

# TABLE DES MATIÈRES DÉTAILLÉE

## NOTIONS MATHÉMATIQUES.....10

1. Éléments d'analyse vectorielle .....	10
1.1. Coordonnées cartésiennes .....	10
1.2. Expression des opérateurs différentiels en coordonnées cartésiennes .....	10
1.3. Coordonnées cylindriques.....	11
1.4. Expression des opérateurs différentiels en coordonnées cylindriques.....	12
1.5. Coordonnées sphériques.....	12
1.6. Expression des opérateurs différentiels en coordonnées sphériques.....	13
2. Relations impliquant les opérateurs différentiels .....	13
3. Relations intégrales.....	13
3.1. Définitions.....	13
3.2. Relations entre formulations intégrales.....	13
4. Notions d'analyse de Fourier.....	13
4.1. Généralités.....	13
4.2. Décompositions en série de Fourier de fonctions usuelles .....	15
5. Formules trigonométriques et hyperboliques .....	15
5.1. Définitions.....	15
5.2. Propriétés.....	16
6. Développements limités usuels au voisinage de 0.....	16
7. Primitives usuelles.....	17

## DESCRIPTION DU MOUVEMENT ET PARAMÉTRAGE D'UN POINT .....19

1. Espace et temps d'un observateur .....	19
2. Vecteurs vitesse et accélération. Les différents systèmes de coordonnées .....	19

## DYNAMIQUE DU POINT EN RÉFÉRENTIEL GALILÉEN.....20

1. Définitions et lois de Newton .....	20
1.1. Masse inerte et masse grave. Quantité de mouvement .....	20
1.2. Première loi de Newton ou principe de l'inertie .....	21
1.3. Deuxième loi de Newton ou principe fondamental de la dynamique .....	21
1.4. Troisième loi de Newton ou principe des actions mutuelles.....	21
2. Lois de force .....	21
3. Puissance et travail d'une force. Théorème de l'énergie cinétique .....	22
3.1. Puissance d'une force.....	22
3.2. Travail d'une force .....	23
3.3. Théorème de la puissance et de l'énergie cinétique.....	23
3.3.1. Énergie cinétique.....	23
3.3.2. Théorème de la puissance cinétique.....	23
3.3.3. Théorème de l'énergie cinétique.....	23

## PROBLÈMES A UN DEGRÉ DE LIBERTÉ.....24

1. Énergie potentielle.....	24
1.1. Force conservative .....	24
1.2. Énergie potentielle .....	24
2. Exemples usuels d'énergies potentielles .....	24
3. Énergie mécanique. Intégrale première de l'énergie .....	25
3.1. Système conservatif .....	25
3.2. Intégrale première de l'énergie .....	25

4. Équilibres et stabilité .....	25
4.1. Recherche des positions d'équilibre.....	25
4.2. Stabilité des positions d'équilibre.....	25
4.3. Petites oscillations autour d'une position d'équilibre stable.....	26
5. Approche du portrait de phase.....	26
5.1. Systèmes conservatifs .....	26
5.1.1. Trajectoires de phase fermées .....	26
5.1.2. Conséquences de la conservation de l'énergie.....	27
5.2. Systèmes dissipatifs .....	28
<b>OSCILLATEUR HARMONIQUE À UN DEGRÉ DE LIBERTÉ.....</b>	<b>28</b>
1. Oscillateur harmonique.....	28
1.1. Equation différentielle et solution générale .....	28
1.2. Conservation de l'énergie et épartition de l'énergie .....	29
2. Oscillations libres d'un système linéaire soumis à un terme dissipatif de type visqueux .....	29
3. Oscillations forcées d'un système linéaire soumis à un terme dissipatif de type visqueux.....	30
3.1. Equation différentielle et réponse du système .....	30
3.2. Résonances du système .....	31
3.2.1. Résonance d'amplitude .....	31
3.2.2. Réponse en vitesse. Résonance de vitesse .....	31
3.2.3. Résonance de puissance .....	32
4. Oscillations entretenues des systèmes du second ordre : cycle limite.....	32
4.1. Régime transitoire .....	32
4.2. Oscillateurs harmoniques en régime sinusoïdal forcé.....	33
4.3. Oscillateurs paramétriques .....	33
4.4. Oscillateurs auto-entretenus .....	33
<b>THÉORÈME DU MOMENT CINÉTIQUE.....</b>	<b>34</b>
1. Définitions et théorème du moment cinétique.....	34
1.1. Définitions.....	34
1.2. Théorème du moment cinétique.....	34
2. Théorème du moment cinétique par rapport à un axe .....	35
<b>MOUVEMENTS DANS UN CHAMP DE FORCES CENTRALES CONSERVATIVES.....</b>	<b>35</b>
1. Aspect cinématique des mouvements à force centrale .....	36
2. Mouvements d'un point matériel dans un champ newtonien .....	36
2.1. Lois de conservation .....	36
2.2. Energie potentielle effective. Discussion qualitative du mouvement .....	37
3. Trajectoires dans un champ de force newtonien .....	37
3.1. Équation des trajectoires .....	37
3.2. Les différentes trajectoires possibles .....	38
4. Mouvement des planètes, lois de Képler .....	39
4.1. Lois de Képler .....	39
4.2. Vitesse de libération ou vitesses cosmiques.....	40
4.3. Applications : satellite géostationnaire .....	40
<b>CHANGEMENTS DE RÉFÉRENTIELS.....</b>	<b>40</b>
1. Cinématique.....	40
2. Dynamique et théorèmes .....	41
2.1. Forces d'inertie.....	41

