

# Table des matières

<b>Avant-Propos</b>	vii
<b>1 Le temps newtonien</b>	<b>1</b>
1.1 Le temps subjectif .....	1
1.2 L'espace-temps newtonien .....	5
1.3 Causalité et simultanéité .....	7
<b>2 Les différentes échelles de temps</b>	<b>11</b>
2.1 Du temps de Planck à la milliseconde .....	11
2.2 De la milliseconde à mille années .....	15
2.3 De mille années à 10 milliards d'années .....	16
<b>3 La mesure du temps</b>	<b>19</b>
3.1 Repérer le temps : depuis la préhistoire .....	19
3.2 Mesurer les durées avec un phénomène continu : premières horloges .....	22
3.3 Mesurer le temps avec un phénomène périodique .....	24
3.4 Les horloges à atomes froids .....	36
3.5 Exactitude, stabilité, performances d'une horloge .....	43
3.6 Définition de l'unité du temps : la seconde .....	46
<b>4 Le temps de la relativité restreinte</b>	<b>51</b>
4.1 Vitesse limite .....	51
4.2 Temps propre .....	53
4.3 Espace-temps de Minkowski .....	58
4.4 Synchronisation des horloges et transformation du temps .....	61
4.5 Le paradoxe des jumeaux .....	67

<b>5</b>	<b>Le temps de la relativité générale</b>	<b>73</b>
5.1	Décalage vers le rouge gravitationnel .....	73
5.2	Application au GPS .....	77
5.3	Le temps en gravité forte .....	82
5.4	Le temps cosmologique .....	86
<b>6</b>	<b>Le standard de temps universel</b>	<b>91</b>
6.1	Connaître le temps sur la Terre .....	91
6.2	Les transferts temps/fréquence (T/F) .....	93
6.3	Une horloge sur la plateforme spatiale internationale (ISS) .....	103
6.4	Le transfert temps/fréquence par fibre optique .....	109
6.5	Le temps universel .....	113
6.6	Quelques applications fondamentales de la mesure du temps ...	113
6.7	Conclusion .....	116
<b>7</b>	<b>La flèche du temps</b>	<b>117</b>
7.1	Le second principe et l'entropie .....	119
7.2	L'entropie de Boltzmann .....	125
7.3	Énergie et entropie .....	131
7.4	Réversibilité microscopique et irréversibilité macroscopique ....	133
7.5	Entropie et information .....	141
<b>8</b>	<b>Renversement du temps et ondes</b>	<b>145</b>
8.1	Acoustique et renversement du temps .....	147
8.2	Principe d'Huygens et miroir à retournement temporel (MRT) ..	149
8.3	Causalité et limite de diffraction .....	151
8.4	Complexité, codage spatio-temporel et degrés de liberté .....	153
8.5	Communication sous-marine et objet tactiles .....	159
8.6	Super-résolution et résonateurs sub-longueur d'onde .....	164
8.7	Imagerie ultrarapide et retournement temporel .....	169
8.8	Thérapie .....	171
8.9	Sonar et radar à retournement temporel .....	172
8.10	Conclusion .....	174
	<b>Bibliographie</b>	<b>175</b>
	<b>Index</b>	<b>177</b>