



Licence de Sciences

Sous la direction de Thibaud Etienne



Licence de Sciences

Maths pour les sciences • Physique • Chimie
Géosciences • Sciences de la vie

DUNOD

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, 2020

11, rue Paul Bert, 92240 Malakoff

www.dunod.com

ISBN 978-2-10-079550-5

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

Les selfies des auteurs	IX
Préambule	XII
Remerciements	1

PARTIE

1

MÉTHODOLOGIE SCIENTIFIQUE

CHAPITRE	INTRODUCTION À L'ANALYSE DIMENSIONNELLE	4
1	1 Grandeurs physiques, dimensions et unités	4
	2 Les préfixes d'unités et les ordres de grandeur	7
	3 Homogénéité des expressions en sciences	8
	4 Quelques constantes	9
CHAPITRE	LA RÉOLUTION D'UN EXERCICE	10
2	1 Lecture attentive de l'énoncé	10
	2 Résolution du problème	10
	3 Répondre à la question posée	11
	4 Mise en situation	12
CHAPITRE	LA DÉMARCHE SCIENTIFIQUE	15
3	1 La méthode scientifique	15
	2 Le sens de l'esprit critique	16
CHAPITRE	SAVOIR COMMUNIQUER	19
4	1 Rigueur du langage, précision du vocabulaire	19
	2 Expression rigoureuse d'une grandeur numérique	20
	3 Les schémas, les graphes, les tableaux	21

PARTIE

2

MATHÉMATIQUES POUR LES SCIENCES

CHAPITRE	ÉLÉMENTS D'ALGÈBRE	24
5	1 Les nombres	24
	2 Les symboles	25
	3 Vers un langage formel	27
	4 Intervalles et ensembles	27
	5 Les opérations	28
	6 Racine carrée et puissance d'un nombre	33
	7 Les produits remarquables	34
	8 Les (in)équations	35

CHAPITRE

6

GÉOMÉTRIE ET CALCUL VECTORIEL	40
1 Les angles géométriques.....	40
2 Propriétés de formes géométriques élémentaires.....	41
3 Introduction au calcul vectoriel.....	47
4 Orientation du plan, cercle trigonométrique et angles orientés.....	52
5 Retour au calcul vectoriel : le produit scalaire.....	57

CHAPITRE

7

ANALYSE	59
1 Les suites numériques.....	59
2 Variations et convergence d'une suite.....	60
3 Fonction réelle d'une variable réelle.....	62
4 Calcul différentiel.....	71
5 Calcul intégral.....	78
6 Fonctions usuelles.....	82

PARTIE

3

PHYSIQUE

CHAPITRE

8

LA MÉCANIQUE DU POINT MATÉRIEL	96
1 La cinématique du point.....	96
2 La dynamique du point matériel.....	100
3 Puissance, travail et énergie en référentiel galiléen.....	111

CHAPITRE

9

LES ONDES	121
1 Les ondes mécaniques.....	122
2 Les ondes électromagnétiques.....	122
3 Les ondes progressives.....	123
4 Les ondes progressives sinusoïdales.....	124

CHAPITRE

10

L'OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE	129
1 De l'optique ondulatoire à l'optique géométrique.....	129
2 Propagation de la lumière.....	133
3 Instruments d'optique.....	140
4 Les lentilles minces.....	145
5 Application des lentilles minces.....	149

PARTIE

4

CHIMIE

CHAPITRE

11

L'ALPHABET DU CHIMISTE	154
1 Qu'est-ce qu'un élément chimique ?.....	154
2 Classer pour prévoir.....	156
3 De quoi est fait un atome ?.....	158
4 Prévoir les propriétés des éléments.....	165

CHAPITRE

12**LES COMPOSÉS CHIMIQUES** 168

- 1** Les différents types de liaisons chimique 168
- 2** Écrire des formules chimiques 173
- 3** Nommer les composés 176

CHAPITRE

13**LES TRANSFORMATIONS DE LA MATIÈRE** 181

- 1** Modélisation par une équation chimique 181
- 2** Quelques grandes catégories de transformations 184

CHAPITRE

14**LES ASPECTS QUANTITATIFS** 189

- 1** Quelques grandeurs importantes en chimie et leurs unités 189
- 2** Calculs basés sur la réaction chimique 195
- 3** Application au cas d'un titrage 201

PARTIE

5**GÉOSCIENCES**

CHAPITRE

15**PRÉSENTATION GÉNÉRALE ET SPÉCIFICITÉS** 206

- 1** Une science de l'observation 207
- 2** Durée et dimension des processus 209
- 3** Attention au vocabulaire 213

CHAPITRE

16**OUTILS MATHÉMATIQUES, PHYSIQUES ET CHIMIQUES** 215

- 1** Outils mathématiques pour les géosciences 215
- 2** La géophysique 219
- 3** La géochimie 223

CHAPITRE

17**DYNAMIQUE DE LA PLANÈTE TERRE** 231

- 1** La planète Terre 231
- 2** La dynamique du globe 242

PARTIE

6**SCIENCES DE LA VIE**

CHAPITRE

18**ANATOMIE HUMAINE** 254

- 1** Présentation générale 254
- 2** Quelques définitions et ordres de grandeur 255
- 3** Les systèmes du corps humain 256
- 4** Un système particulier : le système immunitaire 257

