

## Table des matières

Préface de la collection . . . . .	v
Préface . . . . .	vii
Introduction . . . . .	xvii
CHAPITRE I THEORIE DES CHOCS PARTICULAIRES . . . . .	1
<b>1 Interactions binaires</b> 1	
1-1 Généralités 1	
1-2 Principaux types de potentiel 2	
1-3 Relations de conservation 6	
1-4 Description des trajectoires. Exemple du potentiel répulsif Coulombien 7	
1-5 Jacobien de collision élastique 14	
<b>2 Sections efficaces</b> 15	
2-1 Définition de la section efficace binaire 15	
2-2 Cas général des collisions binaires (réactions ou diffusions) 16	
2-3 Calcul théorique de la section efficace de diffusion. Exemples 20	
2-4 Application au libre parcours et à la durée de vie 22	
2-5 Utilisation de la section efficace 23	
2-6 Relations de réversibilité dans les réactions 24	
CHAPITRE II ETUDE DE L'ETAT D'UN SYSTEME ET DE SES GRAN- DEURS . . . . .	27
<b>3 Fonctions de distribution spécifiques et génériques</b> 27	
3-1 Définition de la fonction de distribution spécifique $P^{(N)}$ 27	
3-2 Autres normalisations de la fonction de distribution 28	
3-3 Evolution de la fonction spécifique $P^{(N)}$ 31	
Equation de Liouville 31	
3-4 Réduction de l'équation de Liouville ou méthode BBGKY 33	
<b>4 Fonction de distribution fine</b> 38	
4-1 Définition pour des particules de même nature 38	
4-2 Valeurs moyennes 38	
4-3 Equation d'évolution 39	

<b>5 Fonctions de Green ou propagateurs</b>	41
5-1 Définition	41
5-2 Fonctions de Green de l'opérateur de Liouville et fonction de distribution à plusieurs temps	42
5-3 Application à un système contenant des sources extérieures	43
<b>6 Grandeurs mécaniques</b>	44
6-1 Définition	44
6-2 Calcul	45
6-3 Grandeurs mécaniques fines	46
6-4 Evolution	47
<b>7 Fluctuations</b>	48
7-1 Définition de la fluctuation de deux grandeurs $X$ et $Y$ . Exemple de la fluctuation du nombre de particules	48
7-2 Fluctuation du nombre de particules injectées dans un système	49
<b>8 Irréversibilité</b>	50
8-1 Irréversibilité	50
8-2 Fonction de distribution grossière	51
8-3 Théorème $H$	52
8-4 Master équation	53
<b>CHAPITRE III ETUDE DE L'EQUILIBRE THERMODYNAMIQUE</b>	55
<b>9 Ensembles stationnaires de systèmes fermés</b>	55
9-1 Solution générale de l'équation de Liouville	55
9-2 Ensemble stationnaire	56
<b>10 Ensemble microcanonique</b>	56
10-1 Définition	56
10-2 Théorème ergodique	57
10-3 Ensemble microcanonique formé de systèmes d'objets faiblement couplés	57
<b>11 Ensemble canonique de Gibbs</b>	59
11-1 Définition	59
11-2 Thermodynamique de l'ensemble canonique	62
11-3 Principe de partition et méthode des cumulants. Application au calcul de $Z_N$	66
11-4 Calcul des fonctions de distributions réduites	69
11-5 Equation d'état par la méthode du viriel	73
<b>12 Systèmes ouverts. Ensemble grand-canonique</b>	78
12-1 Moyenne locale d'une grandeur	78
12-2 Définition de l'ensemble grand-canonique	80
12-3 Thermodynamique associée	82

<b>CHAPITRE IV EQUATION DE BOLTZMANN ET APPLICATIONS</b>	85
<b>13 Hypothèses à la base de l'équation de Boltzmann</b>	85
13-1 Généralités	85
13-2 Exemple de deux distributions de Dirac isotropes	87
13-3 Exemple de deux distributions de Maxwell	88
<b>14 Forme générale de l'équation de Boltzmann</b>	89
14-1 Expression du transfert sans collisions	89
14-2 Opérateur de collisions élastiques	90
14-3 Opérateur de réaction en équilibre	94
<b>15 Solution d'équilibre de l'équation de Boltzmann dans le cas des diffusions élastiques (Théorème <math>H</math>)</b>	95
<b>16 Equation linéaire du gaz de Lorentz</b>	98
16-1 Position du problème	98
16-2 Solution générale pour un système limité dans l'espace	98
16-3 Application à la neutronique	101
<b>17 Forme limite aux faibles angles. Equation de Landau</b>	104
<b>18 Formes limites lorsque l'échange d'énergie par choc est faible</b>	106
18-1 Condition de réalisation	106
18-2 Evolution de la distribution en énergie	107
18-3 Cas particulier des déviations angulaires faibles. Longueur de diffusion	110
<b>19 Résolution de l'équation de Boltzmann</b>	113
19-1 $\lambda \simeq L$ -Cas général	113
19-2 $\lambda \gg L$ -Pas de chocs	115
19-3 $\lambda < L, \tau < T$ -Régime de diffusion	115
19-4 $\lambda \ll L$ et $\tau \ll T$ -Régime de l'approximation hydrodynamique	115
19-5 Approximation BGK	116
<b>CHAPITRE V EQUATIONS CINETIQUES</b>	119
<b>20 Evolution d'un système</b>	119
20-1 Phénomènes physiques intervenant	119
20-2 Calcul des fonctions de distributions au cours du temps	120
20-3 Principaux régimes cinétiques	123
<b>21 Phase précinétique des fluides non denses</b>	125
21-1 Définition et échelle de temps	125
21-2 Formes et propriétés de l'équation de Vlasov	126
21-3 Utilisation	129
<b>22 Régime de Boltzmann ou régime à courte portée</b>	130
22-1 Définition	130
22-2 Equation d'évolution: Synchronisation	131
22-3 Cas d'un fluide homogène	132
22-4 Cas d'un fluide hétérogène	134

