

Depuis les temps les plus reculés, l'homme n'a eu de cesse de maîtriser son environnement et la découpe du temps fut l'une de ses quêtes. Les progrès furent lents, hésitants pendant de nombreux siècles pour s'accélérer terriblement durant les dernières décennies. Ce long récit montre comment les progrès de la recherche en physique et en astrophysique ont transformé en une courbe exponentielle une évolution initialement linéaire.

Le présent ouvrage se veut multidisciplinaire, traitant de différents aspects de la problématique de la mesure du temps. Il s'intéresse au problème de la découpe de celui-ci et aux instruments mis en œuvre pour son décompte. En particulier, il se polarise sur la « précision » des instruments de mesure et analyse le long cheminement historique lorsque l'on est passé des instruments les plus rudimentaires, tels que le gnomon, aux plus sophistiqués, tels que l'horloge atomique qui permet désormais de disséquer le temps avec une précision phénoménale.

*Spécialisé en spectroscopie et en astrophysique, Émile Biémont est docteur en Sciences et agrégé de l'enseignement supérieur. Il a enseigné dans les universités de Liège et de Mons, tout en conduisant une carrière de Directeur de Recherches au FRS-FNRS. Lauréat de nombreuses distinctions et prix scientifiques, il a été membre d'un grand nombre de commissions, jurys et comités d'expertise nationaux et internationaux. Membre de la Classe des Sciences de l'Académie royale de Belgique depuis 1994, il est l'auteur de plus de 360 publications scientifiques dont une dizaine de livres. Parmi ceux-ci, on peut citer La Lumière et Effets lumineux et météores dans l'atmosphère terrestre (Collection « Que sais-je ? »), L'ABCdaire du ciel (Flammarion) ou Rythmes du temps, Astronomie et Calendriers (De Boeck Université).*



[www.academie-editions.be](http://www.academie-editions.be)  
ISSN 0365-0936  
ISBN 978-2-8031-0504-5  
MEM-8-IV S-6 2111



ebook  
Également disponible  
en version numérique



## PRÉFACE

11

## EN GUISE D'INTRODUCTION

15

## CHAPITRE 1 — STRUCTURE ET IMAGES DU TEMPS

25

1. Cosmogonie et structure du temps 25
  2. Kairos et Cronos : des images du temps... 29
  3. Images du temps et vision des peintres 30
  4. Les scientifiques et le temps 32
    - a. *Le temps absolu selon Newton* 32
    - b. *Albert Einstein et la relativité du temps* 34
  - Tout est relatif même le temps... 34
  - La notion d'espace-temps 36
6. Dimension et flèche du temps 38
  7. Nature du temps et expérience : une énigme troublante 39

## CHAPITRE 2 — LA MESURE DU TEMPS ET LA GLOIRE DES HOMMES

41

1. Recherche scientifique et progrès humain : l'attrait du temps 41
2. Un cristal aux étranges propriétés 42
3. Des matériaux nouveaux... 43
4. Jets atomiques et moléculaires 44
5. Carbone 14 et méthodes de datation 47
6. Les吸引 de la lumière et du laser 48
7. Un pionnier des horloges atomiques 50
8. Refroidissement des atomes et précision diabolique des horloges 52

9.	Peignes de fréquences	53
10.	Lumière pulsante et astronomie	54
<b>CHAPITRE 3 — LE TEMPS DES ASTRONOMES ET DES GÉOPHYSICIENS</b>		57
1.	Le dieu Soleil	57
2.	Le temps de la Lune	58
	<i>a. Fantaisies lunaires</i>	58
	<i>b. Les périodes temporelles associées à la Lune</i>	59
3.	Lorsque brille le Soleil...	60
	<i>a. Le temps solaire et les caprices de l'astre du jour</i>	60
	<i>b. Année tropique et année sidérale</i>	60
	<i>c. Le temps universel : le temps de Greenwich</i>	61
	<i>d. Les irrégularités de la rotation terrestre</i>	62
	Les formes du temps universel : UTo, UT1 et UT2	62
	Ordonner le temps : le temps universel coordonné	63
	<i>e. L'éphémère temps des éphémérides</i>	64
4.	Phares de l'Univers et temps pulsé	65
	<i>a. Une découverte étonnante : les pulsars</i>	65
	<i>b. Des phares aux propriétés extraordinaires</i>	67
	<i>c. Le temps des pulsars : une vaine tentative...</i>	69
<b>CHAPITRE 4 — ÂGE DE LA TERRE ET TEMPS DES GÉOLOGUES</b>		71
1.	Une rétrospective lointaine	71
2.	Couches terrestres et temps géologique	72
3.	Géologie appliquée et paléontologie stratigraphique	73
4.	Une brève histoire de la Terre	74
5.	Phénomènes cycliques et datation	75
6.	La datation absolue	76
	<i>a. Libby et le carbone 14 (<math>^{14}\text{C}</math>)</i>	78
	<i>b. Datation par la méthode Rb-Sr</i>	80
	<i>c. Datation radiométrique et les méthodes K-Ar et Ar-Ar</i>	81
	<i>d. Datation par la thermoluminescence</i>	82
	<i>e. Surprenantes horloges...</i>	83
	Racémisation des acides aminés	83