CHAPITRE

19**ORGANISATION GÉNÉRALE DE LA CELLULE** 260

- 1** Organisation des cellules procaryotes 261
- 2** Organisation des cellules eucaryotes 262
- 3** Les caractères distinctifs entre cellules procaryote et eucaryote 264

CHAPITRE	L'INFORMATION GÉNÉTIQUE ET SON EXPRESSION	266
20	1 Acides nucléiques : ADN et ARN	266
	2 Les protéines	268
CHAPITRE	LES DIFFÉRENTS PROCESSUS DE DIVISION CELLULAIRE	273
21	1 La mitose	273
	2 La méiose	275
CHAPITRE	LA DIVERSITÉ DU VIVANT	277
22	1 La diversité génétique intra-spécifique	277
	2 Facteurs et mécanismes influençant la biodiversité	278
	3 Diversité du vivant et évolution de la biodiversité	282
CHAPITRE	GRANDEURS ET CONVERSIONS UTILISÉES EN BIOLOGIE	285
23	1 Focus sur le dalton	285
	2 Préparation d'une solution	285
CHAPITRE	RÉSoudre UNE PROBLÉMATIQUE EN BIOLOGIE	288
24	1 Tracé d'un graphe	288
	2 Analyse de documents issus d'expériences en biologie	289
	Index	293
	Crédits iconographiques	299

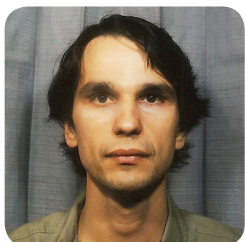
Les selfies des auteurs

Thibaud Etienne



Je suis maître de conférences en chimie théorique à l'université de Montpellier, où j'enseigne principalement le calcul en première année de Licence, la mécanique et la chimie quantiques en Licence et en Master. Mes recherches portent sur la construction et l'utilisation de modèles mathématiques permettant de décrire et prédire ce qui se produit lorsque des molécules interagissent avec la lumière.

Jean-Luc Aymeric



Titulaire d'un doctorat de microbiologie de l'université d'Aix-Marseille I, je suis enseignant-chercheur à l'université de Montpellier. J'enseigne la microbiologie et l'immunologie, notamment sur les thématiques d'interactions hôtes-microorganismes. Depuis plus de dix ans, je suis responsable de la Licence des Sciences de la Vie et j'ai également assuré la responsabilité d'un Master de Biotechnologie, puis d'un Master de microbiologie. J'interviens également dans les préparations aux différents concours de l'enseignement (agrégation, CAPES et CAPET). Au sein de l'UMR, je m'intéresse à l'échappement immunitaire des bactéries entéro-pathogènes qui vivent en symbiose avec des nématodes.

Rodolphe Cattin



Je suis professeur à l'université de Montpellier, où j'enseigne en Licence et en Master la géodynamique, la géophysique et les risques naturels. Mes recherches portent sur la dynamique actuelle des chaînes de montagnes, notamment sur le rôle des phénomènes extrêmes comme les séismes et les crues éclair en Himalaya. J'ai commencé ma carrière à l'École Normale Supérieure de Paris, où j'ai pendant plusieurs années assumé la responsabilité de directeur des études du magistère interuniversitaire des sciences de la Terre. Depuis dix ans, j'anime en première année de Licence des cours interactifs permettant de faire découvrir aux étudiants les grands enjeux sociétaux que doivent relever les géosciences. L'idée est de faciliter la transition lycée-université en étant en prise directe avec les recherches actuellement menées pour comprendre le dérèglement climatique, répondre aux besoins énergétiques et minéraux, mieux gérer les ressources en eau et favoriser un aménagement réfléchi du territoire prenant en compte les risques naturels.

Anne-Laure Dalverny



Je suis professeure agrégée à l'université de Montpellier et docteure en chimie théorique. Formée à l'École Normale Supérieure de Cachan, j'enseigne aujourd'hui la chimie en Licence et en Master à la Faculté des Sciences de Montpellier. Responsable du Master MEEF Physique-chimie, je prépare les étudiants aux concours de l'enseignement. Depuis plusieurs années, je suis également impliquée dans des enseignements de médiation à destination des étudiants en première année de Licence.

Jérôme Dorignac



Je suis enseignant-chercheur en physique théorique dans l'équipe « Systèmes Complexes et Physique Non linéaire » du laboratoire Charles Coulomb de l'université de Montpellier. Je travaille sur des thèmes de recherche assez variés comme les excitations non linéaires classiques et quantiques, la dynamique des nano-leviers ou encore des problèmes à l'interface entre physique et biologie. Depuis un peu plus de dix ans, je consacre une part importante de mes activités à l'enseignement de la physique et du calcul en Licence 1. J'ai notamment créé et mis en place une UE de calcul destinée aux étudiants de première année de l'université de Montpellier. J'interviens également comme responsable de la physique dans le « parcours d'adaptation » qui propose une remise à flot scientifique en Licence 1 et je participe régulièrement à des dispositifs de soutien ou de transition lycée-université. Enfin, je m'intéresse aussi beaucoup à la psychophysique de la couleur que j'enseigne en Licences 2 et 3.

