

TABLE DES MATIÈRES

OUTILS MATHÉMATIQUES	1
1. Éléments d'analyse vectorielle	1
1.1. Coordonnées cartésiennes	1
1.2. Opérateurs différentiels et relations intégrales.....	1
1.3. Propriétés et relations entre opérateurs.....	2
1.4. Coordonnées cylindriques	2
1.5. Expression des opérateurs différentiels en coordonnées cylindriques	3
1.6. Coordonnées sphériques	4
1.7. Expression des opérateurs différentiels en coordonnées sphériques	5
2. Relations intégrales.....	5
2.1. Définitions	5
2.2. Relations entre formulations intégrales	6
3. Notions d'analyse de Fourier	6
3.1. Généralités	6
3.2. Décompositions en série de Fourier de fonctions usuelles.....	7
4. Formules trigonométriques et hyperboliques.....	8
4.1. Définitions	8
4.2. Propriétés	8
5. Développements limités usuels au voisinage de 0.....	9
6. Primitives usuelles.....	10
DESCRIPTION DU MOUVEMENT ET PARAMÉTRAGE D'UN POINT	11
1. Espace et temps d'un observateur.....	11
2. Vecteurs vitesse et accélération	11
DYNAMIQUE DU POINT EN RÉFÉRENTIEL GALILÉEN.....	13
1. Définitions et lois de Newton	13
1.1. Masse inerte et masse grave. Quantité de mouvement	13
1.2. Première loi de Newton ou principe de l'inertie	13
1.3. Deuxième loi de Newton ou principe fondamental de la dynamique.....	13
1.4. Troisième loi de Newton ou principe des actions mutuelles.....	13
2. Lois de force.....	14
3. Puissance et travail d'une force. Théorème de l'énergie cinétique	15
3.1. Puissance d'une force	15
3.2. Travail d'une force.....	15
3.3. Théorème de la puissance et de l'énergie cinétique	15
PROBLÈMES À UN DEGRÉ DE LIBERTÉ.....	16
1. Énergie potentielle	16
1.1. Force conservative	16
1.2. Énergie potentielle	16
2. Exemples usuels d'énergies potentielle.....	17
3. Énergie mécanique. Intégrale première de l'énergie.....	17
3.1. Système conservatif.....	17
3.2. Intégrale première de l'énergie	17
4. Équilibres et stabilité	18
4.1. Recherche des positions d'équilibre	18
4.2. Stabilité des positions d'équilibre.....	18
4.3. Petites oscillations autour d'une position d'équilibre stable.....	18
5. Approche du portrait de phase	19
5.1. Systèmes conservatifs.....	19
5.2. Systèmes dissipatifs	20

OSCILLATEUR HARMONIQUE À UN DEGRÉ DE LIBERTÉ	21
1. Oscillateur harmonique	21
1.1. Equation différentielle et solution générale.....	21
1.2. Conservation de l'énergie et équipartition de l'énergie.....	21
2. Oscillations libres d'un système linéaire soumis à un terme dissipatif de type visqueux	22
3. Oscillations forcées d'un système linéaire soumis à un terme dissipatif de type visqueux.....	23
3.1. Equation différentielle et réponse du système.....	23
3.2. Résonances du système.....	23
Résonance d'amplitude	23
Réponse en vitesse. Résonance de vitesse	24
Résonance de puissance	24
4. Oscillations entretenues des systèmes du second ordre : cycle limite.....	25
4.1. Régime transitoire	25
4.2. Oscillateurs harmoniques en régime sinusoïdal forcé	25
4.3. Oscillateurs paramétriques	26
4.4. Oscillateurs auto-entretenus	26
THÉORÈME DU MOMENT CINÉTIQUE.....	27
1. Définitions et théorème du moment cinétique	27
1.1. Définitions	27
1.2. Théorème du moment cinétique.....	27
2. Théorème du moment cinétique par rapport à un axe	27
MOUVEMENTS DANS UN CHAMP DE FORCES CENTRALES CONSERVATIVES	28
1. Aspect cinématique des mouvements à force centrale	28
