

TECHNOSUP

Les FILIÈRES TECHNOLOGIQUES des ENSEIGNEMENTS SUPÉRIEURS

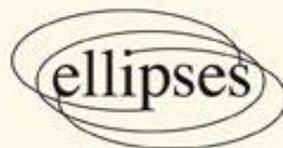
GÉNIE DES PROCÉDÉS

Processus de transfert

Transferts massiques, dynamiques et énergétiques
Cours et exercices corrigés

Daniel MORVAN

Frédéric ROUSSEAU



La côte de l'ouvrage : 2-530-271

TABLE DES MATIERES

Nomenclature

VIII

CHAPITRE I :

LES TRANSFERTS EN GENIE DES PROCEDES

1 – Transferts unidirectionnels	2
1.1. Cas d'une phase non homogène	2
1.2. Transfert électrique	2
1.3. Transfert thermique	3
1.4. Transfert de matière	4
1.5. Transfert de quantité de mouvement	4
1.6. Conclusion sur les transferts	5
2 – Introduction aux bilans	6
2.1. Les variables	7
2.2. Les équations de bilans : équations fondamentales	7
2.3. Définitions et relations entre les grandeurs physiques	8

CHAPITRE II :

TRANSFERT DE MATIERE – EQUATION DE CONTINUITÉ

1 – Bilan matière macroscopique (global)	11
2 – Introduction au bilan matière microscopique (local)	12
3 – Cas du milieu monophasique et multicomposant	12
3.1. Transfert diffusif (conductif) – Equation de Fick	12
3.2. Transfert convectif – Hydrodynamique du fluide	14
3.3. Cas du régime transitoire : équation de continuité	15
3.4. Cas du régime couplé : diffusion + convection	16
3.5. Equation de continuité avec réaction chimique	18
3.6. Expressions simplifiées de l'équation de continuité	18
4 – Cas particulier d'un mélange binaire	19
5 – Bilan massique local : équation de continuité	20

IV

5.1. Mélange multicomposant	20
5.2. Cas du corps pur et du mélange homogène	22
6 – Les transferts de matière à l’interface d’un milieu biphasique	23
6.1. Introduction	23
6.2. Densité de flux à l’interface dans le cas d’un binaire	24

CHAPITRE III :

TRANSFERT DE QUANTITE DE MOUVEMENT – MECANIQUE DES FLUIDES

1 – Notions de mécanique des fluides	26
1.1. Introduction à la mécanique des fluides	26
1.2. Ecoulement spatial et temporel	27
1.3. Les régimes d’écoulement – Nombre de Reynolds	28
1.4. Notions de Rhéologie – Contrainte visqueuse	30
1.5. Introduction au bilan de quantité de mouvement	31
2 – La perte d’énergie d’un fluide par frottement	32
2.1. Notion de gradient hydraulique	32
2.2. Loi de Hagen-Poiseuille : cas d’un régime laminaire	33
2.3. Relation entre l’énergie dissipée par frottement et le nombre de Reynolds Re	36
3 – La perte d’énergie d’un fluide par accident	40
3.1. Introduction	40
3.2. Coefficients des pertes de charge singulière K	41
4 – Bilan des forces agissantes sur le volume du fluide	43
5 – Bilan microscopique (global) de la quantité de mouvement	44

CHAPITRE IV :

TANSFERT D’ENERGIE

1 – Introduction au bilan d’énergie	48
2 – Bilan d’énergie macroscopique (global)	49

2.1. Ecriture du bilan	49
2.2. Equation de Bernoulli	50
2.3. Mesure de la pression dans un fluide en écoulement	52
3 – Bilan d'énergie microscopique (local)	61
4 – Equation de l'énergie en l'absence de réaction chimique	64
5 – Equation de l'énergie en l'absence de réaction chimique pour un fluide Newtonien	65

CHAPITRE V : TRANSFERT THERMIQUE

1 – Introduction	67
2 – Définitions	68
2.1. La température	68
2.2. Champ de température	68
2.3. Gradient de température – isotherme	69
2.4. Flux de chaleur	69
2.5. Formulation d'un problème de transfert de chaleur	70
2.6. Les modes de transmission de la chaleur	72
3 – La conduction thermique	73
3.1. Introduction – loi de FOURIER 1882	73
3.2. Equation de la chaleur	75
3.3. Conduction unidirectionnelle dans un plan en régime permanent	78
3.4. Corrélation entre l'état physique de la matière (S, L, G) et la conductivité thermique du milieu	80
4 – La convection thermique	84
4.1. Introduction	84
4.2. Définitions	84
4.3. Notion de couche limite	85
4.4. Expression du flux de chaleur par convection	87
5 – Transferts parois-fluides dans des géométries planes cylindriques	89
5.1. Mur multicouches	89
5.2. Mur composite	91
5.3. Cylindre creux à faces isothermes	92
6 – Application au cas des échangeurs de chaleur	97

VI

6.1. Introduction au dimensionnement des échangeurs	97
6.2. Echangeur de chaleur de type tubes concentriques	98
7 – Evaluation du coefficient d'échange par convection	102
7.1. Introduction à l'analyse dimensionnelle	102
7.2. Principe de l'analyse dimensionnelle	103
7.3. Avantages et inconvénients de l'utilisation des nombres adimensionnels	111
7.4. Calcul du coefficient d'échange en convection forcée	112
8 – Transfert de chaleur par rayonnement	119
8.1. Introduction	119
8.2. Définitions des grandeurs utilisées pour les rayonnements	124
8.3. Relation entre les propriétés émettrices et réceptrices des corps	132
8.4. Calcul des échanges de chaleur par rayonnement	141

CHAPITRE VI :

ETUDES DE CAS AVEC SOLUTIONS DETAILLEES

Evaporation de l'eau (A) dans l'air (B)	150
Fonctionnement d'un siphon	153
Mesure d'une vitesse avec une sonde de Pitot	157
Calcul de la puissance d'une pompe pour transporter un fluide	159
Détermination du régime d'écoulement d'un fluide transporté dans une canalisation	162
Écoulement d'un fluide sur un plan incliné	166
Écoulement horizontal de deux fluides immiscibles	173
Mesure de la viscosité d'un liquide avec le viscosimètre de Couette-Hatschek	179
Vérification de l'hypothèse d'isothermicité du viscosimètre de Couette-Hatschek	187
Isolation thermique par simple et double vitrage	190
Calcul de l'énergie utile dans un four en fonte	197
Calorifugeage d'un tube cylindrique. Calcul du rayon critique	200
Étude du fonctionnement d'un panneau solaire	205
Mesure de la température d'une surface avec un thermocouple immergé dans un milieu rayonnant	209

Mesure de la vitesse de l'air avec un anémomètre à fil chaud	215
Contrôle du refroidissement des gaz de combustion par un écran thermique	222
Transport d'un fluide chaud dans une canalisation	228
Etude du refroidissement d'une barre métallique	234
Isolation thermique entre une zone réfrigérée et l'air ambiant	242
Trempe d'une plaque métallique	248
Calcul de la hauteur d'une tour de granulation	254
Comparaison des échangeurs à co et contre-courant	261
Echangeur avec condensation	264
Calcul des flux échangés entre un plan et l'air en écoulement.	
Analogies sur les transferts	269
Mesure du taux d'humidité de l'air avec un psychromètre	277
ANNEXE	284
INDEX	291
LISTE DES OUVRAGES RECOMMANDES	293