Hydratation de l'obsidienne	84
<b>CHAPITRE 5 — LE GPS ET LE TEMPS DES PHYSICIENS</b>	<b>85</b>
1. La naissance et l'essor du temps atomique	85
2. Le temps atomique international et les temps-coordonnées géocentriques et barycentriques	87
3. Vers la précision ultime	89
4. Le temps du GPS	90
<i>a. Les systèmes de navigation</i>	90
GPS	90
GLONASS	90
COMPASS	91
GALILEO ou l'Europe libérée	91
<i>b. Le GPS : une invention extraordinaire</i>	92
Le segment spatial	92
Le segment de contrôle	94
Le segment utilisateur	94
<i>c. Satellites et horloges atomiques</i>	94
<i>d. Le temps du GPS</i>	95
<i>e. Mesure du temps et applications des GPS</i>	100
<b>CHAPITRE 6 — RYTHMES CIRCADIENS ET TEMPS DES BIOLOGISTES</b>	<b>103</b>
1. Rythmes biologiques et chronobiologie	103
2. Diversité des rythmes du monde vivant	105
3. Quelques repères historiques	106
4. Origine des rythmes biologiques	110
5. Des rythmes et des gènes	110
6. Désynchronisation	111
7. Photopériodisme	112
8. Le miracle des pulsations cardiaques	113
9. Rythmes hormonaux	115
10. L'empire des rythmes circadiens	116
<b>CHAPITRE 7 — L'UNITÉ DE TEMPS</b>	<b>119</b>

1.	Une quête de précision jamais démentie...	119
2.	La définition de la seconde avant 1960	121
3.	La définition de la seconde de 1960 à 1967	122
4.	Quand la physique atomique s'en mêle ou la définition actuelle de la seconde	122
5.	À propos de la structure hyperfine	124
6.	Divisions du temps et système décimal	125
7.	Pourquoi des cadrans de douze heures ou l'origine de la numération duodécimale ?	126
8.	Vers une nouvelle définition de la seconde ?	128
<b>CHAPITRE 8 — DE L'EAU ET DU SABLE</b>		129
1.	Voleurs d'eau et clepsydres	129
2.	Une brève histoire de la clepsydre <ul style="list-style-type: none"> <li>a. <i>Les origines</i></li> <li>b. <i>La Chine et la clepsydre</i></li> <li>c. <i>Usage de la clepsydre dans l'Antiquité grecque</i></li> <li>d. <i>Les clepsydres chez les Romains</i></li> <li>e. <i>Horloge à eau en Perse</i></li> <li>f. <i>Usage de la clepsydre au Moyen Âge</i></li> </ul>	131
3.	Clepsydres célèbres <ul style="list-style-type: none"> <li>a. <i>La clepsydre de Harun al-Rachid</i></li> <li>b. <i>L'horloge monumentale de Su Sung</i></li> <li>c. <i>Les horloges à eau du monde arabe</i></li> </ul>	144
4.	Lorsque s'écoule le sable...	146
<b>CHAPITRE 9 — MESURE NON MÉCANIQUE DU TEMPS</b>		151
1.	Les gnomons et les cadrans solaires	151
2.	Terminologie et repères historiques	153
3.	Cadrans de hauteur <ul style="list-style-type: none"> <li>a. <i>Le quadrant</i></li> <li>b. <i>L'anneau solaire</i></li> <li>c. <i>Montres de berger</i></li> <li>d. <i>Scaphés grecs et romains</i></li> <li>e. <i>Le polos mésopotamien</i></li> </ul>	157
		158
		159
		159
		160