2. Mouvements d'un point matériel dans un champ newtonien	29
2.1. Lois de conservation	29
2.2. Énergie potentielle effective. Discussion qualitative du mouvement.....	29
3. Trajectoires dans un champ de force newtonien.....	30
3.1. Équation des trajectoires.....	30
3.2. Les différentes trajectoires possibles	30
4. Mouvement des planètes, lois de Képler.....	32
4.1. Lois de Képler	32
4.2. Vitesse de libération ou vitesses cosmiques	32
4.3. Applications : satellite géostationnaire	32
CHANGEMENTS DE RÉFÉRENTIELS	32
1. Cinématique	32
2. Dynamique et théorèmes	34
2.1. Forces d'inertie.....	34
2.2. Énergie potentielle centrifuge	34
2.3. Théorème de l'énergie cinétique.....	34
3. Caractère galiléen approché de quelques référentiels usuels	34
3.1. Le référentiel de Copernic	34
3.2. Le référentiel héliocentrique.....	35
3.3. Référentiel géocentrique.....	35
3.4. Référentiel terrestre local.....	35
3.5. Approximation du référentiel galiléen	35
SYSTÈME FORMÉ DE DEUX POINTS MATÉRIELS	36
1. Définitions.....	36
1.1. Éléments cinétiques	36
1.2. Centre d'inertie et référentiel barycentrique.....	36

2. Les théorèmes généraux	36
2.1. Théorème du centre d'inertie (ou de la résultante cinétique).....	37
2.2. Théorème du moment cinétique.....	37
2.3. Théorème de la puissance cinétique et de l'énergie cinétique	37
3. Réduction du problème à deux corps	38
3.1. Réduction à un problème à un corps.....	38
3.2. Lois de conservation	39
MÉCANIQUE DES SYSTÈMES DE POINTS ET DU SOLIDE.....	39
1. Cinématique d'un solide.....	39
1.1. Relation fondamentale de la cinématique du solide	39
1.2. Axe de rotation d'un solide et mouvements d'un solide	39
1.3. Roulement et glissement d'un solide	40
2. Éléments cinétiques.....	41
Moment cinétique d'un solide par rapport à un axe.....	42
3. Référentiel barycentrique	42
3.1. Propriétés	42
3.2. Théorèmes de Koenig.....	42
4. Les actions mécaniques	43
5. Théorèmes de la mécanique des systèmes	43
5.1. Théorème du centre de masse	43
5.2. Théorème du moment cinétique.....	44
5.3. Théorème du moment cinétique par rapport à un axe fixe Δ :	44
5.4. Théorème du moment cinétique appliqué à un solide en rotation autour d'un axe fixe.....	44
6. Théorème de l'énergie cinétique	45
6.1. Théorème de théorème de l'énergie cinétique appliqué à un système de points....	45
6.2. Expression de l'énergie cinétique et de la puissance pour un solide.....	45
7. Cas de plusieurs solides.....	46
8. Contact de deux solides ; lois de Coulomb	46
8.1. Liaison rotule et liaison pivot, liaisons parfaites.....	46
8.2. Lois de Coulomb.....	47
8.3. Puissance des actions de contact.....	47
LOIS GÉNÉRALES DANS LE CADRE DE L'APPROXIMATION DES RÉGIMES QUASI-STATIONNAIRES	48
1. Lois générales dans le cadre de l'approximation quasi-stationnaire	48
1.1. Approximation des régimes quasi-stationnaires (A.R.Q.S.)	48
1.2. Intensité du courant électrique	48
1.3. Loi des nœuds.....	48
1.4. Loi des mailles	48
2. Le dipôle électrocinétique	49
2.1. Conventions d'orientation	49
2.2. Puissance reçue par un dipôle	49
2.3. Dipôles passifs linéaires	49
2.4. Dipôles actifs linéaires, les générateurs.....	49
2.5. Association de dipôles	50
3. Outils usuels permettant la simplification de l'étude des circuits	51
CIRCUITS LINÉAIRES EN RÉGIME TRANSITOIRE.....	52