Laila Gannoun



Je suis maître de conférences à l'université de Montpellier, docteure en biochimie et habilitée à diriger les recherches en biochimie/biologie moléculaire. Diplômée de l'université Paris 7 (Paris Diderot), j'ai effectué ma thèse de doctorat en sciences biologiques et biochimiques à l'université Paris-Est Créteil. Au sein de la faculté des sciences de Montpellier, j'enseigne essentiellement la biochimie en Licence, et j'interviens aussi en biologie moléculaire et en microbiologie en Master. Je suis également responsable de la licence Sciences de la Vie à l'université de Montpellier. J'effectue mes travaux de recherche au sein du laboratoire CNRS-UMR 5235, dans lequel je suis responsable d'un axe de recherche sur l'étude des interactions hôtes-bactéries pathogènes et sur la recherche de nouvelles stratégies anti-infectieuses.

Frédéric Lemoigno



Après une thèse en chimie théorique à l'Institut des Matériaux Jean Rouxel de Nantes, je suis devenu maître de conférences à l'université de Montpellier. J'y enseigne la chimie physique et la chimie théorique. Je suis également responsable de la remédiation à la faculté des sciences depuis plusieurs années où j'enseigne la chimie aux étudiants « oui, si » engagés dans le parcours adapté.

Fleurice Parat



Je suis enseignante-chercheuse en Pétrologie-Géochimie à l'université de Montpellier. Mes recherches portent sur la genèse des magmas et plus spécifiquement sur le rôle des fluides profonds. Mes principaux chantiers d'étude sont le rift Est-Africain, le Hoggar algérien, le Haut Atlas marocain et l'Islande. Responsable de l'équipe « Manteau et Interfaces » à Géosciences Montpellier, j'anime les recherches sur les interactions magmas-roches et fluides-roches en couplant pétrophysique et pétro-géochimie. J'enseigne la pétrologie magmatique, la minéralogie, la géochimie et les ressources minérales en Licence et en Master « Sciences de la Terre et de l'Environnement » et « Biologie-Ecologie ». Coresponsable de la préparation à l'Agrégation SV-STU, je prépare également les étudiants aux concours de l'enseignement.

Nicolas Saby



Après avoir soutenu ma thèse en mathématiques à l'université Joseph Fourier de Grenoble, je suis devenu maître de conférences à la faculté des sciences de Montpellier où j'ai pris la direction du département de mathématiques de 2003 à 2006. Actuellement directeur du département d'enseignement scientifique et de recherche sur l'enseignement (DESciRE) de Montpellier et ancien directeur de l'IREM (institut de recherche sur l'enseignement des mathématiques) à Montpellier également, la pédagogie des mathématiques est une question centrale dans mon activité professionnelle.

Coralie Weigel



Je suis enseignante-chercheuse en physique à la Faculté des Sciences de l'université de Montpellier. J'ai obtenu mon doctorat en sciences des matériaux à Sorbonne Université (Paris). Mes recherches portent sur la physique des verres, en particulier les propriétés mécaniques et structurales des verres d'oxydes. Je suis fortement impliquée dans les enseignements de L1 depuis plus de 10 ans. J'ai eu l'occasion d'enseigner la mécanique du point, l'optique géométrique, la thermodynamique ainsi que l'électrostatique en première année de licence.

Préambule

Chaque rentrée universitaire est l'occasion pour nous de constater à quel point il existe une différence significative entre les acquis du lycée et les prérequis universitaires, c'est-à-dire entre ce qui a été effectivement intégré au lycée et les bases réellement « attendues » avant la toute première heure de cours à l'université.

Nous avons tenu à présenter dans cet ouvrage, dans un format aussi synthétique que possible, un contenu dont la maîtrise, nécessaire mais pas suffisante à la réussite de la première année, est considérée comme un exigible pour les nouveaux entrants qui abordent des études scientifiques universitaires.

Par souci de concision et de pragmatisme, nous nous sommes strictement focalisés sur les connaissances et compétences fondamentales, primitives, et qui donnent les clés nécessaires à l'abord d'autres matières. Ainsi, ne sont pas mentionnés les outils acquis au lycée et pouvant être déduits des prérequis élémentaires repris ici. Nous avons délibérément fait le choix de ne conserver que les prérequis strictement essentiels, et donc indispensables à la réussite.

Dans un contexte où les « attendus » prennent une place importante dans l'accès aux études supérieures, nous avons tenu à fournir une référence relative à ce qui était réellement « attendu » d'un étudiant entrant en première année de licence en sciences naturelles (physique, chimie, géosciences et sciences de la vie) et ce, au-delà d'un savoir purement disciplinaire. Cette première année constitue une véritable charnière entre les enseignements reçus au lycée et ceux qui suivront à l'université : une grande partie de ce qui est vu au lycée est revue en Licence 1, mais avec une teinte plus formelle et conceptuelle, à laquelle beaucoup d'étudiants ne sont pas préparés. Nous insistons dans cet ouvrage sur l'importance (et l'éventuelle difficulté) du passage d'une approche à l'autre.

Nous avons également voulu offrir une formulation des concepts connus qui permette de rafraîchir des connaissances tout en les revisitant dans une approche plus proche de celle à laquelle les étudiants seront confrontés pendant leurs études supérieures.

Ce livre n'est donc pas un manuel scolaire pour la fin de lycée, ni un manuel de cours pour la Licence 1, mais bien un ouvrage-outil destiné à accompagner les bacheliers entamant des études en sciences naturelles, durant cette étape de transition lycée-université. Ils y trouveront également, en plus des parties dédiées explicitement aux disciplines fondamentales que sont la physique, la chimie, les sciences de la vie et les géosciences, une introduction à la **méthodologie scientifique** et des rappels de **mathématiques pour les sciences**.

