

## Table des matières

<b>Avant-propos</b> . . . . .	9
<b>Chapitre 1. Construire un modèle pour un problème couplé</b> .	13
1.1. Les équations d'origine des modèles (annexe 1) . . . . .	14
1.2. Les couches limites . . . . .	16
1.2.1. Convection forcée . . . . .	16
1.2.2. Convection naturelle . . . . .	18
1.3. Bilan thermique d'un « système » et conditions aux limites . .	21
1.4. Sur le problème du refroidissement d'une tasse de thé . . . . .	23
1.4.1. Equations de bilan . . . . .	24
1.4.2. Recherche de corrélations des transferts . . . . .	26
1.4.3. Température de surface fonction de la température moyenne du liquide . . . . .	27
1.4.4. Température du liquide en fonction du temps . . . . .	29
1.5. Le baigneur sur la plage . . . . .	31
<b>Chapitre 2. Détermination approchée de coefficients d'échange</b> . . . . .	37
2.1. Convection naturelle autour d'une sphère isolée . . . . .	37
2.1.1. Equations des couches limites en vitesse et température . .	38
2.1.2. Intégration dans l'épaisseur des couches limites . . . . .	40
2.1.3. Formulation adimensionnelle . . . . .	44
2.1.4. Résolution numérique . . . . .	45
2.2. Echanges couplés autour d'une tête de nourrisson couché. . . .	49
2.2.1. Système d'équations . . . . .	51

2.2.2. Couches limites sur le disque horizontal . . . . .	52
2.2.3. Couches limites sur les surfaces courbes . . . . .	53
2.3. Convection forcée autour d'un cylindre . . . . .	55
2.3.1. Système d'équations . . . . .	57
2.3.2. Intégration des équations de la couche limite dynamique . .	58
2.3.3. Equation intégrale sans dimension . . . . .	60
2.3.4. Résolution de la couche limite dynamique au vent . . . . .	62
2.3.5. Résolution de la couche limite dynamique sous le vent . . .	67
2.3.6. Résolution de la couche limite thermique . . . . .	69

### **Chapitre 3. Modèles thermiques humains . . . . . 73**

3.1. Le modèle de Fanger : de la chambre climatique à la norme . .	73
3.1.1. Les paramètres physiques de l'ambiance et de l'homme . .	74
3.1.1.1. La production de chaleur interne ou métabolisme, notée « Met » . . . . .	75
3.1.1.2. Les pertes convectives . . . . .	76
3.1.1.3. Les pertes radiatives. . . . .	76
3.1.1.4. Le flux de chaleur conduit dans le vêtement . . . . .	77
3.1.1.5. Le flux évaporatoire. . . . .	79
3.1.1.6. Le flux perdu par la respiration. . . . .	81
3.1.2. Equation de bilan d'équilibre du modèle Fanger . . . . .	81
3.1.3. Exemples de qualifications d'ambiance. . . . .	84
3.1.3.1. Travail dans un bureau . . . . .	84
3.1.3.2. Confort dans l'habitat pour une personne au repos . . .	85
3.1.3.3. Salle de spectacle . . . . .	85
3.1.3.4. Piscine . . . . .	85
3.1.3.5. Quelques situations particulières en extérieur. . . . .	86
3.1.3.6. Le coureur de Marathon . . . . .	86
3.1.3.7. Température équivalente sans vent . . . . .	87
3.2. Le modèle de Gagge . . . . .	88
3.2.1. Un modèle géométrique simple, instationnaire et régulé . .	88
3.2.2. Exemple de réponse du « système-homme » à une variation brusque du métabolisme . . . . .	90
3.3. Modèle de Stolwijk à 25 nœuds . . . . .	92
3.4. Modèle thermique d'un nourrisson couché . . . . .	93
3.4.1. Découpage géométrique . . . . .	94
3.4.2. Métabolisme et respiration . . . . .	95
3.4.3. Echanges de la partie dégagée de la tête . . . . .	96

---

3.4.4. Conduction entre couches du corps . . . . .	97
3.4.5. Echanges de chaleur sensible du tronc. . . . .	99
3.4.6. Evaporation du tronc. . . . .	100
3.4.7. Convection sanguine. . . . .	101
3.4.8. Système d'équations . . . . .	102
3.4.9. Résultats de simulation . . . . .	103
3.4.9.1. Paramètres. . . . .	103
<b>Chapitre 4. Transferts de chaleur et d'humidité dans le vêtement . . . . .</b>	<b>109</b>
4.1. Du milieu poreux hétérogène au milieu continu du modèle . . .	110
4.2. Diffusion et convection de la chaleur . . . . .	112
4.3. Diffusion de la vapeur . . . . .	114
4.4. Prise en compte de l'eau liée . . . . .	118
4.5. Diffusion de l'eau liquide . . . . .	124
4.6. Bilans de masse et d'énergie . . . . .	132
4.7. Conditions aux limites . . . . .	134
4.8. Mise en forme pour une résolution numérique . . . . .	136
4.9. Premier exemple : condensation dans un multicouches . . . . .	137
4.10. Convection et diffusion. . . . .	141
4.11. Prise en compte du rayonnement. . . . .	143
4.12. Deuxième exemple : vêtement de pompier . . . . .	148
4.13. Vêtement traditionnel en climat chaud et sec . . . . .	151
<b>Annexe 1. Boîte à outils transferts de chaleur et de masse . . .</b>	<b>157</b>
<b>Annexe 2. Air humide. . . . .</b>	<b>163</b>
<b>Annexe 3. Flux solaire . . . . .</b>	<b>167</b>
<b>Bibliographie. . . . .</b>	<b>169</b>
<b>Index . . . . .</b>	<b>173</b>