1. Régime transitoire d'un circuit RC.....	52
1.1. Réponse libre d'un circuit RC	52
1.2. Réponse d'un circuit RC à un échelon de tension. Réponse indicelle	53
2. Régime transitoire d'un circuit RL (réponse à un échelon de tension).....	54
3. Régime transitoire d'un circuit RLC série	54
Réponse libre d'un circuit RLC série.....	55

CIRCUITS LINÉAIRES EN RÉGIME SINUSOÏDAL FORCÉ	57
1. Signaux sinusoïdaux	57
1.1. Fonctions sinusoïdales	57
1.2. Utilisation de la notation complexe	57
2. Circuit RLC série en régime sinusoïdal forcé	58
2.1. Réponse en intensité – Résonance d'intensité	58
2.2. Réponse en charge – Résonance de tension aux bornes du condensateur	59
3. Impédances et admittances complexes	59
3.1. Dipôles passifs linéaires R, L et C	59
3.2. Dipôles actifs linéaires en régime sinusoïdal forcé : générateurs	60
4. Réseaux linéaires en régime sinusoïdal forcé	61
4.1. Loi des nœuds	61
4.2. Loi des mailles	61
4.3. Association de dipôles linéaires	61
5. Puissance en régime sinusoïdal forcé	62
5.1. Puissance instantanée, puissance moyenne. Facteur de puissance	62
5.2. Adaptation d'impédance – Notion de charge adaptée	63
6. Filtres du premier ordre et du second ordre	63
6.1. Définitions	63
6.2. Fonction de transfert (ou transmittance) d'un quadripôle linéaire	63
6.3. Filtre linéaire	63
6.4. Caractère intégrateur ou dérivateur d'un filtre	66
CIRCUITS AVEC AMPLIFICATEUR OPÉRATIONNEL	69
1. Amplificateur opérationnel idéal en régime linéaire	69
2. Montages classiques en régime linéaire	69
OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE	70
1. Bases de l'optique géométrique	70
2. Objets, images réels et virtuels	70
3. Stigmatisme , aplanétisme et plans focaux	71
4. Miroirs sphériques dans l'approximation de Gauss	72
5. Lentilles minces dans l'approximation de Gauss	73
OPTIQUE ONDULATOIRE	75
1. Généralités	75
1.1. Conditions d'obtention d'interférences	76
1.2. Émission de la lumière	76
1.3. Expression du déphasage	77
2. Dispositif à division de front d'onde – Les trous d'Young	77
3. Autres dispositifs interférentiels à division de front d'onde	79
4. Dispositif à division d'amplitude – L'interféromètre de Michelson	80
4.1. Réglage en lame d'air, franges d'égale inclinaison	81
4.2. Coin d'air, franges d'égale épaisseur	83
5. Interférences à deux ondes en lumière polychromatique et pour une source étendue — Localisation des interférences	84
5.1. Cas d'une source ponctuelle mais polychromatique — cohérence temporelle de la source	84
5.2. Cas d'une source monochromatique mais étendue — cohérence spatiale de la source	85
6. Diffraction des ondes lumineuses	86
6.1. Le principe de Huygens-Fresnel	86
6.2. Diffraction de Fraunhofer d'une onde incidente plane	87
6.3. Diffraction par une pupille de phase ou d'amplitude	87
6.4. Diffraction de Fraunhofer d'une onde plane par une ouverture rectangulaire	87
6.5. Diffraction par un trou circulaire :	88

7. Interférences à l'infini entre N ondes cohérentes	89
7.1. Réseau plan.....	89
7.2. Interférences créées par une lame	90
ÉLECTROSTATIQUE	92
1. Interaction de deux charges ponctuelles, champ électrostatique	92
1.1. Loi de Coulomb.....	92
1.2. Champ électrostatique et expressions.....	92
2. Éléments de symétrie et conséquences.....	93
3. Théorème de Gauss	93
