

# Table des matières

<b>Avant-propos</b> . . . . .	1
<b>Remerciements</b> . . . . .	3
<b>Chapitre 1. Classification des accidents nucléaires civils, industriels et médicaux</b> . . . . .	5
1.1. Accident nucléaire ou accident radiologique ? . . . . .	6
1.2. La classification des accidents nucléaires : incident ou accident ? . . . . .	7
1.2.1. Application de l'échelle INES en France . . . . .	9
1.2.2. Application de l'échelle INES au niveau international . . . . .	10
1.2.3. Autres classifications des accidents nucléaires. . . . .	10
1.2.4. Classification NAMS. . . . .	10
1.3. La classification des accidents radiologiques . . . . .	11
1.4. La typologie des accidents . . . . .	13
1.4.1. Les accidents de criticité. . . . .	14
1.4.2. Les accidents sur les réacteurs électronucléaires. . . . .	15
1.4.3. Les pertes de sources radioactives . . . . .	15
1.4.4. Les accidents de radiothérapie . . . . .	15
1.4.5. Les attentats terroristes. . . . .	16
1.5. Les principaux accidents nucléaires . . . . .	16
1.6. L'information sur le nucléaire . . . . .	20

<b>Chapitre 2. Les accidents liés à la production électrique d'origine nucléaire.</b> . . . . .	<b>23</b>
2.1. Introduction. . . . .	23
2.2. Les accidents dans le cycle du combustible nucléaire . . . . .	23
2.2.1. Les mines d'uranium . . . . .	24
2.2.2. Les usines de concentration, conversion, enrichissement et fabrication. . . . .	26
2.2.3. Les réacteurs nucléaires . . . . .	26
2.2.3.1. Accident à la centrale nucléaire de la Simi Valley . . . . .	28
2.2.3.2. Accident à la centrale nucléaire de Lucens. . . . .	29
2.2.3.3. Accidents à la centrale nucléaire de Saint-Laurent-des-Eaux . . . . .	30
2.2.3.4. Accident à la centrale nucléaire de Bohunice . . . . .	31
2.2.3.5. Accident à la centrale nucléaire de Greifswald ou Lubmin . . . . .	31
2.2.3.6. Accident à la centrale nucléaire de Three Mile Island . . . . .	32
2.2.3.7. Incidents graves de diverses centrales nucléaires . . . . .	32
2.2.3.8. Les catastrophes de Tchernobyl et Fukushima . . . . .	33
2.2.4. Les usines de retraitement du combustible irradié. . . . .	33
2.2.4.1. Accidents français de La Hague . . . . .	33
2.2.4.2. Accident de Tokaï-Mura . . . . .	35
2.2.4.3. Incidents et accidents de Sellafield . . . . .	35
2.2.4.4. Accident en Russie en septembre 2017. . . . .	36
2.3. Les accidents dans les laboratoires . . . . .	36
2.3.1. Les laboratoires de Chalk River . . . . .	36
2.3.2. Les centres d'études français . . . . .	37
2.4. Autres accidents . . . . .	38
2.4.1. Les accidents dans le génie civil . . . . .	38
2.4.2. Les accidents dans la propulsion nucléaire . . . . .	39
2.5. Les incidents dans la gestion des déchets . . . . .	39
2.6. Les incidents dans les transports de colis radioactifs . . . . .	40
2.7. Les conséquences environnementales . . . . .	41
2.7.1. Les mines d'uranium . . . . .	41
2.7.2. Tokaï-Mura . . . . .	42
2.7.3. Saint-Laurent-des-Eaux . . . . .	42
2.7.4. Three Mile Island . . . . .	43
2.7.5. Church Rock . . . . .	44
2.7.6. La Hague . . . . .	44
2.7.7. Chalk River . . . . .	44
2.7.8. Simi Valley . . . . .	44
2.8. Les conséquences sanitaires . . . . .	45
2.8.1. Les mineurs des mines d'uranium . . . . .	45

