

# SOMMAIRE

<b>NOMENCLATURE</b> .....	<b>VIII</b>
<b>Chapitre I - ANALYSE MACROSCOPIQUE DES TRANSFERTS</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Présentation générale des phénomènes de transferts</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Transferts par gradients ou diffusion</b> .....	<b>2</b>
2.1. Transfert de masse ou d'espèces – Diffusion – Loi de Fick.....	2
2.2. Transferts thermiques – Conduction – Loi de Fourier .....	5
2.3. Transfert de quantité de mouvement – Viscosité – Loi de Newton.....	7
2.4. Équation générale des transferts diffusifs.....	11
<b>3. Transferts par transport ou convection ou advection</b> .....	<b>11</b>
3.1. Transport de masse ou d'espèces .....	12
3.2. Transport d'énergie thermique (ou de chaleur par capacité thermique) .....	13
3.3. Transport de quantité de mouvement .....	13
3.4. Équation générale des transferts convectifs.....	13
<b>4. Transferts par rayonnement</b> .....	<b>13</b>
<b>5. Couplage des transferts – Bilans – Équations de transport</b> .....	<b>15</b>
5.1. Couplage des transferts diffusifs et convectifs .....	15
5.2. Bilans .....	16
5.3. Équations de transport .....	20
5.4. Cas particulier des couches limites .....	21
5.5. Écoulements turbulents .....	23
5.6. Généralisation de l'équation de transport .....	31
<b>6. Comparaison des transferts – Nombres sans dimension</b> .....	<b>31</b>
6.1. Modes de transferts analogues .....	32
6.2. Transferts d'une même grandeur .....	33
6.3. Nombres sans dimension dérivés .....	33
<b>Chapitre II - ANALYSE STATISTIQUE DE CERTAINS TRANSFERTS</b> .....	<b>35</b>
<b>1. Thermodynamique statistique</b> .....	<b>35</b>
1.1. Mécanique statistique de Maxwell-Boltzmann.....	35
1.2. Statistiques quantiques .....	42
<b>2. Théorie cinétique des gaz - Transferts diffusifs</b> .....	<b>53</b>
2.1. Vitesse des molécules – Pression - Équation d'état.....	54
2.2. Phénomènes de transferts dans les gaz parfaits .....	59
2.3. Écoulements des gaz très raréfiés – Écoulements moléculaires .....	65
<b>3. Théorie statistique du rayonnement thermique d'un corps noir</b> .....	<b>68</b>
3.1. Ondes stationnaires dans une enceinte fermée.....	68

3.2. Théorie classique du rayonnement d'un corps noir .....	70
3.3. Théorie quantique de Planck – Équation de Stefan-Boltzmann .....	71
<b>Chapitre III - COUPLAGE DES PHENOMENES .....</b>	<b>77</b>
<b>1. Thermodynamique des phénomènes irréversibles .....</b>	<b>77</b>
1.1. Production et flux d'entropie - Bilan entropique .....	77
1.2. Flux et forces - Relations phénoménologiques .....	88
1.3. État stationnaire de non équilibre (ESNE) .....	92
<b>2. Exemple d'un phénomène simple de production d'entropie – La conduction thermique .....</b>	<b>94</b>
2.1. Expression générale du bilan entropique en conduction – Flux et force.....	94
2.2. Bilan entropique dans le cas d'une barre isolée latéralement - ESNE.....	95
<b>3. Phénomènes couplés.....</b>	<b>95</b>
3.1. Thermodiffusion - Effets Dufour et Soret .....	95
3.2. Thermoélectricité - Effets Peltier, Seebeck, Thomson.....	98
3.3. Effets électrocinétiques .....	103
<b>Chapitre IV- PROPAGATION DES ONDES .....</b>	<b>106</b>
<b>1. Ondes sonores.....</b>	<b>106</b>
1.1. Vitesse du son .....	106
1.2. État générateur - Vitesse critique du son .....	108
1.3. Ondes sonores sinusoïdales planes.....	110
<b>2. Ondes de choc.....</b>	<b>115</b>
2.1. Ondes de choc droites.....	115
2.2. Ondes de choc obliques .....	121
<b>3. Ondes de gravité.....</b>	<b>126</b>
3.1. Vitesse d'une onde de gravité solitaire .....	126
3.2. Écoulement fluvial et écoulement torrentiel.....	127
3.3. Vitesse des ondes de gravité harmoniques - Vagues.....	129
<b>4. Ondes de combustion .....</b>	<b>132</b>
4.1. Vitesse de propagation d'un front de flamme de détonation ou déflagration ...	132
4.2. Analyse thermique et cinétique de la vitesse de déflagration .....	140
4.3. Détermination de la propagation d'un FF par des corrélations empiriques .....	146
4.4. Représentation simplifiée de l'onde de déflagration.....	147
4.5. Retour sur la formulation de $v_n$ .....	148
<b>Chapitre V - EXERCICES D'APPLICATION .....</b>	<b>149</b>
<b>1. Analyse macroscopique des transferts .....</b>	<b>149</b>
1.1. Diffusion d'air dans un mélange de gaz parfaits .....	149
1.2. Évaporation au dessus d'un plan d'eau .....	150
1.3 Comparaison des transferts thermiques par transport et par diffusion.....	151
1.4. Couplage entre les bilans de masse et de quantité de mouvement.....	151
1.5. Transfert thermique en écoulement de Poiseuille .....	152
1.6. Contrainte à la paroi d'un écoulement laminaire.....	153
1.7. Écoulement en couche limite sur une paroi plane.....	154
1.8. Écoulement turbulent – Modèle de Boussinesq.....	156
1.9. Application des nombres sans dimensions .....	157

