

Table des matières

1	OBJECTIFS	1
1.1	APERÇU DU COURS	1
1.2	STRUCTURE DE L'ATOME	1
1.3	RADIOACTIVITE — PHENOMENES NUCLEAIRES SPONTANES ...	1
1.4	STABILITE ET INSTABILITE NUCLEAIRES	2
1.5	ACTIVITE ET PERIODE	2
1.6	LES NEUTRONS ET LEURS INTERACTIONS	2
1.7	LA FISSION	2
1.8	COMBUSTIBLE, MODERATEUR ET GESTION DU REACTEUR	3
1.9	SURETE NUCLEAIRE	3
1.10	REACTEURS DE PUISSANCE	4
1.11	CONSTRUCTION D'UN REACTEUR CANDU	4
1.12	MODERATEUR ET CIRCUIT DU MODERATEUR	4
1.13	CIRCUIT DE GAZ DE COUVERTURE ET CIRCUITS AUXILIAIRES DU MODERATEUR	5
1.14	CIRCUIT CALOPORTEUR (CC)	6
1.15	SYSTEMES AUXILIAIRES DU CIRCUIT CALOPORTEUR	7
1.16	LE COMBUSTIBLE CANDU	8
1.17	CYCLE DE VIE DES NEUTRONS	9
1.18	CRITICITE ET MULTIPLICATION DES NEUTRONS	9
1.19	CHANGEMENTS DANS LA PUISSANCE DU REACTEUR AU FIL DU TEMPS	9
1.20	UN PRODUIT DE FISSION AGISSANT COMME POISON : LE XENON 9	
1.21	EFFETS DES CHANGEMENTS DE TEMPERATURE SUR LA REACTIVITE	10
1.22	CONTROLE DU FLUX DE NEUTRONS	10
1.23	MECANISMES DE CONTROLE DE LA REACTIVITE	10
1.24	INJECTION D'URGENCE DE CALOPORTEUR ET CONFINEMENT	11
1.25	LES ELEMENTS NON NUCLEAIRES DE LA CENTRALE	12
1.26	AUTRES GRANDS SYSTEMES	13
2	STRUCTURE DE L'ATOME	15
2.1	PARTICULES FONDAMENTALES	15
2.1.1	<i>Le proton</i>	15
2.1.2	<i>Le neutron</i>	15
2.1.3	<i>L'électron</i>	16
2.2	STRUCTURE ATOMIQUE	16
2.3	NOTATION ATOMIQUE	16
2.4	ISOTOPES	17

2.5	NOTIONS PRINCIPALES	18
2.6	EXERCICES	20
3	RADIOACTIVITE — PHENOMENES NUCLEAIRES	
SPONTANES	21	
3.1	TYPES D'EMISSION	21
3.1.1	<i>Émission d'une particule alpha</i>	21
3.1.2	<i>Émission d'une particule bêta</i>	22
3.1.3	<i>Émissions d'un rayon gamma</i>	22
3.2	INTERACTION DU RAYONNEMENT AVEC LA MATIERE	24
3.2.1	<i>Interactions des particules alpha</i>	24
3.2.2	<i>Interactions des particules bêta</i>	25
3.2.3	<i>Interaction des rayons gamma avec les atomes</i>	25
FIGURE 3.3	27	
EFFET COMPTON	27	
3.3	IONISATION DIRECTE ET INDIRECTE	28
3.4	BLINDAGE	28
3.5	NOTIONS PRINCIPALES	29
3.6	EXERCICES	31
4	STABILITE ET INSTABILITE NUCLEAIRES	32
4.1	LES NOYAUX RICHES EN NEUTRONS	34
4.2	TRANSFORMATION DES NUCLEONS	35
4.3	LES NOYAUX PAUVRES EN NEUTRONS	35
4.4	NOYAUX LOURDS	36
4.5	NOTIONS PRINCIPALES	36
4.6	EXERCICES	38
5	ACTIVITE ET PERIODE	39
5.1	LOI DE LA DESINTEGRATION RADIOACTIVE	39
5.2	LA PERIODE RADIOACTIVE	40
5.3	ÉTENDUE DES PERIODES	43
5.4	NOTIONS PRINCIPALES	44
5.5	EXERCICES	45
6	LES NEUTRONS ET LEURS INTERACTIONS	47
6.1	PRODUCTION DE NEUTRONS	47
6.1.1	<i>Le photoneutron</i>	47
6.2	INTERACTIONS NEUTRONIQUES	47
6.3	DIFFUSION ELASTIQUE — (N, N)	48
6.4	DIFFUSION INELASTIQUE — (N, N γ)	48
6.5	TRANSMUTATION — (N, P), (N, α)	49
6.5.1	<i>Réaction neutron-proton (n, p)</i>	49
6.5.2	<i>Réaction neutron-alpha (n, α)</i>	50
6.6	CAPTURE RADIATIVE — (N, γ)	50