3.1. Flux du champ électrostatique	93
3.2. Théorème de Gauss.....	93
3.3. Analogie avec le champ de gravitation.....	94
4. Potentiel électrostatique	94
4.1. Définition.....	94
4.2. Circulation du vecteur champ électrique.....	94
4.3. Expressions du potentiel électrostatique.....	94
5. Dipôle électrostatique.....	95
5.1. Modèle du doublet	95
5.2. Potentiel et champ à grande distance du doublet	95
5.3. Action d'un champ électrostatique uniforme sur un dipôle	96
6. Formulation locale des lois de l'électrostatique	97
Équations locales.....	97
7. Conducteur en équilibre électrostatique.....	97
7.1. Définition.....	97
7.2. Propriétés d'un conducteur en équilibre électrostatique.....	97
7.3. Théorème de Coulomb	98
7.4. Champ dans une cavité vide de charge.....	98
7.5. Théorème des éléments correspondants	98
7.6. Théorème de superposition des états d'équilibre	98
7.7. Théorème d'unicité	98
7.8. Capacité propre d'un conducteur	98
7.9. Énergie d'un ensemble de conducteurs	99
8. Étude des condensateurs.....	99
8.1. Influence totale, condensateur.....	99
8.2. Capacité et énergie d'un condensateur	99
8.3. Quelques capacités usuelles	100
MAGNÉTOSTATIQUE.....	100
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 électrique et magnétiques.....	103
7. Equations locales et intégrales du champ magnétique en régime permanent	104
8. Potentiel vecteur. Jauge de Coulomb	105
9. Champ magnétique et potentiel vecteur créé par une distribution de courant.....	105
9.1. Orientation relative du champ magnétique et du potentiel vecteur	106
9.2. Champ magnétique et potentiel vecteur créé par des distributions classiques....	106
9.3. Effet Hall	106
9.4. Force de Laplace	107
10. Dipôle magnétique.....	107
10.1. Moment magnétique d'un circuit.....	107
10.2. Potentiel vecteur et champ magnétique créés par un moment magnétique.....	108
10.3. Actions subies par un dipôle magnétique et énergie potentielle.....	108
10.4. Analogie dipôle électrostatique – dipôle magnétique.....	108

ÉQUATIONS DE MAXWELL.....	109
1. Équations de Maxwell	109
1.2. Signification physique des équations de Maxwell	109
1.3. Cas particulier de l'approximation des régimes quasi-permanents (ARQP).....	110
Transformation des champs dans la limite électrique non relativiste	110
2. Relations champs-potentiels.....	111
2.1. Potentiel vecteur.....	111
2.2. Potentiel scalaire	111
2.3. Champ électrique	111
2.4. Choix de jauge.....	111
3. Relations de passage.....	111
3.1. Modèle d'une distribution surfacique de charges et de courants	111
3.2. Continuité et discontinuité des composantes des champs	112
INDUCTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE	112
1. Le cadre de l'étude.....	112
2. Le phénomène d'induction.....	112
2.1. Courant induit.....	112
2.2. Loi de Lenz.....	112
3. Cas d'induction de Neumann : circuit fixe dans un champ magnétique variable	113
3.1. Force électromotrice induite et flux magnétique	113
3.2. Champ électromoteur de Neumann (complément).....	113
4. Cas d'induction de Lorentz : circuit mobile dans un champ magnétique constant	113
4.1. Loi d'Ohm dans un conducteur en mouvement	113
4.2. Champ électromoteur de Lorentz.....	114
4.3. F.e.m. induite dans le circuit	114
5. Cas général : circuit filiforme mobile dans un champ variable	114
5.1. Loi de Faraday.....	114