2.8.2. Les travailleurs dans l'industrie nucléaire . . . . .	47
2.8.3. Simi Valley . . . . .	49
2.8.4. Tokai-Mura . . . . .	50
2.8.5. Lucens . . . . .	51
2.8.6. Three Mile Island . . . . .	51
2.8.7. Church Rock . . . . .	52
2.8.8. La Hague . . . . .	52
2.8.9. Chalk River . . . . .	53
2.8.10. Les rejets de ruthénium 106 en Russie en septembre 2017 . . . . .	54
2.9. Le coût des accidents . . . . .	54
2.10. Conclusion . . . . .	56

### **Chapitre 3. L'accident nucléaire de Tchernobyl . . . . . 59**

3.1. Introduction . . . . .	59
3.2. Les faits . . . . .	60
3.2.1. Le site de Tchernobyl et la centrale nucléaire . . . . .	60
3.2.2. L'accident . . . . .	60
3.2.3. Le cœur et les sarcophages . . . . .	60
3.2.4. Les rejets atmosphériques . . . . .	61
3.2.5. La dispersion des radionucléides . . . . .	62
3.2.6. Les retombées radioactives . . . . .	63
3.2.7. La gestion de l'accident . . . . .	64
3.2.8. Les contremesures réalisées à Tchernobyl . . . . .	67
3.3. Conséquences spatiales et environnementales . . . . .	69
3.3.1. La contamination atmosphérique . . . . .	69
3.3.2. La contamination des sols . . . . .	69
3.3.3. La contamination des eaux de surface . . . . .	70
3.3.4. La contamination des eaux souterraines . . . . .	71
3.3.5. La contamination des forêts . . . . .	72
3.3.6. La contamination du milieu aquatique . . . . .	75
3.3.7. La contamination du milieu marin . . . . .	76
3.4. Conséquences écologiques . . . . .	76
3.4.1. Les trois phases . . . . .	77
3.4.2. Effets au niveau moléculaire . . . . .	79
3.4.3. Effets génétiques . . . . .	80
3.4.3.1. Effets sur la flore . . . . .	80
3.4.3.2. Effets sur les invertébrés . . . . .	83
3.4.3.3. Effets sur les vertébrés . . . . .	83
3.4.3.4. Adaptation à l'irradiation . . . . .	85
3.4.4. Effets morphologiques et physiologiques sur les individus . . . . .	86

---

3.4.5. Effets sur la reproduction des individus (sexe, sexe-ratio, fertilité) . . . . .	87
3.4.6. Effets sur les populations (âge, abondance, longévité) . . . . .	89
3.4.6.1. Effets sur l'abondance de la flore . . . . .	89
3.4.6.2. Effets sur l'abondance des invertébrés . . . . .	89
3.4.6.3. Effets sur l'abondance des vertébrés . . . . .	90
3.4.6.4. Effets sur l'abondance des grands mammifères . . . . .	91
3.4.7. Effets sur la structure et le fonctionnement des écosystèmes . . . . .	92
3.4.8. Conclusion . . . . .	92
3.5. Conséquences sanitaires . . . . .	94
3.5.1. Implications des grands organismes . . . . .	94
3.5.2. Les principales contributions à l'exposition . . . . .	96
3.5.3. Exposition des populations . . . . .	97
3.5.3.1. Exposition des personnels d'intervention. . . . .	97
3.5.3.2. Exposition des populations évacuées . . . . .	97
3.5.3.3. Exposition des populations de la région de Tchernobyl . . . . .	98
3.5.4. Les pathologies cancéreuses . . . . .	99
3.5.4.1. L'iode 131 et les pathologies thyroïdiennes . . . . .	99
3.5.4.2. Les leucémies . . . . .	103
3.5.4.3. Les cancers du sein chez les femmes . . . . .	103
3.5.4.4. Les autres cancers solides non thyroïdiens . . . . .	103
3.5.5. Les pathologies non cancéreuses . . . . .	105
3.5.5.1. Les effets génétiques et héréditaires. . . . .	105
3.5.5.2. Les organes sensoriels et les cataractes . . . . .	106
3.5.5.3. Les maladies cardiovasculaires . . . . .	107
3.5.5.4. Les autres pathologies . . . . .	107
3.5.6. Les mortalités dues à l'accident de Tchernobyl . . . . .	109
3.6. Conséquences sociales . . . . .	113
3.6.1. Troubles psychologiques chez les « liquidateurs » . . . . .	113
3.6.2. Troubles psychologiques chez les populations évacuées . . . . .	114
3.7. Conséquences en Europe et en France . . . . .	116
3.7.1. L'impact de Tchernobyl en Europe . . . . .	116
3.7.2. L'impact de Tchernobyl en France. . . . .	120
3.7.2.1. Les retombées radioactives . . . . .	120
3.7.2.2. La contamination de l'environnement . . . . .	121
3.7.2.3. Les doses d'exposition. . . . .	123
3.7.2.4. Les cas de cancers de la thyroïde . . . . .	125
3.8. Conséquences économiques . . . . .	127
3.9. La gestion à long terme de l'accident de Tchernobyl . . . . .	128
3.10. Conclusion . . . . .	129