2.2. Énergie potentielle centrifuge .....	41
2.3. Théorème de l'énergie cinétique .....	41
3. Caractère galiléen approché de quelques référentiels usuels .....	42
3.1. Le référentiel de Copernic .....	42
3.2. Le référentiel héliocentrique .....	42
3.3. Référentiel géocentrique .....	42
3.4. Référentiel terrestre local .....	42
3.4. Approximation du référentiel galiléen .....	43

## **SYSTÈME FORMÉ DE DEUX POINTS MATÉRIELS ..... 43**

1. Définitions .....	43
1.1. Éléments cinétiques .....	43
1.2. Centre d'inertie et référentiel barycentrique .....	43
2. Les théorèmes généraux .....	44
2.1. Théorème du centre d'inertie (ou de la résultante cinétique) .....	44
2.2. Théorème du moment cinétique .....	44
2.3. Théorème de la puissance cinétique et de l'énergie cinétique .....	45
3. Réduction du problème à deux corps .....	45
3.1. Réduction à un problème à un corps .....	45
3.2. Lois de conservation .....	46

## **LOIS GÉNÉRALES DANS LE CADRE DE L'APPROXIMATION DES RÉGIMES QUASI-STATIONNAIRES ..... 47**

1. Lois générales dans le cadre de l'approximation quasi-stationnaire .....	47
1.1. Approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS) .....	47
1.2. Intensité du courant électrique .....	47
1.3. Loi des nœuds .....	47
1.4. Loi des mailles .....	47
2. Le dipôle électrocinétique .....	48
2.1. Conventions d'orientation .....	48
2.2. Puissance reçue par un dipôle .....	48
2.3. Dipôles passifs linéaires .....	48
2.4. Dipôles actifs linéaires, les générateurs .....	48
2.5. Association de dipôles .....	49
3. Outils usuels permettant la simplification de l'étude des circuits .....	50

## **CIRCUITS LINÉAIRES EN RÉGIME TRANSITOIRE ..... 51**

1. Régime transitoire d'un circuit RC .....	51
1.1. Réponse libre d'un circuit RC .....	51
1.2. Réponse d'un circuit RC à un échelon de tension. Réponse indicielle .....	52
2. Régime transitoire d'un circuit RL (réponse à un échelon de tension) .....	53
3. Régime transitoire d'un circuit RLC série .....	53
Réponse libre d'un circuit RLC série .....	54

## **CIRCUITS LINÉAIRES EN RÉGIME SINUSOÏDAL FORCÉ ..... 56**

1. Signaux sinusoïdaux .....	56
1.1. Fonctions sinusoïdales .....	56
1.2. Utilisation de la notation complexe .....	56
2. Circuit RLC série en régime sinusoïdal forcé .....	57
2.1. Réponse en intensité – Résonance d'intensité .....	57
2.2. Réponse en charge – Résonance de tension aux bornes du condensateur .....	58
3. Impédances et admittances complexes .....	58
3.1. Dipôles passifs linéaires R, L et C .....	58