5.2. Modélisation électrocinétique d'une portion de circuit	114
6. Calculs de flux pour des circuits filiformes	114
6.1 Inductance propre.....	114
6.2. Coefficients d'inductance mutuelle de deux circuits filiformes.....	115
7. Énergie magnétique de deux circuits.....	115
7.1. Énergie associée au champ magnétique	115
7.2. Énergie magnétique et coefficients d'inductance	116
8. Circuits couplés par mutuelle.....	116
PROPAGATION DANS LE VIDE ÉNERGIE ÉLECTROMAGNÉTIQUE	117
1. Propagation d'une onde plane dans le vide.....	117
1.1. Équations de propagation	117
1.2. Surface d'onde et onde plane	117
1.3. Onde progressive harmonique (OPH).....	118
2. Structure de l'onde plane progressive harmonique	118
2.1. Expression du champ électromagnétique d'une OPPH	118
2.2. Équations de Maxwell pour une OPPH dans le vide	119
2.3. Structure de l'onde plane progressive harmonique.....	119
2.4. Onde plane progressive (OPP).....	119
3. Aspect énergétique.....	119
3.1. Puissance cédée aux porteurs de charge	119
3.2. Densité volumique d'énergie électromagnétique.....	120
3.3. Vecteur de Poynting	120
3.4. Cas de l'OPPH	120
3.5. Bilan d'énergie	120
3.6. Vitesse de transport de l'énergie	121
4. États de polarisation d'une OPPH	121
4.1. Définitions	121
4.2. Description de l'état de polarisation	121

PROPAGATION AVEC DISPERSION.....	122
1. Absorption et dispersion.....	122
1.1. Cas général d'un milieu absorbant.....	122
1.2. Paquet d'ondes. Vitesse de phase et vitesse de groupe.....	123
2. Propagation dans un plasma.....	123
2.1. Conduction dans un plasma.....	123
2.2. Propagation d'une OPPH dans un plasma. Relation de dispersion.....	124
3. Réflexion sur un conducteur plan parfait.....	125
3.1. Hypothèse du conducteur parfait.....	125
3.2. Réflexion sous incidence normale d'une OPPH.....	125
3.3. Expression de l'onde réfléchie.....	125
3.4. Réflexion d'une OPPH.....	126
4. Onde stationnaire.....	127
5. Propagation guidée.....	128
5.2. Guide d'onde infini à section rectangulaire.....	128
5.3. Propagation guidée entre deux plans conducteurs parallèles.....	129
CHAMP RAYONNÉ PAR UN DIPÔLE OSCILLANT.....	129
1. Dipôle oscillant.....	129
2. Champ rayonné.....	130
2.1. Potentiel vecteur.....	130
2.2. Champ magnétique.....	131
2.3. Champ et potentiel électrique.....	131
2.4. Structure de l'onde émise.....	132
3. Puissance rayonnée.....	132
3.1. Intensité rayonnée.....	132
3.2. Indicatrice de rayonnement.....	133
3.3. Puissance totale rayonnée.....	133
THERMODYNAMIQUE DES FLUIDES.....	134
1. Théorie cinétique des gaz.....	134
2. Éléments de statique des fluides.....	135
2.1. Champ de pression et force pressante.....	135
2.2. Théorème d'Archimède.....	136
2.3. Équation fondamentale de la statique des fluides dans le champ de pesanteur uniforme.....	136
2.4. Loi fondamentale de la statique des fluides dans le cas général.....	137
3. Variables et équations d'état.....	138
PREMIER PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE.....	139
1. Postulat d'existence de la fonction d'état énergie interne. Premier principe.....	139
1.1. Énoncé du premier principe.....	139
1.2. Formes d'énergies comprises dans l'énergie interne.....	139
2. Formulation mathématique du premier principe. Travail et transfert thermique.....	140
2.1. Les deux formes d'échange d'énergie avec le milieu extérieur.....	140