<b>Chapitre 4. Les accidents nucléaires de Fukushima . . . . .</b>	<b>131</b>
4.1. Introduction . . . . .	131
4.2. Le déroulé des accidents de Fukushima . . . . .	132
4.2.1. Les faits . . . . .	132
4.2.2. Les rejets atmosphériques . . . . .	135
4.2.3. Les rejets marins . . . . .	135
4.3. Les actions engagées par les autorités japonaises . . . . .	136
4.3.1. L'évacuation des populations . . . . .	137
4.3.2. La distribution de comprimés d'iode aux enfants . . . . .	139
4.3.3. Les limites d'exposition des travailleurs du nucléaire et de la population . . . . .	140
4.3.4. Les valeurs réglementaires et la surveillance des denrées alimentaires . . . . .	140
4.3.5. Les essais de décontamination de la production végétale . . . . .	142
4.3.6. La décontamination et la gestion des déchets . . . . .	143
4.3.7. La réorganisation de l'industrie nucléaire japonaise . . . . .	144
4.3.8. L'indemnisation des victimes . . . . .	145
4.4. Les conséquences environnementales . . . . .	145
4.4.1. La contamination de l'atmosphère . . . . .	145
4.4.2. La contamination de l'environnement terrestre . . . . .	147
4.4.2.1. Les dépôts radioactifs au sol . . . . .	147
4.4.2.2. Les dépôts de billes radioactives . . . . .	148
4.4.2.3. La contamination des sols . . . . .	148
4.4.3. La contamination des forêts . . . . .	150
4.4.4. La contamination des oiseaux . . . . .	153
4.4.5. La contamination des milieux dulçaquicoles . . . . .	153
4.4.6. La contamination du milieu marin . . . . .	154
4.4.6.1. Les apports fluviaux et atmosphériques à l'océan Pacifique . . . . .	154
4.4.6.2. La contamination des eaux océaniques . . . . .	155
4.4.6.3. La modélisation de la circulation des eaux océaniques . . . . .	156
4.4.6.4. La contamination des sédiments marins . . . . .	157
4.4.6.5. La contamination des organismes marins . . . . .	157
4.4.7. La contamination des produits agricoles et des aliments . . . . .	159
4.4.7.1. Les premiers constats . . . . .	160
4.4.7.2. Les produits d'origine aquatique et marine . . . . .	160
4.4.7.3. Les produits terrestres . . . . .	161
4.4.7.4. Les animaux d'élevage . . . . .	162
4.4.7.5. Les arbres fruitiers . . . . .	162
4.4.7.6. Les champignons . . . . .	163
4.4.7.7. Le suivi de la contamination radioactive des aliments . . . . .	163
4.4.7.8. Les facteurs de transfert . . . . .	163

