

Table des matières

Avant-propos	1
Serge BOUFFARD et Nathalie MONCOFFRE	
Chapitre 1. Les défauts d'irradiation.	3
Serge BOUFFARD et David SIMÉONE	
1.1. Introduction.	3
1.2. Quelques données de base	4
1.2.1. Les environnements radiatifs et les matériaux du nucléaire	4
1.2.2. Quelques notions sur le transport des particules dans la matière	7
1.2.3. La zoologie des défauts d'irradiation	11
1.3. Mécanismes de création de défauts.	13
1.3.1. Création de défauts par collisions élastiques	15
1.3.2. Amorphisation.	18
1.3.3. Création de défauts par excitation électronique	20
1.3.4. Synergie entre collisions élastiques et excitations électroniques	28
1.4. Cinétiques d'évolution des défauts	30
1.4.1. Approche de type champ moyen : théorie des taux de réactions	32
1.4.2. Évolution des défauts étendus : cinétique d'amas en champ moyen	35
1.4.3. Approche Monte-Carlo cinétique.	36
1.4.4. Approche en champ de phase	38
1.5. Problèmes ouverts	40
1.6. Remerciements.	42
1.7. Bibliographie.	42

Chapitre 2. Les alliages métalliques	51
Philippe PAREIGE et Christophe DOMAIN	
2.1. Introduction.	51
2.2. La gaine du combustible	56
2.2.1. Croissance et fluage sous irradiation.	58
2.2.2. Fissuration par corrosion sous contraintes	60
2.2.3. Les mécanismes de l'évolution sous irradiation des propriétés	61
2.2.4. Les simulations de la croissance et du fluage sous irradiation.	62
2.3. Les structures internes en acier austénitique	63
2.3.1. Un effet de l'irradiation : la ségrégation intergranulaire	65
2.3.2. Évolution des propriétés mécaniques sous irradiation	68
2.3.3. Fluage sous irradiation	69
2.3.4. Gonflement.	70
2.3.5. Fissuration par corrosion sous contrainte assistée par irradiation	71
2.4. La cuve	74
2.4.1. Évolutions de la ténacité et de la résilience.	75
2.4.2. La dynamique des amas	76
2.5. Perspectives	82
2.6. Bibliographie.	85
Chapitre 3. Les céramiques au cœur des REP	91
Christine DELAFOY, Frederico GARRIDO et Yves PIPON	
3.1. Introduction.	91
3.2. Élaboration et propriétés usuelles des céramiques UO_2 et B_4C	95
3.2.1. Élaboration et structure du dioxyde d'uranium.	95
3.2.2. Élaboration et structure du carbure de bore.	97
3.2.3. Caractéristiques thermomécaniques du B_4C et de UO_2	100
3.3. Vieillessement des céramiques sous irradiation.	104
3.3.1. Évolution des propriétés du dioxyde d'uranium sous irradiation	105
3.3.2. Évolution des propriétés du carbure de bore sous irradiation	116
3.4. Les enjeux futurs.	120
3.5. Bibliographie.	124

Chapitre 4. Le graphite nucléaire	129
Nicolas BÉRERD et Laurent PETIT	
4.1. Le graphite nucléaire : un matériau multi-échelle	129
4.2. Pourquoi du graphite dans les réacteurs nucléaires ?	132
4.3. Évolution du graphite nucléaire en réacteur	134
4.3.1. L'irradiation neutronique	135
4.3.2. Les défauts d'irradiation dans le graphite nucléaire	137
4.3.3. Évolution des paramètres de maille et de la taille des cristallites dans un graphite irradié	143
4.3.4. Évolution de la densité et de la porosité par corrosion radiolytique du graphite	145
4.3.5. Quelles conséquences à l'échelle macroscopique ?	146
4.4. Conclusion	147
4.5. Remerciements	148
4.6. Bibliographie	149
Chapitre 5. Les verres de stockage	155
Magaly TRIBET	
5.1. Les verres d'intérêt nucléaire : leur rôle et leurs conditions de vieillissement sous irradiation	155
5.1.1. Rôle des verres d'intérêt nucléaire	155
5.1.2. Composition finale des verres nucléaires	156
5.1.3. La radioactivité des verres nucléaires	158
5.1.4. Un scénario complexe de vieillissement du verre en conditions de stockage géologique	161
5.2. Comment étudier les effets de l'irradiation sur le long terme à l'échelle du laboratoire ?	163
5.3. Système fermé : évolution du verre soumis à sa propre irradiation et à l'accumulation d'hélium	166
5.3.1. Impact de l'irradiation de type $\beta\gamma$	166
5.3.2. Effets des désintégrations α	167
5.3.3. Accumulation d'hélium	169
5.3.4. Résumé des connaissances en système fermé	170
5.4. Système ouvert : altération du verre par l'eau sous irradiation	171
5.4.1. Généralités sur le comportement du verre sous eau ; méthodologie d'étude	171
5.4.2. La prise en compte de l'irradiation dans ce système multiphasique	174
5.4.3. Irradiation et vitesse initiale d'altération	174