4.	Cadrans solaires de direction	161
	<i>L'anneau astronomique</i>	164
5.	La gnomonique dans le monde islamique	165
6.	Déterminer l'heure la nuit... !	167
	<i>a. Le merkhet</i>	167
	<i>b. Les nocturlabes ou cadrans aux étoiles</i>	167
	<i>c. Cadrans lunaires</i>	168
7.	Projection stéréographique et astrolabes	169
	<i>a. Origine</i>	169
	<i>b. Histoire et essor de l'astrolabe</i>	170
	<i>c. Comment fonctionne cet instrument ?</i>	173
8.	Les horloges à chandelles et à huile	174
<b>CHAPITRE 10 — LA MESURE MÉCANIQUE DU TEMPS</b>		177
1.	En guise d'introduction	177
2.	L'horlogerie de petit volume	178
3.	Gerbert d'Aurillac et tous les autres	179
4.	Vie monacale et mesure du temps	182
5.	L'échappement des horloges mécaniques	184
6.	Horlogers et forgerons	187
7.	Horloges de chambre et miniaturisation	191
8.	Évolution historique de l'horlogerie mécanique	195
9.	Un génial inventeur	201
10.	Peter Henlein et la montre de poche	205
11.	Pendule à grill et force de friction	209
12.	Les marins et le problème de la longitude	212
13.	Chronomètres de marine et conflits de paternité	216
14.	Peintres et décorateurs : de multiples talents	221
15.	Horlogerie de petit volume et décoration	227
<b>CHAPITRE 11 — HORLOGES ÉLECTRIQUES ET MONTRES ÉLECTRONIQUES</b>		231
1.	Des horloges de différents types	231
2.	Les horloges électriques	232
	<i>a. Quelques étapes historiques</i>	232

<i>b. Classification</i>	236
<i>c. Concepts et fonctionnement</i>	238
<i>d. Les horloges «mystérieuses»</i>	239
3. Les montres et horloges à quartz	240
<i>a. L'effet piézoélectrique</i>	240
<i>b. Des cristaux naturels ou synthétiques</i>	241
<i>c. Un matériau extraordinaire : le quartz</i>	242
La montre électronique	244
Source d'énergie	245
Résonateur	245
Circuit intégré	245
Le moteur	246
L'affichage	247
4. Quelques dates importantes dans l'histoire moderne de la montre	248
5. Horloges géantes	250
<b>CHAPITRE 12 — LES HORLOGES ASTRONOMIQUES</b>	
1. Des dizaines d'horloges	253
2. De merveilleux chefs-d'œuvre...	255
<i>a. Âge de la Lune et zodiaque</i>	259
<i>b. Horloges de tours, de cathédrales et de beffrois</i>	260
3. Des horloges astronomiques célèbres ou remarquables	266
<i>a. Horloge astronomique de Strasbourg</i>	266
<i>b. Horologium Mirabile Lundense</i>	268
<i>c. Horloge de l'église Notre-Dame de Gdańsk</i>	270
<i>d. La merveille de Prague...</i>	272
<i>e. Hôtel de ville et astronomie à Tübingen</i>	274
<i>f. La tour Zimmer de Lierre</i>	275
<b>CHAPITRE 13 — LES HORLOGES ATOMIQUES</b>	
1. Introduction	279
2. Principe de base d'une horloge atomique	280
3. L'expérience de Stern-Gerlach	282
4. Résonance magnétique dans un jet atomique	284

5.	Les premières horloges « atomiques »	286
6.	Émission induite, lasers et masers	288
7.	Pièges à ions	289
8.	Structure hyperfine et horloges atomiques	290
9.	L'atome d'hydrogène et les alcalins	292
10.	L'horloge atomique à ammoniac	294
11.	Le MASER à hydrogène	297
12.	L'horloge atomique au rubidium	299
13.	L'horloge atomique au césum	302
14.	La fontaine au césum	304
15.	Peignes de fréquences	308
16.	L'organisation du temps mondial	310
17.	Secondes intercalaires	312
<b>EN GUISE DE CONCLUSION</b>		315
<b>RÉFÉRENCES GÉNÉRALES</b>		319
<b>APPENDICES</b>		
Appendice A —	Glossaire des termes d'horlogerie	335
Appendice B —	Horlogers célèbres	345