Remerciements

L'ensemble des chapitres de ce manuel a fait l'objet d'une relecture attentive. Les auteurs souhaitent remercier vivement les personnes suivantes :

Pour la partie Mathématiques pour les sciences :

- Sophie Beaud, professeur au lycée Gosse à Clermont l'Hérault ;
- Dominique Moinet, professeur au lycée Joffre à Montpellier ;
- Pascale Sénéchaud, maître de conférences à l'université de Limoges.

Pour la partie Physique :

- Michel Goetz, professeur à l'École de l'Air à Salon de Provence ;
- Carole Gaulard, maître de conférences au Laboratoire de physique des 2 infinis Irène Joliot-Curie.

Pour la partie Chimie :

- Pierre Méjean, professeur au lycée Frederic Bazille à Montpellier, intervenant en APESS (ancienne année L0 à l'université de Montpellier) ;
- Nathalie Perol, maître de conférences à l'université de Lyon 1.

Pour la partie Géosciences :

- Christophe Barreau, professeur au lycée Joffre à Montpellier ;
- Laurent Jolivet, professeur à Sorbonne Université.

Pour la partie Sciences de la Vie :

- Sophie Bleves, professeur à Aix-Marseille Université ;
- Martine Boccara, professeur à Sorbonne Université.

Après avoir détaillé les notions de grandeur, dimension, unités, ordre de grandeur, etc., nous allons introduire une méthodologie de résolution d'exercice se décomposant en plusieurs actions : la lecture attentive de l'énoncé, la résolution du problème posé, et sa formulation dans une réponse claire et exprimée avec rigueur et précision.

Nous présenterons ensuite quelques concepts simples permettant d'aborder la notion de « méthodes scientifiques ». Celles-ci sont mises en œuvre dès les premières années de licence car elles permettent notamment d'apporter un cadre pour la rédaction des compte-rendus de travaux pratiques (TP) ou des rapports de stages. Nous aborderons également la notion d'esprit critique, qui est un élément essentiel de toute approche scientifique.

Finalement, nous donnerons quelques conseils relatifs à la manière d'exprimer une information ou un ensemble d'informations. Nous reprendrons un rappel sur la rigueur à observer dans l'usage de certaines terminologies, avant de nous tourner vers l'expression d'un résultat : nous rappellerons comment écrire correctement un résultat numérique, et quelles sont les choses importantes à observer lorsque l'on schématise, que l'on trace un graphe, ou que l'on rapporte des données numériques dans des tableaux.

Méthodologie scientifique

CHAPITRE	1	Introduction à l'analyse dimensionnelle _____	4
CHAPITRE	2	La résolution d'un exercice _____	10
CHAPITRE	3	La démarche scientifique _____	15
CHAPITRE	4	Savoir communiquer _____	19

Introduction à l'analyse dimensionnelle

Ce chapitre introduit le lecteur aux notions d'**analyse dimensionnelle** qui permettent de comprendre et de caractériser ce que représente physiquement une **grandeur**. Cela s'avère particulièrement utile lorsqu'un phénomène physique fait apparaître une quantité (grandeur) dont on ne cerne pas aisément *a priori* la signification.

1 Grandeurs physiques, dimensions et unités

La **mesure** d'une grandeur physique G est sa détermination quantitative par une expérience qui permet de la comparer à l'**étalon** de cette grandeur. C'est cet étalon qui définit l'**unité** de la grandeur G que l'on notera $u(G)$. Ainsi, si on note $\{G\}$ la valeur numérique de G dans l'unité $u(G)$, on a

$$G = \{G\} u(G)$$

Exemple

Supposons qu'une masse soit de 1,17 kilogramme. Appelons m la grandeur « masse ». Comme nous le verrons ci-après, le symbole caractérisant l'unité de la masse dans le système international est $u(m) = \text{kg}$. La valeur de la masse est ici $\{m\} = 1,17$. On écrit donc simplement : $m = 1,17 \text{ kg}$.

1.1 Les unités de base du système international (SI)

Le Système International d'unités (SI) est le système d'unités le plus employé en sciences. Il est fixé par la conférence générale des poids et mesures, qui le révisé tous les quatre ans. Ce système comprend sept unités de base (ou fondamentales) qui quantifient toutes les grandeurs physiques indépendantes. Le tableau ci-dessous présente le nom des grandeurs fondamentales, leur unité, le symbole de cette unité ainsi que le symbole de leur dimension.

1.2 La dimension

La **dimension** d'une grandeur physique G indique, indépendamment de ses unités, de quelle puissance des grandeurs fondamentales celle-ci se compose. On la note généralement $[G]$. Les symboles usuels des dimensions des grandeurs fondamentales sont indiqués dans le tableau 1.1.

Tableau 1.1 Les sept grandeurs SI fondamentales.

Grandeur	Unité	Symbole d'unité	Symbole de dimension
Longueur	mètre	m	L
Masse	kilogramme	kg	M
Temps	seconde	s	T
Courant électrique	ampère	A	I
Température	kelvin	K	Θ
Quantité de matière	mole	mol	N
Intensité lumineuse visuelle	candela	cd	J

Exemple

La vitesse v , définie par le rapport d'une distance et d'un temps, a la dimension $[v] = L \cdot T^{-1}$. On dit encore qu'elle est homogène à une distance divisée par un temps. Son unité SI est donc le mètre par seconde, $u(v) = m \cdot s^{-1}$.

