

# SOMMAIRE

<b>CHAPITRE I : RAPPELS D'ANALYSE VECTORIELLE</b> .....	<b>11</b>
<b>1 Notions fondamentales sur vecteurs</b> .....	<b>11</b>
<b>2 Systèmes de coordonnées</b> .....	<b>13</b>
2.1 Représentation à deux dimensions (2D).....	13
2.2 Représentation à trois dimensions (3D).....	14
2.3 Élément d'angle solide.....	18
<b>3 Gradient, divergence, rotationnel et Laplacien</b> .....	<b>18</b>
3.1 L'opérateur Nabla.....	18
3.2 Gradient d'une fonction scalaire.....	18
3.3 Divergence d'un champ de vecteurs.....	19
3.4 Rotationnel d'un champ de vecteurs.....	19
3.5 Laplacien scalaire.....	20
3.6 Laplacien vectoriel.....	20
<b>4 Quelques identités vectorielles</b> .....	<b>21</b>
<b>5 Circulation d'un vecteur</b> .....	<b>21</b>
5.1 Circulation élémentaire.....	21
5.2 Circulation le long d'un chemin-Intégrale curviligne.....	22
<b>6 Flux d'un champ de vecteurs</b> .....	<b>23</b>
6.1 Flux élémentaire.....	23
6.2 Flux à travers une surface ouverte.....	23
6.3 Flux à travers une surface fermée.....	23
<b>7 Théorèmes fondamentaux</b> .....	<b>23</b>
7.1 Théorème de Gauss-Ostrogradski.....	23
7.2 Théorème de Stokes.....	24
7.3 Théorème du gradient.....	25
7.4 Théorème du rotationnel.....	26
7.5 Théorème de Kelvin.....	28
7.6 Identité de Green.....	29
<b>8 Exercices corrigés</b> .....	<b>31</b>
<b>CHAPITRE II: CHARGES ET CHAMP ELECTRIQUES</b> .....	<b>44</b>
<b>1. La charge électrique</b> .....	<b>44</b>
1.1 Echelle microscopique.....	44
1.2 Echelle macroscopique.....	45
1.3 Neutralité électrique de la matière.....	45
1.4 Production de charges électriques.....	45
1.5 Notion de quantification de la charge.....	45
1.6 Conservation de la charge.....	45
1.7 Distribution continue de charges.....	46
<b>2 Force électrique-Loi de Coulomb</b> .....	<b>47</b>
2.1 Cas simple de deux charges ponctuelles.....	47

2.2 Cas de plusieurs charges.....	49
<b>3 Champ électrique.....</b>	<b>49</b>
3.1 Champ électrique créé par une charge ponctuelle.....	49
3.2 Champ créé par une distribution discrète de charges.....	50
3.3 Champ créé par une distribution continue de charges.....	51
<b>4 Théorème de Gauss.....</b>	<b>53</b>
4.1 Vecteur élément de surface.....	53
4.2 Flux d'un champ de vecteurs.....	54
4.3 Théorème de Gauss.....	57
4.4 Symétries et invariances en électrostatique.....	58
4.5 Applications du théorème de Gauss.....	60
<b>5 Exercices corrigés.....</b>	<b>64</b>
<b>CHAPITRE III: POTENTIEL ET ENERGIE ELECTROSTATIQUES.....</b>	<b>79</b>
<b>1 Potentiel électrostatique.....</b>	<b>79</b>
1.1 Expression du potentiel électrostatique.....	79
1.2 Rappel sur le travail d'une force.....	80
1.3 Travail nécessaire pour déplacer une charge dans un champ électrique.....	81
1.4 Différence de potentiel.....	82
1.5 Relations entre le potentiel et le champ électriques.....	82
1.6 Applications.....	83
<b>2 Energie électrostatique.....</b>	<b>85</b>
2.1 Energie d'une charge ponctuelle dans un champ électrique.....	85
2.2 Energie d'un système de charges ponctuelles.....	85
2.3 Energie d'une distribution continue de charges.....	87
2.4 Applications.....	88
<b>3 Equations locales en électrostatique.....</b>	<b>90</b>
3.1 Forme locale du théorème de Gauss.....	90
3.2 Rotationnel du champ électrique.....	92
<b>4 Lignes de champ et surfaces équipotentielles.....</b>	<b>95</b>
4.1 Lignes de champ.....	95
4.2 Tube de champ.....	96
4.3 Equipotentielles.....	97
<b>5 Conditions aux limites dues aux charges de surface.....</b>	<b>97</b>
5.1 Discontinuité de la composante normale du champ électrique.....	97
5.2 Continuité de la composante tangentielle du champ électrique.....	98
5.3 Conducteur électrique parfait.....	99
<b>6 Equation de Poisson.....</b>	<b>100</b>
6.1 Intérêt de l'équation de Poisson.....	100
6.2 Equation de Poisson et équation de Laplace.....	100
6.3 Approximation de l'équation de Laplace.....	102
<b>7 Exercices corrigés.....</b>	<b>104</b>
<b>CHAPITRE IV: CONDUCTEURS EN EQUILIBRE ELECTROSTATIQUE ....</b>	<b>124</b>
<b>1 Conducteur.....</b>	<b>124</b>

