

Mickaël Melzani

# PHYSIQUE ET MESURE

Histoire et fonctionnement de la physique  
à travers la mesure et les unités



ellipses

# TABLE DES MATIÈRES

Index thématique	xv
<b>I Comment fonctionnent les sciences physiques ?</b>	<b>1</b>
Introduction	2
<b>1 Structure et fonctionnement des sciences physiques</b>	<b>4</b>
1 Exemple introductif . . . . .	4
2 Définitions de <i>théorie</i> , <i>modèle</i> , <i>monde observé</i> . . . . .	7
3 Définition de <i>grandeur physique</i> et rôle de la mesure dans l'utilisation des théories . . . . .	10
<b>2 Les rôles de la mesure dans l'édification d'une théorie</b>	<b>17</b>
1 Élaboration du modèle ou de la théorie . . . . .	17
2 Édification d'une théorie selon Maxwell . . . . .	19
3 Puis selon T. Kuhn . . . . .	22
4 Conclusion . . . . .	27
<b>3 Annexe : autour du diagramme des deux mondes</b>	<b>28</b>
1 Une hiérarchie des théories . . . . .	28
2 Des exemples de diagrammes . . . . .	34
3 Philosophons autour des deux mondes . . . . .	34
<b>II Mesurer : définir, utiliser et redéfinir les unités</b>	<b>41</b>
Introduction	42
<b>4 Comment définir une unité ?</b>	<b>45</b>
1 Le mécanisme général de définition . . . . .	45
2 Quel type de grandeur physique peut-on fixer ? . . . . .	47
3 Combien de valeurs numériques est-il possible de fixer ou faut-il fixer ? . . . . .	48
4 Peut-on fixer des grandeurs physiques à la valeur 1 ? Quelles unités obtient-on ? . . . . .	50
5 Bilan : définition des unités dans les versions successives du SI . . . . .	51

## Table des matières

<b>5</b>	<b>Le mètre : qu'est-ce qui motive la redéfinition d'une unité ?</b>	<b>55</b>
1	Avant la Révolution française, multiplicité et confusion . . . . .	55
2	1791, le méridien terrestre et la longueur d'une barre . . . . .	57
3	1960, la longueur d'onde du krypton . . . . .	61
4	1983, la vitesse de la lumière . . . . .	62
5	Conclusion . . . . .	63
<b>6</b>	<b>Liens entre définition et mise en pratique d'une unité</b>	<b>69</b>
1	Réalisation pratique d'une unité . . . . .	69
2	Redéfinition d'une unité . . . . .	70
<b>7</b>	<b>Le kilogramme : exemple d'une redéfinition moderne</b>	<b>75</b>
1	La mesure des masses est ancienne . . . . .	75
2	Le concept de masse en physique et les premières définitions du kilogramme	77
3	Mesures de $h$ dans l'ancien système, puis nouvelle définition . . . . .	80
4	Mesure des masses dans le SI d'après 2019 . . . . .	87
<b>8</b>	<b>Comment les constantes physiques sont-elles mesurées ?</b>	<b>90</b>
1	Mesure des masses molaires . . . . .	90
2	Mesure des grandeurs physiques fondamentales, le travail du CODATA . .	93
<b>9</b>	<b>La mole : une unité née de l'étude de la matière</b>	<b>99</b>
1	L'hypothèse atomique . . . . .	99
2	De l'entrée dans le SI à la redéfinition de 2019 . . . . .	104
3	Redéfinition de 2019 . . . . .	105
4	Conséquence : une mesure indirecte de $h$ avant 2019, une mesure indirecte de $m_u$ après 2019 . . . . .	105
<b>10</b>	<b>L'ampère : la question des unités indépendantes et naissance du SI</b>	<b>108</b>
1	La question d'une unité électrique indépendante des unités mécaniques, et naissance du SI . . . . .	108
2	Entrée dans le SI et définition avec $\mu_0$ en 1954 . . . . .	117
3	L'ère quantique supprime le SI, les unités hors SI de 1990 . . . . .	118
4	Retour au SI avec la redéfinition de 2019 . . . . .	119
<b>11</b>	<b>Le kelvin : les grandeurs sont avant tout définies par la théorie</b>	<b>125</b>
1	L'invention du concept de température . . . . .	126
2	Mesurer la température . . . . .	137
3	Redéfinition de 2019 . . . . .	140
<b>12</b>	<b>La seconde : l'unité ultime</b>	<b>148</b>
1	Prélude : on a toujours mesuré le temps . . . . .	148
2	La quête de précision . . . . .	152
3	Synchronisation du temps . . . . .	154
4	Le temps atomique . . . . .	156
<b>13</b>	<b>Épilogue : qu'est-ce qu'une constante fondamentale ?</b>	<b>159</b>
1	Des grandeurs physiques plus fondamentales que d'autres . . . . .	160
2	Les constantes fondamentales . . . . .	161
3	Les paramètres libres . . . . .	166
	<b>Conclusion de la partie II</b>	<b>172</b>