Grandeur sans dimension

Lorsqu'une grandeur physique G n'a pas de dimension, on note $[G] = 1$. De la sorte, le produit $G \times A$ a manifestement la même dimension que celle de A . En effet, $[G \times A] = [G] \times [A] = 1 \times [A] = [A]$.

Attention ! Le fait qu'une grandeur n'ait pas de dimension n'implique pas qu'elle n'ait pas d'unité ! En effet, un angle est défini comme le rapport de la longueur de l'arc de cercle qu'il sous-tend au rayon de ce cercle : il est donc sans dimension. Néanmoins, son unité SI est le radian. De même, sa généralisation à trois dimensions, l'angle solide, qui est un rapport de deux surfaces, est lui aussi sans dimension mais s'exprime dans une unité SI appelée stéradian.

1.3 Les unités dérivées du système international

Toutes les quantités (grandeurs) physiques dimensionnées ont une unité. Toutefois, seules les sept quantités citées précédemment sont fondamentales. Toute autre grandeur physique a une **unité dérivée** de ces dernières même si certaines quantités physiques possèdent un nom d'unité de mesure qui leur est propre. C'est, par exemple, le cas de la force dont l'unité SI est le newton (N) ou encore de la pression, qui représente une force par unité de surface et dont l'unité SI est le pascal (Pa). Ces unités proviennent généralement du nom du scientifique qui en a formalisé le concept. On peut toujours en donner une expression en terme des unités de bases en utilisant une expression les reliant aux quantités fondamentales.

Exemple

La relation fondamentale de la dynamique de Newton, $\vec{F} = m\vec{a}$, permet de trouver que le newton est équivalent au produit d'une masse par une accélération, soit $N = kg \cdot m \cdot s^{-2}$.

Le tableau 1.2 fournit les unités SI et l'équivalent en unités SI fondamentales de quelques grandeurs physiques importantes.

Enfin, quelques conversions d'usage, importantes en science au quotidien, sont compilées dans le tableau 1.3.

Tableau 1.2 Les principales grandeurs et unités courantes.

Grandeur (symbole usuel)	Unité	SI fondamental	Interprétation
Fréquence (f) Force (F) Pression (P)	hertz (Hz) newton (N) pascal (Pa = N · m ⁻²)	s ⁻¹ m · kg · s ⁻² m ⁻¹ · kg · s ⁻²	inverse de la période masse × accélération force/surface
Énergie (E) Travail (W) Chaleur (Q)	joule (J = N · m)	m ² · kg · s ⁻²	force × distance
Puissance (P) Charge électrique (q) Tension électrique (U) Résistance électrique (R) Champ magnétique (B) Aire (S) Volume (V) Vitesse (\vec{v}) Accélération (\vec{a}) Masse volumique (ρ) Densité de courant (j) Concentration (c) Concentration massique (c_m)	watt (W = J · s ⁻¹) coulomb (C) volt (V = W · A ⁻¹) ohm (Ω = V · A ⁻¹) tesla (T = V · s · m ⁻²) mètre carré mètre cube mètre par seconde mètre par seconde carrée kilogramme par mètre cube ampère par mètre carré mole par mètre cube kilogramme par mètre cube	m ² · kg · s ⁻³ A · s m ² · kg · s ⁻³ · A ⁻¹ m ² · kg · s ⁻³ · A ⁻² kg · s ⁻² · A ⁻¹ m ² m ³ m · s ⁻¹ m · s ⁻² kg · m ⁻³ A · m ⁻² mol · m ⁻³ kg · m ⁻³	travail/temps courant × temps travail/charge tension/courant tension × temps/surface surface volume distance/temps vitesse/temps masse/volume courant/surface quantité de matière/volume masse/volume

Tableau 1.3 Quelques conversions d'usage entre unités.

Grandeur	Unité	Symbole	Valeur dans SI
Temps	minute	min	1 min = 60 s
	heure	h	1 h = 60 min = 3 600 s
	jour	j	1 j = 24 h = 86 400 s
Angle	degrés	°	1° = $\pi/180$ rad
Aire	hectare	ha	1 ha = 1 hm ² = 10 ⁴ m ²
Volume	litre	L	1 L = 1 dm ³ = 10 ³ cm ³ = 10 ⁻³ m ³
Masse	tonne	t	1 t = 10 ³ kg
	dalton	Da	1 Da = 1,660 539 × 10 ⁻²⁷ kg
Énergie	électronvolt	eV	1 eV = 1,602 176 × 10 ⁻¹⁹ J
	calorie	cal	1 cal = 4,184 J

Grandeur	Unité	Symbole	Valeur dans SI
Pression	bar	bar	1 bar = 0,1 MPa = 100 kPa = 10^5 Pa
	millimètre de mercure	mm Hg	1 mm Hg = 133,322 Pa = 1 Torr
	atmosphère	atm	1 atm = 101 325 Pa
Longueur	Ångström	Å	1 Å = 0,1 nm = 100 pm = 10^{-10} m

1.4 Détermination de l'unité SI d'une grandeur

Pour déterminer l'unité SI d'une grandeur physique, il suffit d'en connaître une expression en termes des sept grandeurs fondamentales, c'est-à-dire de connaître une loi physique qui exprime sa relation à ces grandeurs.

