

Table des matières

Avant-propos	1
Remerciements	3
Chapitre 1. Classifications et origines des déchets radioactifs.	5
1.1. Introduction : que faire des déchets radioactifs ?	5
1.2. Définition du déchet radioactif	6
1.3. Classifications des déchets nucléaires	7
1.3.1. Généralités sur la classification des déchets radioactifs	7
1.3.2. Les recommandations de l’AIEA	8
1.3.3. La classification française des déchets radioactifs	8
1.3.3.1. Les niveaux d’activité retenus en France	10
1.3.3.2. Les filières françaises de déchets radioactifs	11
1.3.3.3. Les déchets radioactifs hospitaliers	12
1.3.3.4. La nocivité des déchets radioactifs	12
1.3.4. La classification américaine	12
1.3.5. La classification britannique	14
1.3.6. La classification russe	14
1.3.7. Comparaisons des diverses classifications	14
1.3.7.1. Classification américaine et recommandation de l’AIEA	14
1.3.7.2. Les classifications des déchets radioactifs belge, française et canadienne	15
1.3.8. La classification pour les sources scellées	15
1.4. Les origines des déchets nucléaires	15
1.4.1. Les principaux radionucléides dans les déchets radioactifs	17
1.4.2. Les déchets radioactifs liés au cycle du combustible nucléaire	17

1.4.3. Les déchets radioactifs liés à la production d'électricité	18
1.4.4. Les déchets radioactifs liés aux activités militaires	19
1.4.5. Les déchets radioactifs liés aux utilisations médicales et industrielles	20
1.4.6. Les déchets radioactifs liés aux démantèlements des installations nucléaires	20
1.4.7. Les déchets radioactifs provenant des accidents nucléaires	21
1.5. Le bilan mondial des déchets radioactifs	22
1.6. Conclusions	25

Chapitre 2. Les méthodes d'élimination des déchets nucléaires 27

2.1. Introduction : comment se débarrasser des déchets nucléaires ? Quelles solutions dans l'avenir pour les déchets nucléaires ?	27
2.2. La gestion des déchets nucléaires	28
2.2.1. Les dilutions	28
2.2.2. Les décontaminations	30
2.2.3. La réduction du volume des déchets radioactifs	31
2.2.4. Les immobilisations des déchets radioactifs	33
2.2.4.1. Les ciments	33
2.2.4.2. Les bitumes	34
2.2.4.3. La vitrification	35
2.2.4.4. Les céramiques	36
2.2.4.5. Les résines et les composés métalliques	37
2.2.4.6. Le choix de la matrice d'immobilisation	37
2.2.5. La séparation des radionucléides	38
2.2.6. Le conditionnement des colis de déchets radioactifs	38
2.2.6.1. La création de barrières pour les colis de déchets radioactifs	39
2.2.6.2. Les emballages en acier et en cuivre en Suède	39
2.2.6.3. Les emballages de transport	39
2.2.7. La décroissance physique	40
2.2.7.1. La méthode de la latence	40
2.2.7.2. Les entreposages	41
2.2.7.3. Les seuils de libération	41
2.2.8. Les stockages définitifs	42
2.2.8.1. Les immersions	42
2.2.8.2. Les centres de stockage définitif	43
2.2.9. Les transports de matières nucléaires et de déchets radioactifs . .	43
2.3. Le cas particulier de la gestion des déchets radioactifs à vie longue . .	44
2.3.1. Les traitements et les emballages	45

2.3.1.1. Le cas du combustible utilisé	45
2.3.1.2. Le cas des solutions acides de produits de fission et d'actinides	47
2.3.1.3. Le conditionnement des déchets de structures métalliques	47
2.3.2. Les entreposages temporaires	48
2.3.2.1. Les entreposages sous eau, piscines locales et centralisées	49
2.3.2.2. Les entreposages à sec	50
2.3.2.3. Comparaison des entreposages sous eau et à sec	51
2.3.2.4. Les silos	52
2.3.3. Les entreposages de longue durée	52
2.3.4. Le stockage dans les fonds marins	54
2.3.4.1. Le stockage dans les fosses abyssales	54
2.3.4.2. L'élimination dans les zones de subduction des fonds marins	58
2.3.5. Le stockage géologique en couche profonde continentale	59
2.3.5.1. Les stockages définitifs en couche géologique	61
2.3.5.2. Les stockages dans des forages	63
2.3.6. L'envoi dans l'espace	66
2.3.7. L'immobilisation dans les glaces polaires	67
2.3.8. La transmutation	68
2.3.8.1. Un nombre limité de radionucléides candidats	69
2.3.8.2. Des preuves d'efficacité très limitées et des rendements faibles	70
2.3.8.3. Des recherches pour l'avenir lointain	70
2.3.8.4. Des applications limitées	71
2.3.8.5. Des surcoûts importants	72
2.4. Conclusions	72