6.7	FISSION	51
6.8	NOTIONS PRINCIPALES	52
6.9	EXERCICES	53
7	LA FISSION	55
7.1	ÉNERGIE LIBEREE PAR LA FISSION	55
7.2	FRAGMENTS DE LA FISSION	58
7.3	LA REACTION EN CHAÎNE	59
7.4	NEUTRONS	60
7.4.1	<i>Neutrons instantanés et retardés</i>	<i>60</i>
7.4.2	<i>Énergie des neutrons.....</i>	<i>61</i>
7.4.3	<i>Le flux neutronique</i>	<i>61</i>
7.5	SECTION EFFICACE DES NEUTRONS	62
7.5.1	<i>Effet de la composition.....</i>	<i>63</i>
7.5.2	<i>Effet de l'énergie des neutrons</i>	<i>64</i>
7.6	NOTIONS PRINCIPALES	65
7.7	EXERCICES	66
8	COMBUSTIBLE, MODERATEUR ET GESTION DU REACTEUR.....	67
8.1	LE MODERATEUR	67
8.2	COMBUSTIBLE FRAIS ET CHARGEMENT A L'EQUILIBRE.....	69
8.3	ARCHITECTURE DU REACTEUR	70
8.4	NOTIONS PRINCIPALES	72
8.5	EXERCICES	73
9	SURETE NUCLEAIRE.....	75
9.1	INTRODUCTION	75
9.2	UNITES DE L'EXPOSITION AU RAYONNEMENT	75
9.3	RAYONNEMENT	76
9.4	SURETE CLASSIQUE	79
9.5	ALARA – LA REDUCTION DES DANGERS	79
9.6	AUTO-VERIFICATION.....	80
9.7	SURETE DU REACTEUR	80
9.8	DEFENSE EN PROFONDEUR	80
9.8.1	<i>Systèmes de procédé fiables.....</i>	<i>81</i>
9.8.2	<i>Systèmes de sûreté fiables.....</i>	<i>82</i>
9.8.3	<i>Barrières multiples.....</i>	<i>82</i>
9.8.4	<i>Personnel d'exploitation et d'entretien compétent.....</i>	<i>83</i>
9.8.5	<i>Détection et correction des défaillances.....</i>	<i>83</i>
9.9	NOTIONS DE FIABILITE FONDAMENTALES	84
9.9.1	<i>Définitions.....</i>	<i>84</i>
9.9.2	<i>Concepts.....</i>	<i>85</i>
9.10	DOCUMENTATION	87
9.11	ÉMISSIONS RADIOACTIVES DES CENTRALES NUCLEAIRES	89