5.4.4. Irradiation et vitesse résiduelle d'altération.	176
5.4.5. Bilan sur le comportement sous eau et sous irradiation des verres	178
5.5. Conclusion et perspectives	179
5.6. Remerciements.	180
5.7. Bibliographie.	180

Chapitre 6. Radiolyse des matériaux poreux et radiolyse aux interfaces 185

Sophie LE CAËR et Jean-Philippe RENAULT

6.1. Introduction.	185
6.2. Généralités sur la radiolyse	186
6.2.1. Quelques définitions	186
6.2.2. Radiolyse de l'eau liquide	187
6.3. Principaux matériaux poreux d'intérêt	190
6.4. Dosimétrie dans les milieux hétérogènes	190
6.5. Production de dihydrogène par la radiolyse de l'eau en milieu confiné	191
6.5.1. Méthodes de calcul du rendement de production de dihydrogène	191
6.5.2. Mécanismes réactionnels	193
6.5.3. Différents paramètres influant sur la production de dihydrogène sous irradiation.	194
6.6. Vers la compréhension des phénomènes transitoires	195
6.6.1. Étude d'une espèce de faible durée de vie, le radical hydroxyle	195
6.6.2. Effet du confinement sur les réactions ayant lieu et leurs constantes de vitesse	197
6.7. Conclusion : <i>quid</i> des effets des espèces radiolytiques sur les matériaux ?	200
6.8. Bibliographie.	201

Chapitre 7. Les bétons et matériaux cimentaires sous irradiation. 205

Pascal BOUNIOL

7.1. Introduction.	205
7.2. Les bétons de radioprotection	206
7.2.1. Présentation	206
7.2.2. Effets d'irradiation sur la matrice cimentaire.	207
7.2.3. Effets d'irradiation sur les granulats	209
7.2.4. Prévision de l'endommagement des bétons.	211

7.3. Les matrices de conditionnement de déchets	211
7.3.1. Présentation	211
7.3.2. Radiolyse de la matrice cimentaire.	212
7.3.3. Couplages phénoménologiques.	214
7.4. Conclusion	216
7.5. Bibliographie.	216

Chapitre 8. Les matériaux organiques 219

Emmanuel BALANZAT et Muriel FERRY

8.1. Introduction.	219
8.2. Contexte technologique.	221
8.2.1. Les matériaux organiques du nucléaire	221
8.2.2. Les polymères dans le bâtiment réacteur	224
8.2.3. Déchets nucléaires	226
8.3. L'exposition aux rayonnements.	228
8.3.1. L'effet de TEL.	228
8.3.2. Les irradiations $\beta\gamma$	229
8.3.3. Les irradiations α	229
8.3.4. Les neutrons thermiques.	231
8.3.5. Les autres projectiles	231
8.4. Les polymères irradiés : phénoménologie	232
8.4.1. Tenue des polymères à l'irradiation	232
8.4.2. Les modifications induites par irradiation.	234
8.5. La radiolyse en anoxie des polymères : effets fondamentaux	235
8.5.1. Radiolyse des polymères : introduction	235
8.5.2. Un cas d'école : le polyéthylène	237
8.6. La radio-oxydation des polymères	240
8.6.1. Mécanisme de radio-oxydation	240
8.6.2. Influences chimique et physique du débit de dose.	244
8.6.3. L'irradiation α	245
8.7. Conclusion	247
8.8. Bibliographie.	248

Chapitre 9. Les outils d'irradiation 255

Serge BOUFFARD et Nathalie MONCOFFRE

9.1. Pourquoi des expériences avec des accélérateurs ?	255
9.2. Les conditions d'irradiation dans l'énergie nucléaire	256

9.2.1. Caractéristiques de ces particules	256
9.2.2. Comment simuler les irradiations en milieu nucléaire ?	257
9.3. Les outils pour simuler	260
9.3.1. Les réacteurs de recherche.	261
9.3.2. Les accélérateurs	262
9.3.3. Utilisation d'éléments radioactifs	268
9.4. Quelques grands centres de recherche sur les irradiations	268
9.5. Conclusion	270
9.6. Bibliographie.	271

Chapitre 10. Caractérisation des dommages d'irradiation 273

Aurélie GENTILS, Stéphanie JUBLOT-LECLERC et Patrick SIMON

10.1. Introduction	273
10.2. Caractérisation des défauts ponctuels.	274
10.2.1. Spectroscopie d'annihilation de positons	274
10.2.2. Diffusion Raman	275
10.2.3. Autres techniques	278
10.3. Caractérisation du désordre global et de la déformation élastique	279
10.3.1. Spectroscopie Raman	279
10.3.2. Analyse par faisceaux d'ions	281
10.3.3. Diffraction des rayons X	284
10.4. Imagerie des défauts étendus et cavités.	286
10.5. Analyses élémentaires.	288
10.6. Caractérisations microstructurales <i>in situ</i> de matériaux soumis à l'irradiation	290
10.7. Conclusion	292
10.8. Bibliographie	293

Liste des auteurs. 297

Index 299