4.5. Exposition et effets sur la flore et la faune . . . . .	164
4.5.1. Exposition et effets sur les forêts . . . . .	165
4.5.2. Exposition et effets sur les oiseaux. . . . .	165
4.5.3. Exposition et effets sur les autres organismes terrestres . . . . .	167
4.5.4. Exposition et effets sur les organismes dulçaquicoles . . . . .	168
4.5.5. Exposition et effets sur les organismes marins. . . . .	168
4.6. Les conséquences sanitaires . . . . .	170
4.6.1. Les conséquences pour la population humaine locale. . . . .	170
4.6.1.1. Les doses d'exposition de la population locale . . . . .	171
4.6.1.2. Les conséquences sur les personnes évacuées . . . . .	172
4.6.1.3. Perception du risque et santé mentale. . . . .	174
4.6.1.4. Suivi des femmes enceintes au moment de l'accident et de leurs enfants . . . . .	175
4.6.1.5. Les conséquences pour les enfants . . . . .	175
4.6.2. Les conséquences pour les travailleurs du nucléaire . . . . .	177
4.6.3. Les conséquences pour la population mondiale (hors Japon) . . . . .	179
4.7. Les conséquences économiques. . . . .	180
4.8. La situation en 2016 et 2017. . . . .	181
4.8.1. La situation des installations nucléaires de Fukushima . . . . .	181
4.8.2. L'évolution de la contamination des eaux douces . . . . .	182
4.8.3. Les premiers retours et intentions de retour des populations évacuées suite à l'accident de la centrale de Fukushima Daiichi . . . . .	184
4.9. Conclusion . . . . .	184

**Chapitre 5. Les accidents radiologiques industriels et médicaux . . . . . 187**

5.1. Introduction. . . . .	187
5.2. Les applications industrielles et médicales . . . . .	188
5.2.1. Contrôles industriels non destructifs. . . . .	188
5.2.2. Réactions de synthèse industrielles et transformations mécaniques et chimiques . . . . .	189
5.2.3. Remédiation de l'environnement et traitement des déchets par irradiation . . . . .	190
5.2.4. Les applications agroalimentaires . . . . .	191
5.2.5. Les applications médicales . . . . .	192
5.2.5.1. Les téléradiothérapies . . . . .	193
5.2.5.2. Les brachythérapies . . . . .	193
5.2.5.3. Les radiothérapies métaboliques. . . . .	193
5.2.5.4. La radiologie interventionnelle par fluoroscopie . . . . .	194
5.3. Les accidents radiologiques de criticité . . . . .	194

---

5.4. Les accidents radiologiques liés à la perte de sources radioactives . . .	195
5.4.1. La perte de sources radioactives et l'exposition du public . . . . .	196
5.4.2. Les principales causes de perte de sources radioactives . . . . .	202
5.4.3. Les accidents nucléaires liés à la perte de sources radioactives . .	203
5.5. Les accidents radiologiques avec des sources radioactives et des accélérateurs industriels . . . . .	206
5.6. Les accidents radiologiques médicaux . . . . .	210
5.6.1. Les accidents historiques de l'utilisation de la radiothérapie . . .	210
5.6.2. Les accidents radiologiques avec des sources radioactives médicinales . . . . .	211
5.6.2.1. Les faits . . . . .	211
5.6.2.2. Les causes . . . . .	214
5.6.3. Les accidents de curiethérapie et brachythérapie . . . . .	216
5.6.4. La radiologie interventionnelle par fluoroscopie. . . . .	217
5.6.5. Les cancers secondaires . . . . .	217
5.7. Conclusion . . . . .	217
<b>Conclusion</b> . . . . .	<b>219</b>
<b>Glossaire</b> . . . . .	<b>229</b>
<b>Liste des sigles et abréviations</b> . . . . .	<b>239</b>
<b>Bibliographie</b> . . . . .	<b>243</b>
<b>Index</b> . . . . .	<b>301</b>