Exemple

L'intensité F de la force de rappel d'un ressort peut se mettre sous la forme $F = kx$ où x représente l'élongation du ressort et k sa constante de raideur. L'unité SI de la constante k est déterminée par la relation $u(k) = u(F)/u(x)$ soit $u(k) = \text{N} \cdot \text{m}^{-1}$. En unités SI fondamentales, on a $\text{N} = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ et donc, $u(k) = \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$.

2 Les préfixes d'unités et les ordres de grandeur

Les **préfixes** d'unités sont des préfacteurs numériques qui permettent d'adapter l'unité d'une grandeur à l'échelle de l'objet ou du phénomène considéré. Ils représentent l'**ordre de grandeur** des résultats de mesure attendus lors d'expériences sur cette grandeur.

Exemples

Les forces qu'on exerce actuellement sur des molécules d'ADN pour les déplier sont de l'ordre du piconewton ($\text{pN} = 10^{-12} \text{N}$). Toutes les expériences effectuées dans ce domaine utilisent donc ce préfixe pour présenter leurs résultats de mesure. En microfluidique, on s'intéresse à des volumes de fluide allant typiquement du nanolitre (nL) à l'attolitre (aL). On utilise donc plutôt ces unités, naturelles dans ce contexte, que le mètre cube. Les distances typiques entre deux atomes dans un cristal sont de l'ordre de quelques angströms ($\text{Å} = 10^{-10} \text{m}$). On utilise donc fréquemment cette unité ou les nanomètres (nm) pour décrire les distances interatomiques en physique de la matière condensée.

Tableau 1.4 Les principaux ordres de grandeurs utilisés en science.

Facteur	Préfixe	Symbole	Facteur	Préfixe	Symbole
10^{18}	exa-	E	10^{-1}	déci-	d
10^{15}	péta-	P	10^{-2}	centi-	c
10^{12}	téra-	T	10^{-3}	milli-	m
10^9	giga-	G	10^{-6}	micro-	μ
10^6	méga-	M	10^{-9}	nano-	n
10^3	kilo-	k	10^{-12}	pico-	p
10^2	hecto-	h	10^{-15}	femto-	f
10^1	déca-	da	10^{-18}	atto-	a

3 Homogénéité des expressions en sciences

3.1 Homogénéité d'une somme

Le simple constat qu'on « ne peut ajouter des pommes à des poires », indique que : lorsque l'expression d'une quantité physique est une somme de termes, tous ces termes doivent avoir la même dimension.

Exemple

Si x est une distance et v une vitesse, le résultat $d = x + v$ n'a **aucun sens** : on ne peut ajouter une distance à une vitesse ! En revanche, le résultat $d = x + vt$, où t représente un temps a un sens, car tous les termes de l'expression représentent des distances : en effet, $[x] = L$ et $[v][t] = L \cdot T^{-1} \cdot T = L$.

3.2 Fonctions de grandeurs physiques

Soit f une fonction et $f(x)$ sa valeur au point x . On appelle x l'**argument** de la fonction f .

Dimension des fonctions

Les fonctions qui ne sont pas du type « puissance », c'est-à-dire telles que $f(x) = kx^a$ où k et a sont deux nombres sans dimension, doivent être sans dimension ainsi que leur argument. En particulier, si x n'a pas de dimension ($[x] = 1$) alors $\exp(x)$, $\ln(x)$, $\cos(x)$, $\sin(x)$, $\tan(x)$ etc. sont bien définies et sont également sans dimension : $[\exp(x)] = 1$ ou encore $[\sin(x)] = 1$, par exemple.

Exemple

Déterminons les dimensions des quantités A , k et ω dans une onde plane de pression $p = A \cos(kx - \omega t)$ où p représente la pression dans un fluide au point x à l'instant t . À l'évidence, $[x] = L$ et $[t] = T$. Comme le cosinus n'a pas de dimension, $[A] = [p]$. La quantité A est donc homogène à une pression. D'autre part, comme l'argument du cosinus est aussi sans dimension, $[kx - \omega t] = 1$. Or, dans une somme, tous les termes ont la même dimension. Donc $[kx] = 1$ et $[\omega t] = 1$. Soit finalement, $[k] = 1/[x] = L^{-1}$ et $[\omega] = 1/[t] = T^{-1}$.

3.3 Remarque sur les grandeurs vectorielles

Les grandeurs vectorielles peuvent avoir une dimension. Dans ce cas, la dimension est la même pour toutes les composantes (coordonnées) du vecteur. Par exemple, le vecteur position \vec{r} est tel que toutes ses composantes (x, y, z) représentent des distances. Dans ce sens, on peut écrire $[\vec{r}] = L$.

3.4 Remarque sur les dérivées et les intégrales

La dimension des grandeurs physiques obtenues par dérivation ou intégration s'obtient très simplement en considérant la dérivation comme une division et

l'intégration comme une somme de produits. En effet, par définition, la dérivation est la limite d'un quotient entre deux quantités et d'autre part, l'intégration est la limite d'une somme de produits.

$$\text{Si } A = \frac{df}{ds} \text{ alors } [A] = [f]/[s] \text{ et si } B = \int f(x)dx \text{ alors } [B] = [f][x].$$

Par exemple, la définition de la vitesse, $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$, implique $[\vec{v}] = L \cdot T^{-1}$.

3.5 Vérification d'une expression

Il est indispensable, à la fin de tout calcul, de vérifier que le résultat obtenu est bien homogène à la quantité cherchée. Cela implique de vérifier que les dimensions de part et d'autre d'une égalité (ou d'une inégalité) sont bien les mêmes mais cela implique aussi de vérifier que la nature des expressions est bien la même.