2.2. Travail des forces de pression.....	140
2.3. Formulation mathématique du premier principe.....	141
3. Fonction enthalpie. Bilan énergétique d'un système en écoulement.....	141
3.1. Fonction enthalpie H.....	141
3.2. Bilan énergétique d'un système en écoulement.....	142
4. Coefficients calorimétriques.....	142
SECOND PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE.....	144
1. Énoncé du second principe et hypothèse fondamentale.....	144
2. Identité thermodynamique et couples de variables.....	144
3. Bilans entropiques.....	145
3.1. Terme d'échange et terme de production d'entropie.....	145

3.2. Relation de Carathéodory	146
4. Entropie des systèmes thermodynamiques usuels	146
4.1. Cas du gaz parfait	146
4.2. Cas de la matière condensée	146
4.3. Cas d'un thermostat	147
MACHINES THERMIQUES	147
1. Bilan énergétique. Les différents diagrammes	147
1.1. Rappels du premier principe	147
1.2. Diagramme de Watt. Travail de transvasement	148
2. Les moteurs thermiques	149
2.1. Inégalité de Clausius-Carnot. Énoncés de Kelvin et de Carnot	149
2.2. Cycles dithermes	149
CHANGEMENT D'ÉTAT D'UN CORPS PUR	150
1. Définitions. Les différents diagrammes	150
1.1. Définitions	150
1.2. Les différents diagrammes	151
2. Transferts énergétiques	153
2.1. Enthalpie et entropie de changement d'état	153
2.2. Enthalpie et entropie massique d'un système diphasé	153
2.3. Relation de Clapeyron	154
2.4. Etats métastables	154
TRANSFERTS THERMIQUES EN THERMODYNAMIQUE	154
1. Les différents modes de transfert de l'énergie	154
2. La notion de température locale	154
3. Vecteur densité de courant d'énergie	155
4. Etude de la conduction et loi de Fourier	155
5. Equation dite de la « chaleur »	155
5.1. Modèle unidirectionnel	155
5.2. Cas général	156
6. Transport conducto-convectif	156
7. Régime permanent, régime quasi-permanent et modèles électrocinétiques	156
7.1. Résistance thermique	156
7.2. Association série	157
7.3. Association parallèle	158
8. Transfert par rayonnement	158
8.1. Le corps noir	158
8.2. Loi de Planck	158
8.3. Loi de Wien (1880)	159
8.4. Loi de Kirchhoff	159
8.5. Loi de Stefan – Boltzmann (1879)	159
ATOMES ET MOLÉCULES	160
1. Quantification de l'énergie dans l'atome d'hydrogène	160
2. Structure électronique de l'atome	160
3. Les orbitales	160
4. Règles de remplissage des orbitales	161
5. La classification périodique	161
6. Formules de Lewis des molécules	161
7. Géométrie des édifices polyatomiques - VSEPR	163
CINÉTIQUE CHIMIQUE	164
1. Système fermé en réaction chimique	164
1.1. Coefficients stœchiométriques algébriques	164
1.2. Avancement d'une réaction	164

2. Vitesses en cinétique chimique.....	164
2.1. Vitesses de formation et de disparition.....	164
2.2. Vitesse de réaction.....	164
3. Facteurs influençant la vitesse d'une réaction.....	164
3.1. Influence des concentrations.....	164
3.2. Influence de la température.....	164
4. Résultats de cinétique formelle.....	165
5. Mécanismes réactionnels.....	165
5.1. Processus élémentaire.....	165
5.2. Intermédiaires réactionnels.....	165
5.3. Approximation de l'état quasi stationnaire (A.E.Q.S.) ou principe de Bodenstein.....	165
5.4. Différents types de mécanismes.....	165
THERMODYNAMIQUE DES SYSTÈMES CHIMIQUES.....	166
I. Enthalpie libre.....	166