Chapitre 3. La gestion des déchets radioactifs historiques et des déchets de faible activité dans le monde 75

3.1. Introduction	75
3.2. La gestion des déchets radioactifs historiques	76
3.2.1. Les déchets d'extraction et de concentration d'uranium	76
3.2.2. Les rejets directs des déchets liquides dans les cours d'eau et les réservoirs	78
3.2.3. Les déchets militaires historiques	80
3.2.4. Les utilisations anciennes du radium	81
3.2.4.1. L'utilisation du radium dans l'hygiène et la pharmacie	81
3.2.4.2. Les déchets de l'horlogerie	81
3.2.5. Les immersions dans les fonds océaniques	82
3.2.5.1. Les immersions européennes	83

3.2.5.2. Les immersions américaines	85
3.2.5.3. Les immersions soviétiques.	85
3.2.5.4. Les immersions des autres nations.	86
3.3. Les recommandations internationales de l'AIEA et de l'AEN	87
3.3.1. Les recommandations générales	87
3.3.2. Les recommandations concernant les déchets de graphite	90
3.3.3. Les solutions de gestion des déchets radioactifs	91
3.3.4. Le temps d'attente et de traitement du combustible nucléaire	93
3.3.5. Le besoin d'enseignement	94
3.4. Quelques exemples de gestion des déchets radioactifs	94
3.4.1. Les inventaires internationaux des déchets radioactifs	94
3.4.2. Les stockages en surface.	94
3.4.2.1. La Belgique	95
3.4.2.2. Le Japon	96
3.4.3. Les stockages des déchets radioactifs en couche géologique	97
3.4.3.1. L'Allemagne	97
3.4.3.2. La Finlande	98
3.4.3.3. La Suède	99
3.4.3.4. Le Canada	100
3.4.3.5. Les autres pays	100
3.5. Les déchets radioactifs hors cycle du combustible nucléaire	101
3.5.1. Les déchets médicaux hospitaliers et de santé	101
3.5.2. Les déchets industriels et de la recherche	102
3.6. Conclusions.	103

Chapitre 4. La gestion des déchets nucléaires de moyenne et de haute activité	105
4.1. Introduction.	105
4.2. Les recommandations internationales de l'AIEA et de l'AEN	107
4.2.1. La gestion des combustibles usés.	107
4.2.2. La gestion des déchets radioactifs issus d'un accident nucléaire	108
4.2.3. Les dépôts définitifs en couches géologiques profondes	109
4.2.4. Les critères du choix du site.	111
4.2.5. L'évolution temporelle d'un dépôt géologique profond	112
4.2.6. Le laboratoire souterrain.	112
4.2.6.1. Les rôles des laboratoires souterrains	113
4.2.6.2. Les différents laboratoires souterrains dans le monde	114
4.2.6.3. Les problèmes scientifiques traités dans les laboratoires souterrains	115
4.2.7. La récupérabilité et la récupération	116

4.2.8. Le dossier de sûreté.	117
4.2.9. La prise de décision.	119
4.2.10. L'évolution à long terme et la surveillance postfermeture	121
4.3. La gestion des déchets radioactifs de haute activité et le public	122
4.3.1. La perception du public au projet de dépôt géologique.	122
4.3.2. L'information ou la communication du public au projet de dépôt géologique	123
4.3.3. Les mesures d'accompagnement d'un projet de gestion des déchets radioactifs	124
4.3.4. La participation du public au projet de dépôt géologique	125
4.3.5. L'information aux générations futures.	126
4.4. Les solutions alternatives.	128
4.4.1. Les entreposages temporaires sous eau	128
4.4.2. Une solution provisoire : les entreposages à sec	128
4.4.3. Une phase d'attente : les entreposages à long terme	129
4.4.4. La perspective américaine de forages profonds	129
4.5. La gestion des déchets radioactifs de haute activité par les divers États	130
4.5.1. Les États prônant un cycle fermé du combustible nucléaire	131
4.5.1.1. La Chine	132
4.5.1.2. La France	133
4.5.1.3. L'Inde	133
4.5.1.4. La Russie	135
4.5.2. Les États ayant retraité le combustible usé dans le passé.	136
4.5.2.1. L'Afrique du Sud.	136
4.5.2.2. L'Allemagne	137
4.5.2.3. La Belgique	137
4.5.2.4. La Corée du Sud	138
4.5.2.5. Les États-Unis	139
4.5.2.6. Le Japon	141
4.5.2.7. Le Royaume-Uni	143
4.5.3. Les États ayant un cycle du combustible nucléaire ouvert	146
4.5.3.1. La Hongrie, la Lituanie, la Slovaquie et l'Ukraine	146
4.5.3.2. Le Canada	148
4.5.3.3. L'Argentine	149
4.5.3.4. La Suisse.	149
4.5.3.5. La Suède	149
4.5.3.6. La Finlande	152
4.5.3.7. La Roumanie, l'Arménie et la Tchécoslovaquie	153
4.5.3.8. Les Pays-Bas, l'Italie et l'Espagne.	153
4.6. Conclusions.	154