9.12	ROLE DES TITULAIRES DE POSTE AUTORISE DANS LES CENTRALES NUCLEAIRES.....	89
9.13	EXERCICES.....	92
10	REACTEURS DE PUISSANCE.....	94
10.1	QU'EST-CE QU'UNE CENTRALE NUCLEAIRE?	95
10.2	DANGERS	95
10.3	NOTIONS PRINCIPALES	96
10.4	COMPARAISON DES METHODES DE PRODUCTION D'ELECTRICITE	96
10.4.1	<i>Les différentes options</i>	96
10.4.2	<i>Aspects économiques</i>	97
10.4.3	<i>Effets sur le milieu</i>	99
10.5	NOTIONS PRINCIPALES	101
10.6	LE « FLUX » D'ENERGIE	102
10.7	NOTIONS PRINCIPALES	105
10.8	EXERCICES.....	107
11	STRUCTURE D'UN REACTEUR	109
11.1	INTRODUCTION	110
11.2	COMPOSANTS CLES DU CANDU	110
11.2.1	<i>Combustible</i>	111
11.2.2	<i>Caloporteur</i>	112
11.2.3	<i>Modérateur</i>	112
11.3	STRUCTURE DU CŒUR DU REACTEUR	113
11.4	NOTIONS PRINCIPALES	117
11.5	AVANTAGES ET INCONVENIENTS.....	119
11.5.1	<i>Chargement de combustible en marche</i>	119
11.5.2	<i>Souplesse de la surveillance et de la commande de réacteur</i>	119
	DES CANAUX INDIVIDUELS PEUVENT ETRE SURVEILLES POUR DETERMINER LA TEMPERATURE ET LES NIVEAUX DE RAYONNEMENT.	120
11.6	NOTIONS PRINCIPALES	120
11.7	BLINDAGE.....	121
11.7.1	<i>Boucliers d'extrémité</i>	121
11.7.2	<i>Face du réacteur</i>	122
11.7.3	<i>Blindage radial</i>	122
11.8	NOTIONS PRINCIPALES	126
11.9	EXERCICES.....	127
12	MODERATEUR ET CIRCUIT DU MODERATEUR ...	129
12.1	INTRODUCTION	129
12.2	TENEUR ISOTOPIQUE DU D ₂ O.....	129
12.3	NOTIONS PRINCIPALES	130

12.4	DANGERS D'IRRADIATION	131
12.5	NOTIONS PRINCIPALES	133
12.6	CIRCUIT PRINCIPAL DU MODERATEUR	134
12.6.1	<i>Sources chaudes du modérateur</i>	134
12.7	CIRCUIT DU MODERATEUR	136
12.8	NOTIONS PRINCIPALES	137
12.9	EXERCICES	139
13	CIRCUITS AUXILIAIRES DU MODERATEUR	140
13.1	INTRODUCTION	140
13.2	NOTIONS PRINCIPALES	141
13.3	CIRCUIT DU GAZ DE COUVERTURE DU MODERATEUR	142
13.3.1	<i>Objectifs</i>	142
13.3.2	<i>Description</i>	144
13.3.3	<i>Système de recombinaison</i>	144
13.4	NOTIONS PRINCIPALES	147
13.5	CIRCUIT D'EPURATION DU MODERATEUR	148
13.5.1	<i>Objectif</i>	148
13.5.2	<i>Description</i>	148
13.6	NOTIONS PRINCIPALES	149
13.7	AUTRES AUXILIAIRES DU MODERATEUR	149
13.7.1	<i>Système d'addition de poison liquide au modérateur</i>	149
13.7.2	<i>Circuit de collecte du D₂O (modérateur)</i>	151
13.7.3	<i>Systèmes de refroidissement auxiliaires</i>	151
13.7.4	<i>Refroidissement des barres du mécanisme de contrôle de la réactivité</i>	151
13.7.5	<i>Calandre, orifice de drainage et mécanisme de refroidissement par aspersion du réservoir de drainage (Pickering-A seulement)</i>	152
13.8	NOTIONS PRINCIPALES	152
13.9	EXERCICES	153
14	CIRCUIT CALOPORTEUR (CC)	155
14.1	INTRODUCTION	155
14.2	NOTIONS PRINCIPALES	156
14.3	CIRCUIT CALOPORTEUR PRINCIPAL	156
14.4	NOTIONS PRINCIPALES	160
14.5	AUTRES CARACTERISTIQUES DU CIRCUIT CC	160
14.6	NOTIONS PRINCIPALES	163
14.7	EXERCICES	164
15	SYSTEMES AUXILIAIRES DU CIRCUIT CALOPORTEUR	166
15.1	INTRODUCTION	166
15.2	NOTIONS PRINCIPALES	167