Relation de Gibbs-Helmholtz.....	166
2. Potentiel chimique.....	166
2.1. Définition.....	166
2.2. Évolution du potentiel chimique en fonction de p et T.....	167
2.3. Expression du potentiel chimique.....	167
2.4. Potentiel chimique d'un gaz parfait pur.....	167
2.5. Cas d'un mélange idéal.....	168
2.6. Solution idéale.....	168
2.7. Solutions diluées.....	168
2.8. Solutions quelconques.....	168
2.9. Cas de phases solides.....	168
3. Grandeurs standard.....	169
3.1. Grandeurs standard relatives à un constituant.....	169
3.2. Grandeurs de réaction.....	171
3.3. Influence de la température.....	172
4. Affinité chimique ; évolution et équilibre chimique.....	173
4.1. Affinité chimique.....	173
4.2. Critère thermodynamique d'évolution spontanée.....	173
5. Expression de l'affinité chimique, de l'enthalpie libre de réaction et de la constante d'équilibre.....	174
5.1. Constante d'équilibre standard.....	174
5.2. Expression de l'enthalpie libre de réaction et de l'affinité.....	174
5.3. Équilibre, relation de Guldberg et Waage.....	175
5.4. Relation de Van't Hoff.....	175
5.5. Lois de déplacement des équilibres.....	175
RÉACTIONS EN SOLUTION AQUEUSE.....	177
1. Équilibres acido-basiques.....	177
2. Complexes de coordination.....	178
3. Précipités.....	179
RÉACTIONS D'OXYDOREDUCTION.....	179
I. Réactions d'oxydoréduction.....	179
2. Nombre d'oxydation.....	180
3. Piles électrochimiques.....	180
3.1. Anode / Cathode :.....	180
3.2. Pile électrochimique :.....	180
4. Formule de Nernst.....	181
4.1. Force électromotrice.....	181
4.2. Potentiel de Nernst.....	181
4.3. Electrodes de référence.....	181

5. Classification rédox – Règle du gamma	182
5.1. Relation entre l'affinité et les potentiels de Nernst	182
5.2. Règle du « gamma »	182
OXYDO-RÉDUCTION EN PHASE « SÈCHE » DIAGRAMMES D'ELLINGHAM	
.....	183
1. Construction du diagramme d'Ellingham	183
2. Domaines d'existence et de stabilité	184
2.1. Cas d'un métal et son oxyde à l'état liquide ou solide	184
2.2. Cas du carbone	184
2.3. Exploitation - Prévion de réactions	185
DIAGRAMMES E-PH ET CORROSION	186
1. Elaboration d'un diagramme potentiel-pH	186
2. Exploitation du diagramme	187
2.1. Diagramme potentiel-pH de l'eau	187
2.2. Stabilité des solutions aqueuses	187
Phénomènes de corrosion	188
3. Présentation des courbes intensité-potentiel	188
4. Electrolyse	189
5. La corrosion	190
5.1. Définition	190
5.2. Corrosion uniforme	190
6. Utilisation du zinc pour la protection du fer	191
STRUCTURE DE LA MATIÈRE CONDENSÉE	195
1. Définitions	195
2. Empilements compacts	195
3. Empilement CC	196
4. Cristaux ioniques	197
5. Cristaux moléculaires	198
6. Cristaux covalents	198
DIAGRAMMES BINAIRES ÉQUILIBRES LIQUIDE(S)-VAPEUR	199
1. Généralités	199
1.1. Notion de phase	199
1.2. Equilibres liquide-vapeur pour les mélanges binaires	199
2. Diagrammes binaires avec miscibilité totale à l'état liquide	199
Cas d'une solution liquide idéale et de gaz parfaits	199
3. Diagrammes binaires dans le cas de deux liquides non miscibles	203
3.1. Un gaz et deux liquides en équilibre	203
3.2. Deux phases en présence	203
3.3. Diagramme isobare	204
3.4. Changement d'état	204
4. Application : Distillation fractionnée	205
4.1. Mélange sans azéotrope	205
4.2. Mélange avec azéotrope	206
CONSTANTES PHYSIQUES	208
INDEX	209