3.2. Dipôles actifs linéaires en régime sinusoïdal forcé : générateurs .....	59
4. Réseaux linéaires en régime sinusoïdal forcé .....	60
4.1. Loi des nœuds .....	60
4.2. Loi des mailles .....	60
4.3. Association de dipôles linéaires .....	60
5. Puissance en régime sinusoïdal forcé .....	61
5.1. Puissance instantanée, puissance moyenne. Facteur de puissance.....	61
5.2. Adaptation d'impédance – Notion de charge adaptée.....	61
6. Filtrés du premier ordre .....	61
6.1. Définitions.....	61
6.2. Filtre linéaire.....	62
6.3. Filtrés du premier ordre.....	63
<b>CIRCUITS AVEC AMPLIFICATEUR OPÉRATIONNEL .....</b>	<b>67</b>
1. Modèle de l'amplificateur opérationnel idéal en régime linéaire.....	67
2. Montages classiques en régime linéaire .....	68
<b>OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE .....</b>	<b>69</b>
1. Bases de l'optique géométrique.....	69
2. Objets, images réels et virtuels .....	69
3. Stigmatisme .....	70
4. Miroirs sphériques dans l'approximation de Gauss .....	71
5. Lentilles minces dans l'approximation de Gauss .....	72
<b>THERMODYNAMIQUE DES FLUIDES .....</b>	<b>74</b>
1. Théorie cinétique des gaz .....	74
2. Éléments de statique des fluides.....	75
2.1. Champ de pression et force pressante.....	75
2.2. Théorème d'Archimède .....	76
2.3. Équation fondamentale de la statique des fluides dans le champ de pesanteur uniforme.....	76
2.4. Loi fondamentale de la statique des fluides dans le cas général .....	77
3. Variables et équations d'état.....	78
<b>PREMIER PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE.....</b>	<b>78</b>
1. Postulat d'existence de la fonction d'état énergie interne. Premier principe .....	78
1.1. Énoncé du premier principe .....	78
1.2. Formes d'énergies comprises dans l'énergie interne .....	79
2. Formulation mathématique du premier principe. Travail et transfert thermique. ....	79
2.1. Les deux formes d'échange d'énergie avec le milieu extérieur .....	79
2.2. Travail des forces de pression.....	80
2.3. Formulation mathématique du premier principe.....	80
3. Fonction enthalpie. Bilan énergétique d'un système en écoulement.....	81
3.1. Fonction enthalpie H.....	81
3.2. Bilan énergétique d'un système en écoulement .....	81
4. Coefficients calorimétriques.....	82
<b>SECOND PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE.....</b>	<b>83</b>
1. Énoncé du second principe et hypothèse fondamentale .....	83
2. Identité thermodynamique et couples de variables.....	83
3. Bilans entropiques .....	84
3.1. Terme d'échange et terme de production d'entropie .....	84
3.2. Relation de Carathéodory.....	85

4. Entropie des systèmes thermodynamiques usuels .....	85
4.1. Cas du gaz parfait .....	85
4.2. Cas de la matière condensée .....	86
4.3. Cas d'un thermostat .....	86
<b>CHANGEMENT D'ÉTAT D'UN CORPS PUR .....</b>	<b>87</b>
1. Définitions. Les différents diagrammes .....	87
1.1. Définitions .....	87
1.2. Les différents diagrammes .....	87
1.2.1. Surface caractéristique dans l'espace (P,V,T) .....	87
1.2.2. Diagramme (P,T) .....	88
1.2.3. Diagramme de Clapeyron et isothermes d'Andrews .....	89
2. Transferts énergétiques .....	89
2.1. Enthalpie et entropie de changement d'état .....	89
2.2. Enthalpie et entropie massique d'un système diphasé .....	90
2.3. Relation de Clapeyron .....	90
2.4. Etats métastables .....	90
<b>MACHINES THERMIQUES.....</b>	<b>91</b>
1. Bilan énergétique. Les différents diagrammes .....	91
1.1. Rappels du premier principe .....	91
1.2. Diagramme de Watt. Travail de transvasement .....	91
2. Les moteurs thermiques .....	92
2.1. Inégalité de Clausius-Carnot. Énoncés de Kelvin et de Carnot .....	92
2.2. Cycles dithermes .....	93
2.2.1. Rendement d'un moteur .....	93
2.2.2. Théorème de Carnot .....	93
2.2.3. Cycle de Carnot .....	93
2.2.4. Réfrigérateurs et pompes à chaleur .....	93
<b>ÉLECTROSTATIQUE.....</b>	<b>94</b>
1. Interaction de deux charges ponctuelles, champ électrostatique .....	94
1.1. Loi de Coulomb .....	94
1.2. Champ électrostatique et expressions .....	94
2. Éléments de symétrie et conséquences .....	95
3. Théorème de Gauss .....	95
3.1. Flux du champ électrostatique .....	95
3.2. Théorème de Gauss .....	95
3.3. Analogie avec le champ de gravitation .....	95
4. Potentiel électrostatique .....	96
4.1. Définition .....	96
4.2. Circulation du vecteur champ électrique .....	96
4.3. Expressions du potentiel électrostatique .....	96
6. Dipôle électrostatique .....	96
6.1. Modèle du doublet .....	96
6.2. Potentiel et champ à grande distance du doublet .....	97
6.3. Action d'un champ électrostatique uniforme sur un dipôle .....	98
<b>MOUVEMENT DES PARTICULES CHARGÉES DANS <math>E</math> ET <math>B</math>.....</b>	<b>99</b>
1. Force de Lorentz .....	99
2. Mouvement d'une particule chargée dans $E$ uniforme .....	99
3. Mouvement d'une particule chargée dans $B$ uniforme .....	99
3.1. Cas où la vitesse initiale est perpendiculaire à $B$ .....	99