<b>III</b>	<b>Structure des systèmes d'unités et de grandeurs</b>	<b>173</b>
	<b>Introduction</b>	<b>174</b>
	<b>14 Nature des grandeurs, dimension, homogénéité</b>	<b>176</b>
	1 Nature d'une grandeur . . . . .	176
	2 Autour de la mesure : étalon, unités... . . . .	177
	3 ... puis dimension et homogénéité . . . . .	183
	<b>15 Grandeurs de base et dérivées : structure dimensionnelle</b>	<b>186</b>
	1 Exemple introductif . . . . .	186
	2 Définitions des grandeurs de base et dérivées . . . . .	187
	3 Exemples de choix des grandeurs de base . . . . .	193
	4 Bilan . . . . .	199
	<b>16 Grandeurs primaires et secondaires : procédures de mesure</b>	<b>202</b>
	1 Comment les grandeurs sont-elles définies ? . . . . .	202
	2 Opérations de mesure des grandeurs primaires, propriétés en découlant . . . . .	205
	3 Comment savoir si une grandeur est primaire ou secondaire ? . . . . .	211
	4 Exemples dans le cadre des SI successifs . . . . .	216
	5 Implications sur la façon de mesurer les grandeurs . . . . .	218
	6 Bilan . . . . .	222
	<b>17 Suite de l'épilogue sur ce qu'est une constante fondamentale</b>	<b>223</b>
	1 Discussion sur la disparition des constantes . . . . .	223
	<b>Conclusion de la partie III</b>	<b>229</b>
	<b>18 Annexe : exemples de systèmes de grandeurs</b>	<b>231</b>
	1 Systèmes de grandeurs en mécanique . . . . .	231
	<b>19 Annexe : le théorème de Vaschy-Buckingham</b>	<b>240</b>
	1 Un exemple simple . . . . .	241
	2 Énoncé et démonstration générale . . . . .	243
	3 Commentaires . . . . .	245
	4 Brève histoire (1878-1922) . . . . .	248
<b>IV</b>	<b>Histoire du concept de grandeur physique</b>	<b>251</b>
	<b>Introduction</b>	<b>252</b>
	<b>20 Repères chronologiques</b>	<b>254</b>
	1 Découpage chronologique . . . . .	254
	2 Les deux révolutions modernes et le rôle de la mesure . . . . .	257
	3 Physique mathématique ou expérimentale . . . . .	258
	4 Bibliographie . . . . .	261
	<b>21 Introduction par un exemple : une démonstration de Galilée</b>	<b>266</b>
	<b>22 Le langage de la physique : de la géométrie (−350-1800)...</b>	<b>271</b>
	1 Les racines grecques . . . . .	271
	2 Monde arabe, Moyen Âge : quelques progrès . . . . .	286

## Table des matières

3	Une utilisation puissante par les physiciens modernes . . . . .	289
4	Puis un déclin jusque vers 1800 . . . . .	298
<b>23</b>	<b>... à l'algèbre (vers une domination entre 1700 et 1800)</b>	<b>299</b>
1	Introduction et vocabulaire . . . . .	299
2	Procédures de résolution dans l'Antiquité . . . . .	301
3	Monde arabe : naissance de l'algèbre . . . . .	302
4	Renaissance (1500-1600) . . . . .	303
5	Descartes : introduction sérieuse de l'algèbre en physique (1637) . . . . .	307
6	Fin de partie pour la géométrie non métrique : Euler, Lagrange, Laplace . . . . .	311
<b>24</b>	<b>De la géométrie à l'algèbre : l'exemple du concept de vitesse</b>	<b>314</b>
1	Parenthèse : vitesse instantanée ou moyenne . . . . .	315
2	Du langage des proportions au langage algébrique avec égalités vraies . . . . .	316
3	Un obstacle sur la route de l'algébrisation : le ratio hétérogène . . . . .	323
4	La question de l'unité absolue de vitesse . . . . .	325
5	Cas d'autres grandeurs et conclusion . . . . .	327
<b>25</b>	<b>Naissance des systèmes d'unités absolues (1800-1900)</b>	<b>328</b>
1	L'influence de la réforme métrique et la nouvelle culture métrologique . . . . .	329
2	Unités absolues en mécanique . . . . .	330
3	Fourier et son système d'unités absolues, dimension et homogénéité . . . . .	333
4	Les unités absolues au cœur de la mathématisation de l'électromagnétisme . . . . .	338
5	Biot, 1816 : un traité presque actuel . . . . .	345
6	Acceptation tardive en mécanique rationnelle . . . . .	346
<b>26</b>	<b>Vers la notion actuelle de grandeur (1820-2000)</b>	<b>350</b>
1	Émergence des notions de dimension et d'homogénéité . . . . .	350
2	L'algèbre des grandeurs . . . . .	355
3	Controverses sur le statut des grandeurs . . . . .	359
<b>27</b>	<b>Les réflexions sur l'algèbre des grandeurs et la mesure (1887-...)</b>	<b>365</b>
1	Épistémologie de la mesure . . . . .	365
2	Formalisation de l'algèbre des grandeurs . . . . .	371
	<b>Conclusion de la partie IV</b>	<b>372</b>
	<b>Conclusion générale</b>	<b>374</b>
	<b>Lexique</b>	<b>377</b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>379</b>
	<b>Index</b>	<b>389</b>