15.3	CONTROLE DE LA PRESSION ET DE L'INVENTAIRE	167
15.3.1	<i>Contrôle de la pression utilisant un pressuriseur</i>	168
15.3.2	<i>Contrôle de l'inventaire à l'aide d'un pressuriseur</i>	169
15.3.3	<i>Exploitation avec un pressuriseur isolé.....</i>	170
15.3.4	<i>Exploitation sans pressuriseur.....</i>	170
15.4	NOTIONS PRINCIPALES	171
15.5	AUTRES PIÈCES D'ÉQUIPEMENT DANS LE SYSTÈME DE CONTROLE DE LA PRESSION ET DE L'INVENTAIRE	172
15.6	SYSTÈME DE PROTECTION CONTRE LA SURPRESSION	173
15.7	NOTIONS PRINCIPALES	173
15.8	AUTRES AUXILIAIRES DU CC	174
15.8.1	<i>Circuit d'épuration</i>	174
15.9	NOTIONS PRINCIPALES	175
15.9.1	<i>Joint d'étanchéité de pompe du CC.....</i>	176
15.10	NOTIONS PRINCIPALES	177
15.10.1	<i>Circuit de collecte du D₂O du circuit caloporteur</i>	177
15.11	NOTIONS PRINCIPALES	179
15.11.1	<i>Système de récupération d'eau lourde du circuit caloporteur.....</i>	180
15.12	NOTIONS PRINCIPALES	181
15.13	APPROVISIONNEMENT EN D ₂ O DE LA MACHINE DE CHARGEMENT DU COMBUSTIBLE	181
15.14	NOTIONS PRINCIPALES	181
15.15	EXERCICES.....	182
16	LE COMBUSTIBLE CANDU.....	183
16.1	INTRODUCTION	183
16.2	NOTIONS PRINCIPALES	185
16.3	MATÉRIAU ET FABRICATION	186
16.3.1	<i>La matière fissile.....</i>	186
16.3.2	<i>Le matériau de la gaine</i>	189
16.4	NOTIONS PRINCIPALES	190
16.5	MANUTENTION DU COMBUSTIBLE.....	191
16.5.1	<i>Manipulation du combustible frais</i>	191
16.5.2	<i>L'alimentation.....</i>	193
16.5.3	<i>Manutention du combustible irradié.....</i>	194
16.6	COMBUSTIBLE APPAUVRI ET APLANISSEMENT DU FLUX NEUTRONIQUE.....	195
16.7	NOTIONS PRINCIPALES	196
16.8	EXERCICES.....	198
17	CYCLE DE VIE DES NEUTRONS.....	199
17.1	ABSORPTION DANS LE COMBUSTIBLE À L'ÉQUILIBRE	199
17.1	FISSION RAPIDE.....	200
17.2	CAPTURE PAR RÉSONANCE	200

