculer l'erreur relative que l'on commet si l'on confond $\mathcal{G}(z)$ et g_0 quand $z = 3200 \text{ m}$.

On donne :

rayon terrestre : $R_T = 6400 \text{ km}$.

$$(1 + \varepsilon)^{-2} \simeq 1 - 2\varepsilon$$

$$\frac{1}{1 - \varepsilon} \simeq 1 + \varepsilon$$

Corrigés

1 ☐ a. ☐ b. ☐ c. ☐ d. ☒ e.

$$G = X^a \cdot Y^b \cdot Z^c$$

La relation doit être homogène, donc

$$[G] = [X]^a [Y]^b [Z]^c$$

Comme $[X] = L^2 \cdot T^{-1}$, $[Y] = L^{-2}$ et $[Z] = M \cdot L^2$, alors

$$[G] = (L^2 \cdot T^{-1})^a \times (L^{-2})^b \times (M \cdot L^2)^c = M^c L^{2a-2b+2c} \cdot T^{-a}$$

Or $[G] = M \cdot T^{-1}$.

L'identification des exposants des différentes dimensions conduit à :

$$\begin{cases} c = 1 \\ 2a - 2b + 2c = 0 \\ -a = -1 \end{cases} \quad \text{d'où} \quad \begin{cases} a = 1 \\ b = 2 \\ c = 1 \end{cases}$$

2 ☐ a. ☐ b. ☐ c. ☒ d. ☐ e.

Comme $x_3 = \frac{x_1^2}{x_2}$, alors $\frac{\Delta x_3}{x_3} = 2 \times \frac{\Delta x_1}{x_1} + \frac{\Delta x_2}{x_2}$

$$\text{A.N. : } \frac{\Delta x_3}{x_3} = 2 \times \frac{0,02}{1,20} + \frac{0,03}{1,80} = 0,05 \text{ et } \Delta x_3 = 0,04 \text{ m}$$

3 1. La masse volumique μ d'un solide ou d'un liquide est telle que :

$$\mu = \frac{m}{V} \quad \begin{cases} \mu : \text{masse volumique en } \text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \\ m : \text{masse en } \text{kg} \\ V : \text{volume en } \text{m}^3 \end{cases}$$

Le volume du fil de cuivre est le produit de sa section S par la longueur l , soit :

$$V = S l \quad \text{où } S = \pi r^2 = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

Ainsi :

$$\mu = \frac{m}{V} = \frac{m}{\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 l} = \frac{4m}{\pi d^2 l}$$

Application numérique :

$$l = 60,36 \text{ cm} = 60,36 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 60 \left(1 + \frac{0,36}{60}\right) \cdot 10^{-2} \text{ m} = 60(1 + 0,006) \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$d = 0,998 \text{ mm} = (1 - 0,002) \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$m = 4,200 \text{ g} = 4,200 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{4 \times 4,200 \cdot 10^{-3}}{\pi \times (1 - 0,002)^2 \cdot 10^{-6} \times 60(1 + 0,006) \cdot 10^{-2}} \\ &= \frac{2,8}{\pi} \cdot 10^4 \times (1 - 0,002)^{-2} \times (1 + 0,006)^{-1} \end{aligned}$$