Exemple

Une relation du type $\vec{F} = ma$ où \vec{F} est un vecteur force, m une masse et a une accélération est bien homogène quant à ses dimensions mais elle n'a aucun sens car le membre de gauche de l'égalité est un vecteur tandis que celui de droite est un scalaire (nombre). Une relation correcte est $\vec{F} = m\vec{a}$.

Enfin, comme livres, cours et articles scientifiques, sont rarement exempts de coquilles dans les formules, il est indispensable d'en faire une lecture critique et de vérifier l'homogénéité des résultats annoncés avant de les appliquer.

4 Quelques constantes

Nous concluons ce chapitre avec quelques constantes universelles (tableau 1.5) extrêmement courantes dans les premières années d'étude de licence scientifique, et qui nous seront également très utiles dans les prochaines parties.

Tableau 1.5 Constantes fréquemment utilisées au début des études scientifiques.

Quantité	Unité	Symbole	Valeur
Célérité de la lumière dans le vide	$m \cdot s^{-1}$	c	299 792 458
Nombre d'Avogadro	mol^{-1}	\mathcal{N}_A	$6,022 \times 10^{23}$
Constante gaz parfaits	$J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$ $m^3 \cdot Pa \cdot mol^{-1} K^{-1}$	R	8,314
Constante gravitationnelle	$N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$	G	$6,673 \times 10^{-11}$
Permittivité du vide	$kg^{-1} \cdot m^{-3} \cdot A^2 \cdot s^4$	ϵ_0	$8,85 \times 10^{-12}$

La résolution d'un exercice

1 Lecture attentive de l'énoncé

La première chose à faire face à une question posée est de lire cette question jusqu'au bout, éventuellement plusieurs fois, afin d'en intégrer le sens. Une stratégie souvent efficace pour résoudre un exercice est de commencer par lister (mentalement ou par écrit) l'ensemble des informations que nous fournit l'énoncé. Il peut être utile de définir des symboles appropriés pour caractériser les grandeurs de l'énoncé si celui-ci n'en propose pas. Cette étape permet aussi de réfléchir à la dimension des grandeurs fournies.

Exemple

Quelle est la masse volumique d'une bille de polystyrène de rayon 1,0 mm et de masse 4,22 mg ?

Liste des informations à extraire de cette question :

- la masse de la bille (dimension masse, symbole usuel m) : $m = 4,22 \text{ mg}$
- le rayon de la bille (dimension longueur, symbole usuel r) : $r = 1,0 \text{ mm}$

Lorsqu'il existe un risque d'ambiguïté, il ne faut pas hésiter à utiliser des indices pour caractériser plus précisément chaque grandeur (par exemple m_{bille} , r_{bille}).

Il s'agit ensuite d'effectuer la démarche importante d'identification de l'inconnue du problème, en gardant à l'esprit que cette inconnue peut être multiple. Cette étape consiste très simplement à se poser la question « que me demande-t-on ? », ou « qu'attend-on de moi ? » et de formuler la chose de la manière la plus précise possible afin de discerner très clairement l'objectif de l'exercice, et de le conserver à l'esprit afin de mener la résolution du problème dans ce sens, et dans ce sens uniquement.

2 Résolution du problème

L'étape suivante est de rechercher, parmi les connaissances et savoir-faire acquis durant la formation dans laquelle s'inscrit la question posée, ainsi que dans les bases et prérequis sur lesquels se repose cette même formation, quels sont les éléments utiles, qu'il faut parfois combiner entre eux, pour répondre à la question posée. Notez bien que parfois, la réflexion menée au cours de la résolution d'un problème est plus importante et intéressante que la réponse à la question.

Modélisation

La résolution du problème peut éventuellement nécessiter un développement mathématique afin de **modéliser** le problème ou pour simplifier une application numérique. Cela n'est cependant pas systématique : certaines questions peuvent être de réflexion pure, ou purement formelles afin de mener à une expression mathématique.

Dans le cas où la question nécessite une application numérique, il est important de toujours établir d'abord une expression littérale de la grandeur recherchée et de vérifier l'homogénéité des grandeurs en présence avant d'introduire les valeurs numériques.

Il faut veiller à ce que tous les symboles apparaissant dans cette expression aient bien été définis (dans l'énoncé ou préalablement dans la rédaction). Écrire clairement et avec attention les expressions mathématiques permet souvent d'éviter des erreurs d'inattention (oubli de puissance, de facteurs,...). Enfin, lors du remplacement des symboles des grandeurs par leurs valeurs numériques, il faut s'assurer de la cohérence entre les unités des différentes grandeurs. Par exemple, si plusieurs grandeurs de même dimension interviennent dans le calcul, il est important d'utiliser une même unité.

3 Répondre à la question posée

1. Voir § 2 du chapitre 3
- La dernière étape est bien évidemment de formuler convenablement, de la manière la plus rigoureuse et précise possible, une réponse. La formulation en elle-même est très importante, car une grande part de crédibilité peut rapidement être perdue si un manque de rigueur est observé, ou si la réponse est partielle¹.