17.3	ABSORPTION PARASITE	200
17.4	FUITE	201
17.5	TAILLE ET FORME.....	201
17.6	REFLECTEURS	202
17.7	CYCLE GLOBAL	203
17.8	EXERCICES	203
18	CRITICITE ET MULTIPLICATION DE NEUTRONS	205
18.1	CONTROLE DE LA REACTIVITE.....	207
18.2	AJUSTEMENT DE LA QUANTITE DE MATIERE FISSILE.....	209
18.3	AJUSTEMENT DE LA QUANTITE D'ABSORBEUR	209
18.4	AJUSTEMENT DES FUITES DE NEUTRON	211
18.5	EXERCICES	212
19	CHANGEMENTS DANS LA PUISSANCE DU REACTEUR AU FIL DU TEMPS	213
19.1	EFFET DE LA DUREE DE VIE DES NEUTRONS SUR LES CHANGEMENTS DANS LA PUISSANCE DU REACTEUR	213
19.2	PERIODE DU REACTEUR.....	214
19.3	EFFET DES NEUTRONS RETARDES SUR LE CHANGEMENT DE PUISSANCE	215
19.4	EFFET DES NEUTRONS INSTANTANES CONSIDERES SEULS, ET CRITICITE INSTANTANEE	215
19.5	PUISSANCE DANS LE REACTEUR SOUS-CRITIQUE	218
19.6	EXERCICES	221
20	UN PRODUIT DE FISSION AGISSANT COMME POISON : LE XENON	223
20.1	PRODUCTION DE XENON	223
20.2	PERTE DE XENON	223
20.3	CHARGE DE XENON A L'EQUILIBRE	224
20.4	TRANSITOIRES DU XENON	225
20.5	ÉVITEMENT ET DEPASSEMENT DE L'EMPOISONNEMENT	227
20.6	AUTRES EFFETS.....	229
20.7	EXERCICES	230
21	EFFETS DES CHANGEMENTS DE TEMPERATURE SUR LA REACTIVITE.....	232
21.1	EXPERIENCE DU NRX ET RETROACTION NEGATIVE	232
21.2	COEFFICIENTS DE TEMPERATURE	234
21.2.1	<i>Coefficient de réactivité de la température du combustible</i>	<i>234</i>
21.2.2	<i>Coefficient de puissance</i>	<i>237</i>
21.2.3	<i>Réactivité cavitaire</i>	<i>237</i>
21.3	NOTIONS PRINCIPALES	238

21.4	EXERCICES	239
22	CONTROLE DU FLUX DE NEUTRON	241
22.1	REFLECTEURS	242
22.2	CHARGEMENT DE COMBUSTIBLE BIDIRECTIONNEL	242
22.3	BARRES DE COMPENSATION	243
22.4	CHARGEMENT DE COMBUSTIBLE DIFFERENTIEL	244
22.5	OSCILLATIONS DU FLUX	245
22.6	NOTIONS PRINCIPALES	247
22.7	EXERCICES	248
23	MECANISMES DE CONTROLE DE LA REACTIVITE	
	249	
23.1	NOTIONS PRINCIPALES	251
23.2	MECANISMES DE CONTROLE DE LA REACTIVITE	251
23.2.1	<i>Contrôle fin de la réactivité</i>	<i>251</i>
23.2.2	<i>Contrôle grossier de la réactivité</i>	<i>252</i>
23.2.3	<i>Réglages manuels et automatiques de la réactivité ..</i>	<i>256</i>
23.2.4	<i>Systèmes d'arrêt automatique</i>	<i>256</i>
23.3	PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT DU MECANISME DE CONTROLE DE LA REACTIVITE	260
23.4	NOTIONS PRINCIPALES	261
23.5	SYSTEME D'ARRET DEUX-SUR-TROIS	262
23.6	NOTIONS PRINCIPALES	265
23.7	EXERCICES	267
24	INJECTION D'URGENCE DE CALOPORTEUR ET	
	CONFINEMENT	268
24.1	INTRODUCTION	268
24.2	NOTIONS PRINCIPALES	270
24.3	INJECTION DE CALOPORTEUR D'URGENCE	273
24.3.1	<i>APRP dû à une petite brèche</i>	<i>273</i>
24.3.2	<i>L'APRP grave</i>	<i>274</i>
24.4	NOTIONS PRINCIPALES	275
24.5	CONFINEMENT	278
24.5.1	<i>Confinement à pression négative</i>	<i>280</i>
24.6	CONFINEMENT A SUPPRESSION DE PRESSION	283
24.7	NOTIONS PRINCIPALES	283
24.8	EXERCICES	284
25	LES PARTIES NON NUCLEAIRES DE LA CENTRALE	
	286	
25.1	INTRODUCTION	286
25.2	LE GENERATEUR DE VAPEUR (LA « CHAUDIERE »)	286
25.3	LE CYCLE VAPEUR-EAU D'ALIMENTATION	289

