

# Table des matières

<b>Avant-propos</b> . . . . .	1
<b>Chapitre 1. Description du modèle du <i>big bang</i></b> . . . . .	7
1.1. Phénomène de décalage vers le rouge du spectre des étoiles et des galaxies . . . . .	9
1.1.1. Effet Doppler . . . . .	9
1.1.2. Effet Doppler-Fizeau . . . . .	12
1.1.3. Expression du décalage Doppler . . . . .	15
1.2. Faits théoriques et expérimentaux ayant conduit à la validation du modèle du <i>big bang</i> . . . . .	20
1.2.1. De l'observation du décalage vers le rouge à l'hypothèse de « l'atome primitif » . . . . .	20
1.2.2. Des observations de Hubble à la découverte du fond diffus cosmologique . . . . .	20
1.3. Description succincte de la chronologie relative à l'évolution de l'Univers après le <i>big bang</i> . . . . .	26
1.3.1. De la singularité à l'ère d'inflation . . . . .	26
1.3.2. De la baryogenèse à la nucléosynthèse primordiale . . . . .	33
1.3.3. De l'âge sombre de l'Univers à l'ère radiative . . . . .	34
1.3.4. Formation des étoiles . . . . .	35
<b>Chapitre 2. Processus de nucléosynthèse</b> . . . . .	41
2.1. La nucléosynthèse . . . . .	43
2.1.1. Notion d'élément chimique . . . . .	43
2.1.2. Définition, différents processus de nucléosynthèse . . . . .	44

2.1.3. La nucléosynthèse primordiale . . . . .	45
2.1.4. La nucléosynthèse stellaire . . . . .	51
2.1.5. La nucléosynthèse explosive . . . . .	59
2.2. Autres processus importants de formation des noyaux, radionucléides dans l'environnement . . . . .	64
2.2.1. Réaction triple alpha, état de Hoyle . . . . .	64
2.2.2. Processus de formation des noyaux composés, états de résonance. . . . .	66
2.2.3. Cycle CNO ( <i>Carbon-Nitrogen-Oxygen</i> ) . . . . .	67
2.2.4. Cycle de Bethe-Weizsäcker . . . . .	69
2.2.5. Radionucléides naturels et artificiels dans l'environnement . . . . .	71

### Chapitre 3. Applications des radiochronomètres à la datation . . . . . 73

3.1. Datation par la méthode du carbone 14 . . . . .	75
3.1.1. Bref rappel historique sur la datation par le radiocarbone 14 . . . . .	76
3.1.2. Isotopes cosmogéniques : cas du carbone 14. . . . .	77
3.1.3. Le radiocarbone 14 dans la biosphère . . . . .	78
3.1.4. Principe de la datation au $^{14}\text{C}$ . . . . .	78
3.1.5. Correction d'âges, âge radiocarbone et âge calendaire . . . . .	83
3.1.6. Calibrage des âges radiocarbone : pourquoi calibrer ? Comment calibrer ? . . . . .	85
3.1.6.1. Pourquoi calibrer des âges radiocarbone ? . . . . .	86
3.1.6.2. Comment calibrer ? . . . . .	87
3.1.6.3. BP : <i>Before Present</i> , BC : <i>Before Christ</i> . . . . .	89
3.2. Datation par la méthode du potassium-argon (K-Ar) . . . . .	92
3.2.1. Principe de la datation . . . . .	92
3.2.2. Hypothèses de base sur le radiochronomètre K-Ar . . . . .	94
3.2.3. Équation d'âge. . . . .	95
3.2.4. Correction atmosphérique . . . . .	97
3.2.5. Préparation des échantillons destinés à la datation par le radiochronomètre K-Ar . . . . .	98
3.2.5.1. Broyage/tamassage . . . . .	99
3.2.5.2. Nettoyage . . . . .	99
3.2.5.3. Tris minéralogiques . . . . .	99
3.2.6. Protocoles expérimentaux de détermination du potassium et de l'argon . . . . .	101
3.2.6.1. Mesure de la teneur en potassium . . . . .	101
3.2.6.2. Mesure de la teneur en argon . . . . .	102
3.2.7. Surestimation des âges K-Ar . . . . .	105
3.2.8. Description de la méthode de datation $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ . . . . .	105

