

# TABLE DES MATIERES

NOMENCLATURE .....	1
INTRODUCTION GENERALE .....	5
CHAPITRE 1. EQUATIONS MACROSCOPIQUES DU MILIEU POREUX.. .....	9
1.1 L'accident grave dans un réacteur à eau pressurisée .....	9
1.2 Objectif de la thèse et l'approche milieu poreux.. .....	12
1.3 Techniques d'homogénéisation .....	14
1.3.1 Méthode de moyenne volumique .....	14
1.3.2 Méthode d'homogénéisation par échelles .....	18
1.4 Equations macroscopiques du milieu .....	19
1.4.1 Description du milieu poreux .....	20
1.4.2 Conservation de la masse .....	22
1.4.3 Conservation de la quantité du mouvement .....	22
1.4.4 Conservation de l'énergie .....	24
1.5 Conclusions .....	29
CHAPITRE 2. EVALUATION DES COEFFICIENTS DES EQUATIONS MACROSCOPIQUES .....	33
2.1 Descriptions des mécanismes de transfert d'énergie dans le milieu poreux .....	34
2.2 Détermination du coefficient d'échange entre les phases solide et fluide $h_{sf}$ .....	40
2.2.1 Coefficients d'absorption et d'émission totaux d'une colonne de gaz .....	41
2.2.2 Coefficients d'absorption et d'émission totaux du gaz dans le volume élémentaire .....	45
2.2.3 Détermination des coefficients d'échange radiatif $h_{rad}$ et d'échange total d'énergie $h_{sf}$ .....	47
2.3 Modélisation du transport radiatif dans un milieu poreux.. .....	48
2.3.1 Propriétés optiques du milieu .....	49
2.3.2 Détermination des conductivités radiative et équivalente .....	51
2.4 Tenseur de conductivité équivalente ( <b>Ke</b> ) .....	53
2.4.1 Sélection des axes de référence .....	54
2.4.2 Détermination de la fonction <b>f</b> tel que $\langle \mathbf{Ke} \rangle = f[\langle \mathbf{Kt} \rangle, \langle \mathbf{Kr} \rangle]$ .....	54
2.4.3 Détermination de $\langle \mathbf{Ke} \rangle^s$ et $\langle \mathbf{Ke} \rangle^f$ .....	59
2.5 Tenseur de conductivité radiative ( <b>Kr</b> ) .....	60
2.5.1 Bilan des flux radiatifs d'un volume élémentaire : obtention des équations spectrales .....	64
2.5.2 Intégration des équations spectrales .....	67

2.5.3	Modèle de bandes noires et surfaces grises .....	70
2.5.3.1	Groupes extérieurs aux bandes noires .....	71
2.5.3.2	Groupes appartenant aux bandes noires .....	74
2.5.4	Résolution découplée des équations .....	78
2.5.5	Evaluation du terme d'émission thermique .....	83
2.5.6	Obtention du tenseur de conductivité radiative .....	91
2.5.7	Détermination du saut de température aux frontières du milieu poreux .....	93
2.5.8	Détermination des coefficients optiques des arrangements de cylindres . . . . .	98
2.6	Tenseur de conductivité thermique ( <b>Kt</b> ) .....	105
2.7	Homogénéisation du crayon : prise en compte de la structure interne du crayon et détermination de $k_{crayon}$ .....	109
2.8	Conclusions .....	111
CHAPITRE 3. RESULTATS .....		115
3.1	Crayon effectif.....	115
3.1.1	Crayon effectif à basse température .....	117
3.1.2	Crayon effectif à haute température .....	122
3.2	Milieu poreux saturé par un gaz transparent : comparaison des résultats avec des calculs numériques .....	126
3.2.1	Arrangements de sphères .....	126
3.2.1.1	Effet de la conductivité adimensionnelle du solide sur $K_r$ .....	126
3.2.1.2	Détermination de $K_r$ pour des arrangements à porosité élevée.....	127
3.2.1.3	Comparaison entre les valeurs de $K_r$ pour des arrangements de sphères et de cylindres .....	128
3.2.2	Arrangements de cylindres .....	129
3.2.2.1	Effet de la conductivité adimensionnelle du solide sur $K_{r\perp}$ .....	131
3.2.2.2	Evolution de $K_{e\perp}$ par rapport à la température moyenne du milieu. ....	134
3.2.2.3	Evolution de $K_{e\perp}$ par rapport à la porosité.. .....	135
3.2.2.4	Evolution de $K_{e\perp}$ par rapport à l'émissivité des crayons .....	136
3.2.2.5	Evolution de $K_{e\perp}$ en fonction du rapport $k_s/k_f$ .....	138
3.2.2.6	Evolution de $K_{e\perp}$ par rapport au $k_s^* = k_s / (4 \cdot \sigma \cdot d \cdot T^3)$ .....	139
3.2.2.7	Interaction entre le rayonnement et la conduction dans la phase fluide .....	140
3.2.2.8	Effets de l'émissivité des parois.....	141
3.3	Milieu poreux saturé par un gaz transparent : comparaison des résultats théoriques avec des expériences issues de la littérature .....	144
3.3.1	Conductivité radiative d'un arrangement cubique de sphères.....	144
3.3.2	Conductivité radiative d'un arrangement de tubes électriquement chauffés .....	146
3.3.3	Conductivité équivalente d'un lit de billes .....	150