25.3.1	<i>Le circuit de vapeur</i>	289
25.4	LA TURBINE A VAPEUR	291
25.5	LE CONDENSEUR	297
25.6	LE CIRCUIT D'ALIMENTATION DU GENERATEUR DE VAPEUR 298	
25.6.1	<i>Circuit de réchauffement à basse pression</i>	299
25.6.2	<i>Dégazeur et cuve de stockage</i>	300
25.6.3	<i>Circuit de réchauffement à haute pression</i>	301
25.7	SYSTEME DE LUBRIFICATION.....	302
25.8	LE VIREUR.....	302
25.9	REGULATION CHIMIQUE DE LA QUALITE DE L'EAU	302
25.10	RISQUES INDUSTRIELS « CLASSIQUES » ET DUS A LA RADIOACTIVITE	303
25.10.1	<i>Énergie chimique</i>	303
25.10.2	<i>Énergie thermique</i>	304
25.10.3	<i>Énergie électrique</i>	304
25.10.4	<i>Énergie mécanique</i>	304
25.10.5	<i>Énergie sonore</i>	304
25.10.6	<i>Énergie contenue dans les liquides sous pression</i>	304
25.10.7	<i>Énergie du rayonnement</i>	305
26	AUTRES GRANDS SYSTEMES	308
26.1	LE GENERATEUR-ALTERNATEUR.....	308
26.1.1	<i>Conversion d'énergie dans l'alternateur</i>	308
26.1.2	<i>Refroidissement du générateur-alternateur</i>	309
26.2	CIRCUITS ELECTRIQUES	310
26.2.1	<i>Éléments principaux</i>	310
26.2.2	<i>Priorités d'alimentation</i>	311
26.2.3	<i>Alimentation électrique d'urgence</i>	314
26.3	RESEAU D'ALIMENTATION EN EAU ET SYSTEMES D'AIR	315
26.3.1	<i>Circuits d'eau légère</i>	315
26.3.2	<i>Traitement de l'eau</i>	315
26.3.3	<i>L'eau de refroidissement du condenseur</i>	316
26.3.4	<i>Eau de service commune</i>	316
26.3.5	<i>Eau de service à basse pression</i>	316
26.3.6	<i>L'eau de service recirculée à haute pression</i>	316
26.3.7	<i>Circuit fermé de refroidissement par eau de service deminéralisée</i>	317
26.3.8	<i>Réseau d'alimentation d'urgence en eau</i>	317
26.3.9	<i>Autres réseaux d'eau</i>	317
26.4	ALIMENTATION EN AIR.....	318
26.4.1	<i>Air d'instrumentation</i>	318
26.4.2	<i>Air de service</i>	318
26.4.3	<i>Air respirable</i>	318
26.5	SYSTEME D'IDENTIFICATION	318

26.5.1	<i>Identification des appareils.....</i>	318
26.5.2	<i>Identification dans la centrale</i>	320
26.5.3	<i>Tuyauterie</i>	320
26.5.4	<i>Schéma de circulation.....</i>	321
26.6	GESTION DES DECHETS.....	321
26.6.1	<i>Gestion des déchets liquides</i>	321
26.6.2	<i>Drainage des déchets non radioactifs.....</i>	322
26.6.3	<i>Drainage des déchets radioactifs.....</i>	322
26.7	GESTION DES DECHETS RADIOACTIFS	323
26.7.1	<i>Stockage du combustible épuisé.....</i>	323
26.7.2	<i>Réduction du volume des déchets et leur stockage ...</i>	324
26.8	GESTION DE L'EAU LOURDE	324
26.8.1	<i>Récupération des pertes.....</i>	325
26.8.2	<i>Enrichissement.....</i>	326
26.8.3	<i>Extraction du tritium.....</i>	326
26.9	EXERCICES	327