3.2. Cas où la vitesse initiale n'est pas perpendiculaire à B .....	100
<b>MAGNÉTOSTATIQUE .....</b>	<b>100</b>
1. Relation de Biot et Savart .....	100
2. Propriétés des lignes de champ magnétique .....	100
3. Propriétés de symétrie ou d'antisymétrie .....	101
4. Théorème d'Ampère .....	101
5. Le champ magnétique est un champ à flux conservatif .....	102
6. Tableau comparatif des propriétés des champs E et B .....	103
<b>ATOMES ET MOLÉCULES .....</b>	<b>104</b>
1. Quantification de l'énergie dans l'atome d'hydrogène .....	104
2. Structure électronique de l'atome .....	104
3. Les orbitales .....	104
4. Règles de remplissage des orbitales .....	104
5. La classification périodique .....	105
<b>CINÉTIQUE CHIMIQUE .....</b>	<b>108</b>
1. Système fermé en réaction chimique .....	108
1.1. Coefficients stœchiométriques algébriques .....	108
1.2. Avancement d'une réaction .....	108
2. Vitesses en cinétique chimique .....	108
2.1. Vitesses de formation et de disparition .....	108
2.2. Vitesse de réaction .....	108
3. Facteurs influençant la vitesse d'une réaction .....	108
3.1. Influence des concentrations .....	108
3.2. Influence de la température .....	108
4. Résultats de cinétique formelle .....	108
5. Mécanismes réactionnels .....	109
5.1. Processus élémentaire .....	109
5.2. Intermédiaires réactionnels .....	109
5.3. Approximation de l'état quasi stationnaire (A.E.Q.S.) ou approximation de Bodenstein .....	109
5.4. Différents types de mécanismes .....	109
<b>RÉACTIONS EN SOLUTION AQUEUSE .....</b>	<b>109</b>
1. Équilibres acido-basiques .....	109
2. Complexes de coordination .....	110
3. Précipités .....	111
<b>RÉACTIONS D'OXYDORÉDUCTION .....</b>	<b>111</b>
1. Réactions d'oxydoréduction .....	111
2. Piles électrochimiques .....	112
3. Formule de Nernst .....	112
4. Classification rédox – Règle du gamma .....	113
5. Dosages potentiométriques .....	113
<b>STRUCTURE DE LA MATIÈRE CONDENSÉE .....</b>	<b>118</b>
1. Définitions .....	118
2. Empilements compacts .....	118
3. Empilement CC .....	119
4. Cristaux ioniques .....	120
5. Cristaux moléculaires .....	121

6. Cristaux covalents.....	121
<b>THERMODYNAMIQUE CHIMIQUE.....</b>	<b>122</b>
1. Le qualificatif « standard » .....	122
1.1. Etat standard : définition .....	122
1.2. Grandeur standard .....	122
2. Grandeur standard de réaction.....	122
3. Transformation isobare.....	122
3.1. Transformations endothermique et exothermique .....	122
3.2. Réacteur isobare et adiabatique.....	122
4. Grandeurs thermodynamiques standard tabulées .....	123
4.1. Loi de Hess.....	123
4.2. État standard de référence du corps pur .....	123
4.3. Enthalpie standard de formation .....	123
4.4. Relation de Kirchhoff.....	123
<b>CONSTANTES PHYSIQUES.....</b>	<b>124</b>
<b>INDEX .....</b>	<b>125</b>