Chapitre 5. La gestion des déchets nucléaires en France	155
5.1. Introduction	155
5.2. Les rejets directs dans l'environnement	157
5.2.1. Les centres d'études nucléaires	157
5.2.2. Les réacteurs nucléaires	158
5.2.3. Les usines du cycle du combustible	159
5.3. L'inventaire des déchets nucléaires en France	159
5.3.1. Les déchets militaires	159
5.3.2. Les déchets civils	162
5.4. La gestion des déchets nucléaires en France	167
5.4.1. Le contexte réglementaire	168
5.4.2. Le Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR)	169
5.4.3. Les différents acteurs de la gestion des déchets nucléaires en France	170
5.4.3.1. L'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra)	172
5.4.3.2. Les principaux producteurs de déchets radioactifs	172
5.4.3.3. Le circuit officiel des sphères administrative et politique	172
5.4.3.4. Le circuit technique et scientifique de la sphère scientifique	173
5.4.3.5. Le circuit public	174
5.4.3.6. Le circuit international	175
5.5. L'organisation des stockages pour les déchets recensés	176
5.5.1. Les divers types de conteneurs	176
5.5.1.1. Les colis pour le transport	176
5.5.1.2. Le conditionnement des déchets de moyenne activité à vie longue	176
5.5.1.3. Le conditionnement des déchets de haute activité en France	177
5.5.2. La gestion des déchets radioactifs à vie très courte (VTC)	178
5.5.3. La gestion des déchets radioactifs de très faible activité (TFA)	178
5.5.4. Les centres de stockage des déchets nucléaires de faible et de moyenne activité à vie courte (FA-VC et MA-VC) en France	179
5.5.5. La gestion des déchets nucléaires de faible activité à vie longue (FA-VL) en France	180
5.5.5.1. Les déchets radifères	180
5.5.5.2. Les déchets uranifères	180
5.5.5.3. Les déchets de graphite	180

5.5.5.4. Les déchets FA-VL historiques	181
5.5.5.5. Le futur centre de stockage des déchets FA-VL.	182
5.5.6. La gestion des déchets de moyenne et de forte activité à vie longue (MA-VL et HA-VL) en France	182
5.5.6.1. Historique de la recherche d'une solution définitive pour les HA-VL en France	184
5.5.6.2. Les trois axes de recherche de la loi de 1991	187
5.5.6.3. Le laboratoire souterrain de Bure	188
5.5.6.4. Le projet Cigéo	189
5.5.6.5. La réversibilité du stockage profond	193
5.5.6.6. L'admission des colis de déchets radioactifs dans Cigéo . . .	195
5.5.6.7. La préservation de la mémoire et sa transmission intergénérationnelle	195
5.5.6.8. Le coût du projet Cigéo	196
5.5.7. Une opposition farouche et une arrivée des problèmes sociaux . .	197
5.5.7.1. L'importance de la politique	197
5.5.7.2. Le public, acteur majeur de la gestion des déchets radioactifs.	198
5.5.7.3. Les intérêts des générations futures	198
5.5.7.4. Le territoire et les citoyens	199
5.5.8. Une piscine centralisée, option provisoire	199
5.5.9. Les déchets radioactifs issus du retraitement des combustibles usés étrangers	200
5.6. La gestion des déchets particuliers et sans filière.	201
5.6.1. La gestion des déchets historiques	202
5.6.2. Les stockages des déchets tritiés	204
5.6.3. Les déchets d'origine naturelle	205
5.6.3.1. Les résidus miniers.	205
5.6.3.2. Les usines de traitement des minerais naturels	208
5.6.4. Les déchets immergés	208
5.7. Les contestations françaises à la politique de gestion des déchets radioactifs	209
5.8. Conclusions.	211
5.8.1. Des lacunes pour plusieurs catégories de déchets radioactifs . . .	211
5.8.2. Les évolutions récentes de la politique nucléaire française	212
5.8.3. Un changement de politique sur le cycle fermé ?	212
5.8.4. Redéfinition entre déchets radioactifs et matières radioactives . .	213
5.8.5. Le coût de la gestion des déchets.	213

Liste des acronymes	229
Bibliographie	235
Index	271