3.3. Datation des lacs par les radiochronomètres $^{210}\text{Pb}$ , $^{137}\text{Cs}$ et $^7\text{Be}$ . . . . .	107
3.3.1. Système de carottage . . . . .	107
3.3.2. Datation par le plomb 210 : modèles CFCS, CRS et CIC . . . . .	109
3.3.2.1. Modèle CFCS ( <i>Constant Flux and Constant Sedimentation</i> ). . . . .	113
3.3.2.2. Modèle CRS ( <i>Constant Rate of Supply</i> ) . . . . .	115
3.3.2.3. Modèle CIC ( <i>Constant Initial Concentration</i> ). . . . .	116
3.3.3. Essais nucléaires, accident de Tchernobyl . . . . .	117
3.3.4. Datation par le césium 137 . . . . .	121
3.3.5. Datation par le $^7\text{Be}$ . . . . .	126
3.4. Datation par la méthode de l'uranium-thorium ou de l'uranium-plomb : principe de la méthode . . . . .	129
3.5. Datation des coraux . . . . .	131
3.5.1. Chaîne de désintégration de l'uranium 238 . . . . .	131
3.5.2. Échantillonnage, préparation mécanique des échantillons . . . . .	133
3.5.2.1. Échantillonnage. . . . .	133
3.5.2.2. Préparation mécanique des échantillons . . . . .	133
3.5.3. Préparation chimique des échantillons, analyse X-ray diffraction . . . . .	134
3.5.3.1. Préparation chimique des échantillons . . . . .	134
3.5.3.2. Analyse X-ray diffraction (XRD) . . . . .	135
3.5.4. Datation des coraux par les méthodes $^{238}\text{U}/^{230}\text{Th}$ et $^{235}\text{U}/^{231}\text{Pa}$ . . . . .	135
3.5.5. Datation des coraux par la méthode $^{233}\text{U}/^{230}\text{Th}$ . . . . .	136
3.5.6. Datation des coraux et des spéléothèmes par les méthodes $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ et $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ . . . . .	139
3.6. Dossier sur datation d'objets archéologiques . . . . .	145
3.6.1. Généralités . . . . .	146
3.6.2. Choix de la ou des méthodes de datation . . . . .	146
3.6.3. Problématiques liées à l'authentification . . . . .	147
3.6.4. Vérification de la validité d'une date inscrite sur l'œuvre . . . . .	147
3.6.5. Retracer l'histoire d'un manuscrit . . . . .	148

## **Chapitre 4. Généralités sur les radiopharmaceutiques utilisés en imagerie de médecine nucléaire . . . . . 151**

4.1. La médecine nucléaire . . . . .	153
4.1.1. Définition, objectifs. . . . .	153
4.1.2. Naissance de la médecine nucléaire . . . . .	154
4.1.2.1. 1913 : première utilisation des radio-isotopes comme traceurs en biologie végétale . . . . .	154