3.4 Simulations d'un arrangement de crayons combustibles en considérant la vapeur d'eau transparente .....	152
3.4.1 Profile plan de puissance résiduelle .....	153
3.4.2 Profile REP de puissance résiduelle .....	156
3.5 Simulations d'un arrangement de crayons combustibles en considérant la vapeur d'eau comme un milieu semi-transparent.....	158
3.6 Simulations d'un arrangement de crayons combustibles légèrement endommagés avec gonflement des gaines.....	163
3.7 Conclusions .....	167
 CONCLUSIONS .....	 171
 BIBLIOGRAPHIE.....	 175
 ANNEXE A0. TRAITEMENT A DEUX TEMPERATURES .....	 179
 ANNEXE A1. MODELE UNIDIMENSIONNEL ET STATIONNAIRE DU COEUR.....	 181
 ANNEXE A2. PROPRIETES RADIATIVES DES GAZ.....	 187
A2.1 Transitions radiatives.....	187
A2.2 Bandes vibratoires-rotationnelles de la molécule de H <sub>2</sub> O .....	187
A2.3 Quelques définitions .....	189
A2.3.1 Coefficient massique d'absorption de la raie $\eta_i$ .....	189
A2.3.2 Intensité de raie intégrée.....	189
A2.3.3 Emissivité monochromatique.....	189
A2.3.4 Emissivité de raie intégrée et largeur effective de raie .....	190
A2.3.5 Superposition de raies .....	190
A2.3.6 Coefficient massique d'absorption spectral .....	191
A2.3.7 Coefficient d'émissivité spectral lissé et profondeur optique spectrale lissée d'une bande .....	191
A2.4 Approches utilisées pour résoudre le transfert radiatif dans les gaz.....	192
A2.5 Modèles de bande épaisse .....	192
A2.6 Modèle exponentiel d'Edwards .....	193
A2.7 Représentation de l'émissivité du gaz .....	196
A2.8 Approximation par bandes et approximation par blocs .....	197
A2.9 Largeur effective « moyenne » et adimensionnelle de bande $\bar{A}^*$ .....	198
A2.10 Longueur moyenne de faisceau .....	199

ANNEXE A3. CORRELATION DE BALAKRISHNAN ET EDWARDS POUR CALCULER LE COEFFICIENT D'ÉCHANGE ENTRE UNE PAROIS ET UN GAZ SEMI-TRANSPARENT .....	201
ANNEXE A4. METHODES DE RESOLUTION DU TRANSPORT RADIATIF DANS UN MILIEU POREUX .....	203
A4.1 Modèles de cellules .....	203
A4.2 Traitements continus: modèles pseudo-homogènes .....	203
A4.2.1 Approximation de Rosseland .....	206
A4.2.2 Méthodes multiflux: méthode à deux flux .....	206
A4.2.3 Méthode des Ordonnées Discrètes .....	207
A4.2.4 Méthode des Harmoniques sphériques.. .....	208
A4.3 Traitements non-continus .....	208
A4.3.1 Modèle multicouche .....	209
A4.3.2 Formulation généralisée pour des surfaces opaques, grises et diffuses : analogie électrique.....	210
A4.3.3 Monte Carlo.....	211
ANNEXE A5. APPROXIMATION DE DIFFUSION DE ROSSELAND .....	213
ANNEXE A6. COEFFICIENTS OPTIQUES D'ARRANGEMENTS DE SPHERES .....	215
ANNEXE A7. CONDUCTIVITE THERMIQUE D'UN ARRANGEMENT DES ORDONNES DE SPHERES .....	217
ANNEXE A8. APPROXIMATION POUR LE CONDUCTIVITE RADIATIVE DANS DES CONDUITES .....	219
A8.1 Jeu entre la gaine et la pastille .....	219
A8.2 Conductivité radiative dans un conduit .....	221