Il sera toujours indispensable de se poser les questions suivantes après rédaction d'une réponse : « ai-je répondu à la question que l'on m'a posée ? Cette réponse est-elle formulée de la manière souhaitée et dans les bonnes unités ? Cette réponse a-t-elle un sens ? » Ces questions peuvent paraître simples ou évidentes en apparence, mais il est trop fréquent que

- des réponses rédigées lors d'évaluations ne soient pas des réponses correspondant à la question posée, parce que la question posée n'a pas été comprise, ou parce que l'objectif de la question a été perdu de vue en cours de résolution,
- qu'un résultat soit donné dans de mauvaises unités : erreurs de conversions d'unités, méconnaissance de la dimensionalité du problème ou de la quantité-cible,
- que la valeur numérique de la réponse donnée n'ait pas de sens : une goutte d'eau d'une tonne, le rayon atomique d'un élément supérieur à la distance Terre-Lune...

4 Mise en situation

Énoncé

Donner, en joule et en électronvolt (eV), l'énergie liée à un rayonnement dans le vide de longueur d'onde $\lambda_1 = 97,28 \text{ nm}$, sachant qu'un électronvolt équivaut à $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$, et que l'énergie d'un tel rayonnement est donnée par la relation

$$E = \frac{hc}{\lambda} = hf$$

où f est la fréquence du rayonnement en hertz, h est une constante, appelée constante de Planck, ayant pour valeur $6,626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, et c est la célérité de la lumière dans le vide, valant $2,997 \cdot 10^8 \text{ m/s}$. Déduire la fréquence du rayonnement, en s^{-1} .

A – Que sait-on ?

- Expression de E , son lien avec la fréquence et valeur des constantes h et c ;
- Valeur de λ_1 en nm ;
- Facteur de conversion de J vers eV.

B – Que me demande-t-on ?

- La fréquence du rayonnement, en s^{-1} ;
- L'énergie du rayonnement, en J et en eV.

C – Quels outils sont à ma disposition ?

- Je sais que $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$;
- Je sais que $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$;
- Je connais les règles régissant les produits et quotients de puissances ayant la même base (voir section dédiée dans la partie mathématiques) ;
- Je connais la **règle de trois** (voir encart).

Le reste est purement calculatoire.

D – Résolution du problème

Dans une première étape, vérifions tout d'abord la dimension de E à partir de son expression. C'est ce que l'on appelle une équation aux dimensions

$$E = \frac{hc}{\lambda} \rightarrow [E] = \frac{[h][c]}{[\lambda]} = \frac{\text{M} \cdot \text{L}^2 \cdot \text{T}^{-2} \cdot \text{T} \cdot \text{L} \cdot \text{T}^{-1}}{\text{L}}$$

En termes d'unités, cela donne

$$\frac{\text{J} \cdot \text{s} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}}{\text{m}} = \text{J}.$$

On introduit ensuite simplement les valeurs numériques :

$$\frac{hc}{\lambda_1} = \frac{(6,626 \times 10^{-34}) \times (2,997 \times 10^8)}{97,28 \times 10^{-9}}$$

Rappel de la règle de 3 par un exemple**Problème**

L'ensemble de trois billes en verre identiques a une masse de 31,5 g. Quelle est la masse d'un ensemble de cinq de ces mêmes billes ?

Solution

Pour résoudre ce problème, nous posons la masse m d'une de ces billes ; on nous dit que $3m = 31,5$ g. On en déduit que $m = (31,5)/3 = 10,5$ g. Nous avons donc finalement que la masse de cinq billes, $5m$, vaut $5 \times 10,5 = 52,5$ g.

Une manière d'envisager cette règle de trois est d'écrire la correspondance que l'on connaît : on sait que trois billes de masse m correspondent à 31,5 g

$$3m \leftrightarrow 31,5 \text{ g} \quad (2.1)$$

puis d'écrire la correspondance comportant notre inconnue

$$5m \leftrightarrow x \text{ g.} \quad (2.2)$$

Récrivons ces deux correspondances l'une au-dessus de l'autre en prenant soin de garder de chaque côté ce qui dépend de m (colonne de gauche) et de l'autre ce qui est exprimé en grammes (colonne de droite)

$$3m \leftrightarrow 31,5 \text{ g} \quad (2.3)$$

$$5m \leftrightarrow x \text{ g} \quad (2.4)$$

Divisons la correspondance du dessus par celle du dessous en ne gardant que les valeurs numériques :

$$\frac{3}{5} = \frac{31,5}{x} \quad (2.5)$$

Il ne nous reste plus qu'à isoler x :

$$x = \frac{31,5 \times 5}{3} = 52,5. \quad (2.6)$$

On retrouve bien que $5m$ correspondent à 52,5 g.

On réarrange le tout en regroupant les puissances de 10 :

$$\frac{hc}{\lambda_1} = \frac{6,626 \times 2,997 \times 10^{-34} \times 10^8}{97,28 \times 10^{-9}}$$

En appliquant les règles relatives aux puissances (voir section dédiée dans la partie mathématiques), on trouve

$$0,2041 \times 10^{-34+8+9} = 0,2041 \times 10^{-17},$$

et nous noterons notre réponse $E_1 = 2,041 \times 10^{-18}$ J pour une écriture scientifique (un chiffre devant la virgule, et utilisation d'une puissance de dix).

Nous avons donc répondu à une première partie de la question. Cependant, l'énergie du rayonnement nous était également demandée en électronvolt. Nous devons donc à présent nous poser la question de la conversion entre unités d'énergie :

$$2,041 \times 10^{-18} \text{ J} \leftrightarrow x \text{ eV}$$