4.1.2.2.	1923 : première utilisation des indicateurs chez l'homme . . .	155
4.1.2.3.	1927 : première encéphalographie artérielle par injection d'iodure de sodium. . . . .	155
4.1.2.4.	1930 : invention du cyclotron permettant de produire sur place des radiotraceurs à très courte de vie . . . . .	155
4.1.2.5.	1934 : découverte de la radioactivité artificielle, ouvrant la voie à la fabrication de divers radio-isotopes. . . . .	156
4.1.2.6.	1936 : première injection de phosphore 32 pour soigner la leucémie . . . . .	156
4.1.2.7.	1936 : découverte du technétium 99 métastable. . . . .	156
4.1.2.8.	1937 : première utilisation du sodium pour traiter les troubles thyroïdiens . . . . .	157
4.1.2.9.	1938 : production de l'iode 131 appliqué aux premières études sur la thyroïde . . . . .	157
4.1.2.10.	1939 : mise au point d'une technique de mesure du volume sanguin à partir de phosphore 32. . . . .	158
4.1.2.11.	1950 : naissance du terme « médecine nucléaire » . . . . .	158
4.1.2.12.	1957 : invention de la gamma-caméra et naissance des premières scintigraphies aux États-Unis. . . . .	158
4.1.2.13.	1963 : premières images pulmonaires à l'aide d'agrégats d'albumine radiomarqués . . . . .	158
4.1.2.14.	1971 : invention du scanner pour la reconstruction d'image . . . . .	158
4.1.2.15.	1973 : mise au point de la première caméra TEP . . . . .	159
4.1.2.16.	1975 : mise au point de la tomographie par émission de positons (TEP) . . . . .	159
4.1.3.	Types de maladies diagnostiquées en médecine nucléaire . . . . .	159
4.2.	Le cancer . . . . .	160
4.2.1.	Organisation cellulaire dans l'organisme . . . . .	160
4.2.2.	Évolution des cellules cancéreuses, tumeur. . . . .	162
4.2.3.	Cancérogenèse, métastases . . . . .	163
4.2.4.	Angiogenèse, <i>Vascular Endothelial Growth Factor</i> (VEGF) . . .	166
4.2.5.	Angiogenèse tumorale . . . . .	168
4.2.6.	Données globales d'épidémiologie des cancers . . . . .	170
4.2.6.1.	Dans le monde en 2018 . . . . .	170
4.2.6.2.	Pour l'Union européenne . . . . .	171
4.2.6.3.	En Afrique subsaharienne. . . . .	172
4.2.7.	Lutte contre le cancer au Sénégal . . . . .	175
4.2.8.	Recommandations des organismes de lutte contre le cancer. . . .	176

---

4.3. Généralités sur les radiopharmaceutiques . . . . .	178
4.3.1. Notion de radiopharmaceutique, propriétés spécifiques . . . . .	178
4.3.2. Contrôle de qualité des radiopharmaceutiques . . . . .	180
4.3.3. Pureté radiochimique, méthodes de détermination expérimentale . . . . .	181
4.3.4. Chromatographie sur couche mince appliquée à la détermination de la pureté radiochimique . . . . .	183
4.3.5. Détermination de la pureté radionucléidique . . . . .	188
4.4. Techniques d'imagerie de médecine nucléaire : TEP et TEMP . . . . .	189
4.4.1. Radio-isotopes utilisés en imagerie de médecine nucléaire . . . . .	189
4.4.2. Principe de la tomographie par émission de positons (TEP) . . . . .	191
4.4.3. PET-scan . . . . .	193
4.4.4. Déroulement du PET-scan. . . . .	194
4.4.5. Examen TEP/CT . . . . .	197
4.4.6. Principe de la tomographie par émission monophotonique . . . . .	197
4.4.6.1. Description . . . . .	198
4.4.6.2. Avantages et inconvénients de la tomoscintigraphie . . . . .	198
4.4.7. Principales scintigraphies et utilisations. . . . .	198
4.5. Annexes sur les maladies démentielles. . . . .	199
4.5.1. Annexe 1 : maladie d'Alzheimer . . . . .	200
4.5.1.1. Généralités. . . . .	200
4.5.1.2. Causes et effets, facteurs de risque, diagnostic . . . . .	200
4.5.1.3. La maladie d'Alzheimer dans le monde . . . . .	201
4.5.2. Annexe 2 : démence à corps de Lewy . . . . .	207
4.5.2.1. Définitions, démence mixte. . . . .	207
4.5.2.2. Symptômes, diagnostic et prévention de la maladie à corps de Lewy . . . . .	208
4.5.3. Annexe 3 : maladie de Parkinson. . . . .	211
4.5.3.1. Définition . . . . .	211
4.5.3.2. Causes . . . . .	212
4.5.3.3. Symptômes, problèmes associés . . . . .	215
4.5.3.4. La maladie de Parkinson en chiffres dans le monde . . . . .	216
<b>Bibliographie . . . . .</b>	<b>219</b>
<b>Index . . . . .</b>	<b>243</b>
<b>Sommaire de <i>Physique nucléaire 1</i> . . . . .</b>	<b>251</b>