<b>23 Régime de Landau ou régime faiblement couplé</b>	136
23-1 Définition	136
23-2 Equation d'évolution de Landau	136
23-3 Forme de Fokker-Planck	141
<b>24 Régime DBLGB</b>	141
24-1 Définition	141
24-2 Equation d'évolution DBLGB	142
24-3 Caractère irréversible de l'opérateur DBLGB. Théorème <i>H</i>	147
<b>25 Méthode d'extension de Sandri</b>	148
25-1 Principe de la méthode de Sandri	148
25-2 Exemple de régime de Boltzmann en milieu homogène	149
25-3 Régime cinétique généralisé des fluides non denses en milieu homogène	154
25-4 Master équation	157
 CHAPITRE VI ETUDE DE L'HYDRODYNAMIQUE	163
<b>26 Régime hydrodynamique</b>	163
26-1 Définition	163
26-2 Résolution	164
<b>27 Equations générales de l'hydrodynamique</b>	165
27-1 Définition	165
27-2 Equation de continuité	166
27-3 Equation des forces	167
27-4 Equation de l'énergie	171
27-5 Utilisation	173
<b>28 Régime hydrodynamique associé à une équation cinétique</b>	174
28-1 Définitions	174
28-2 Transport des moments	176
28-3 Equation de continuité	177
28-4 Equation des forces	177
28-5 Equation de l'énergie	178
28-6 Cas d'une réaction en équilibre	179
<b>29 Méthode de Chapman — Enskog</b>	181
29-1 Généralités. Divers ordres du développement Equations d'Euler, de Navier-Stokes et de Burnett	181
29-2 Coefficients de transport d'un fluide pur	183
29-3 Coefficients de transport d'un mélange avec degrés internes de liberté	186
<b>30 Méthode de Grad</b>	191
 CHAPITRE VII THEORIE DES PLASMAS CLASSIQUES	195
<b>31 Equilibre d'un plasma</b>	195
31-1 Définition et existence du plasma	195
31-2 Equilibre d'un plasma complètement ionisé en milieu homogène. Equation d'état	196
31-3 Diagramme $(T, N)$ et principaux domaines	201

<b>32 Régime précinétique des plasmas</b>	202
32-1 Position du problème	202
32-2 Etude de l'évolution rapide d'un plasma d'électrons	203
32-3 Comportement individuel et collectif	206
32-4 Ondes de plasma	209
<b>33 Régime cinétique des plasmas</b>	211
33-1 Existence du régime cinétique	211
33-2 Opérateur DBLGB. Collisions lointaines avec effets collectifs	212
33-3 Opérateur de Boltzmann. Collisions proches	214
33-4 Opérateur de Landau. Zone intermédiaire	215
33-5 Théorie unifiée	216
33-6 Ordres de grandeur caractéristiques du régime cinétique	219
Coefficient de friction dynamique, temps de self-relaxation, longueur de diffusion, temps de relaxation électron-ion	220
<b>34 Régime hydrodynamique</b>	223
34-1 Conditions du régime hydrodynamique	223
34-2 Méthode de Chapman-Enskog	223
Utilisation des opérateurs de Landau, DBLGB, unifiés. Gaz partiellement ionisé	224
34-3 Méthode de Grad	229
 ANNEXE I RAPPELS	231
1°) Rappel des notations vectorielles et tensorielles	231
2°) Rappel de statistique	232
3°) Transformée de Laplace	233
4°) Transformée de Fourier	235
5°) Fonctions delta	235
6°) Intégrales usuelles	236
7°) Fonction erreur	237
8°) Propriétés de la fonction de Green	237
9°) Rappels de thermodynamique	239
 ANNEXE II EQUATION DE LANDAU	241
1°) Equation de Landau comme forme limite de l'équation de Boltzmann	241
2°) Forme de Bogoliubov de l'équation de Landau	247
3°) Equivalence entre les formes de Landau et Bogoliubov dans le cas des collisions binaires	249
4°) Longueur de diffusion	251
 ANNEXE III EQUIVALENCE DES DIVERSES FORMES DE L'EQUATION DE BOLTZMANN	255
1°) Opérateur <i>S</i> de Bogoliubov	255
2°) Forme de Bogoliubov de l'opérateur de Boltzmann	256
3°) Forme de Sandri de l'opérateur de Boltzmann	256

ANNEXE IV DIVERSES FORMES DE L'EQUATION DBLGB . . . . .	259
1°) Résolution de l'équation en $\Psi$ 259	
Forme habituelle de l'équation DBLGB	
2°) Expression du tenseur $\bar{Q}$ dans le cas coulombien 262	
ANNEXE V. EQUATIONS DE L'HYDRODYNAMIQUE . . . . .	267
1°) Equation de l'énergie à partir de la fonction de distribution fine 267	
2°) Problème de Chapman Enskog pour une seule espèce 272	
ANNEXE VI. CONSTANTE DIELECTRIQUE DU PLASMA MAXWELLIEN	279
ANNEXE VII. VALEUR DES PRINCIPALES CONSTANTES . . . . .	281
BIBLIOGRAPHIE . . . . .	283
INDEX . . . . .	289
ERRATA . . . . .	295