---

<b>2. Analyse statistique de certains transferts</b> .....	<b>158</b>
2.1. Dimension de l'espace des phases d'un gaz diatomique .....	158
2.2. Statistique classique et statistique quantique .....	158
2.3. Équipartition de l'énergie – Extension de l'espace de phases .....	159
2.4. Espace des phases et capacité thermique de l'eau .....	160
2.5. Fonction de partition d'un gaz monoatomique - Énergie interne et entropie.....	161
2.6. Trajectoire d'une particule dans l'espace des phases - Volume .....	162
2.7. Vitesse des molécules dans un gaz.....	163
2.8. Coefficient de diffusion .....	164
2.9. Écoulement de Knudsen - Séparation isotopique par diffusion gazeuse.....	164
2.10. Loi de distribution des vitesses – Effusion à travers un orifice .....	165
2.11. Séparation isotopique de l'uranium .....	167
2.12. Rayonnement global d'un corps noir .....	168
2.13. Émission filtrée d'un corps noir .....	170
<b>3. Couplage des phénomènes</b> .....	<b>172</b>
3.1. Affinité d'un système et production d'entropie lors d'une évaporation .....	172
3.2. Évolution du potentiel chimique d'un gaz parfait avec la température .....	173
3.3. Diagramme d'équilibre d'un mélange liquide à deux constituants .....	174
3.4. Relations phénoménologiques .....	176
3.5. Transfert thermique dans un câble – Production entropique .....	177
3.6. Thermodiffusion – Effet Dufour-Soret.....	178
3.7. Thermoélectricité - Effet Seebeck - Thermocouple .....	180
3.8. Thermoélectricité – Effet Thomson – Production entropique .....	181
3.9. Thermocouple cuivre-constantan .....	182
<b>4. Propagation des ondes</b> .....	<b>183</b>
4.1. Mesure de la température en écoulement supersonique .....	183
4.2. Mesure de la vitesse d'un écoulement supersonique .....	184
4.3. Position d'une onde de choc droite dans une tuyère de Laval .....	185
4.4. Onde de choc oblique à l'entrée d'une nacelle de turboréacteur .....	189
4.5. Écoulement entre des piles de pont – Écoulement torrentiels ou fluviaux.....	190
4.6. Combustion détonante .....	192
4.7. Puissance spécifique d'une flamme de déflagration .....	195
<b>Chapitre VI - ANNEXES</b> .....	<b>196</b>
<b>1. Tableaux</b> .....	<b>196</b>
<b>2. Figures</b> .....	<b>207</b>
<b>3. Références</b> .....	<b>216</b>
<b>INDEX</b> .....	<b>218</b>