<b>2</b>	<b>Notions d'équilibre électrostatique</b> .....	<b>125</b>
2.1	Condition d'équilibre électrostatique .....	125
2.2	Champ nul à l'intérieur d'un CEE.....	125
2.3	Distribution de charges-Charges de surface .....	125
2.4	Potentiel constant en tout point d'un CEE.....	125
2.5	Champ extérieur au voisinage immédiat d'un CEE-Théorème de Coulomb.....	126
2.6	Influence de l'épaisseur de la surface d'un CEE.....	127
<b>3</b>	<b>Pression électrostatique</b> .....	<b>128</b>
<b>4</b>	<b>Conducteur creux-Cavité vide de charges</b> .....	<b>129</b>
<b>5</b>	<b>Phénomènes d'influence électrostatique</b> .....	<b>130</b>
5.1	Théorème des éléments correspondants .....	130
5.2	Influence partielle.....	131
5.3	Influence totale .....	132
<b>6</b>	<b>Capacité d'un conducteur isolé</b> .....	<b>133</b>
6.1	Conducteur de forme quelconque .....	133
6.2	Cas d'un conducteur sphérique.....	133
6.3	pouvoir des pointes.....	134
<b>7</b>	<b>Système de conducteurs en équilibre</b> .....	<b>135</b>
7.1	Relation ente les charges et les potentiels associés .....	135
7.2	Cas de deus sphères conductrices en influence.....	136
<b>8</b>	<b>Notion de condensateur</b> .....	<b>137</b>
8.1	Définition.....	137
8.2	Condensateur à influence totale.....	138
8.3	Méthode générale du calcul de la capacité d'un condensateur .....	138
8.4	Condensateur plan.....	139
8.5	Condensateur sphérique.....	140
8.6	Condensateur cylindrique.....	140
8.7	Associations de condensateurs.....	141
<b>9</b>	<b>Aspect énergétique</b> .....	<b>142</b>
9.1	Energie potentielle d'un seul conducteur en équilibre.....	142
9.2	Cas d'un ensemble de conducteurs.....	142
9.3	Energie associée à un condensateur.....	143
<b>10</b>	<b>Méthode des images</b> .....	<b>144</b>
<b>11</b>	<b>Exercices corrigés</b> .....	<b>148</b>
<b>CHAPITRE V: MILIEUX DIELECTRIQUES</b> .....		<b>157</b>
<b>1</b>	<b>Dipôle électrostatique</b> .....	<b>158</b>
1.1	Potentiel créé à grande distance par un dipôle électrostatique.....	158
1.2	Dipôle électrique passif.....	164
<b>2</b>	<b>Etude macroscopique de la Polarisation des diélectriques</b> .....	<b>167</b>
2.1	Vecteur polarisation.....	168
2.2	Charges de polarisation.....	168
2.3	Potentiel et champ électriques créés par un diélectrique polarisé.....	170
2.4	Equations de l'électrostatique dans un diélectrique polarisé.....	175
2.5	Milieux linéaires homogènes et isotropes (LHI).....	178

<b>3 Energie potentielle électrostatique dans un diélectrique</b> .....	<b>181</b>
3.1 Expression de l'énergie électrique dans un diélectrique.....	181
3.2 Cas des diélectriques LHI.....	182
3.3 Exemples d'applications .....	183
<b>4 Force exercée sur un diélectrique dans un champ électrique</b> .....	<b>184</b>
<b>5 Aspect microscopique de la polarisation des diélectriques</b> .....	<b>185</b>
5.1 Molécules polaires et molécules non polaires.....	186
5.2 Mécanismes microscopiques de la polarisation des diélectriques.....	186
5.3 Champ local et champ macroscopique.....	190
5.4 Vecteur polarisation et champ macroscopique .....	191
<b>6 Rigidité diélectrique</b> .....	<b>194</b>
<b>7 Exercices corrigés</b> .....	<b>195</b>
<b>CHAPITRE VI: CHAMP MAGNETOSTATIQUE</b> .....	<b>208</b>
<b>1 Force et champ magnétostatiques</b> .....	<b>208</b>
<b>2 Champ magnétique créé par une distribution discrète de charges</b> .....	<b>209</b>
2.1 Champ magnétique créé par une charge en mouvement.....	209
2.2 Ensemble de charges en mouvement.....	210
<b>3 Distribution continue de charges</b> .....	<b>210</b>
3.1 Densité de courant et champ magnétique.....	210
3.2 Le courant électrique.....	211
<b>4 Circuit filiforme - Loi de Biot et Savart</b> .....	<b>212</b>
4.1 Courant filiforme.....	212
4.2 Densité de courant de surface.....	215
4.3 Densité de courant volumique.....	215
<b>5 Propriétés du champ magnétique</b> .....	<b>215</b>
5.1 Divergence du champ magnétique.....	215
5.2 Flux magnétique à travers une surface fermée.....	216
5.3 Rotationnel du champ magnétique – Théorème d'Ampère .....	217
<b>6 Potentiel vecteur</b> .....	<b>220</b>
6.1 Origine du potentiel vecteur.....	220
6.2 Propriétés du potentiel vecteur.....	220
6.3 Symétries et Invariances en magnétostatique.....	222
6.4 Potentiel scalaire magnétostatique – condition d'existence.....	229
<b>7 Relations de passage du champ magnétique</b> .....	<b>230</b>
7.1 Continuité de la composante normale.....	230
7.2 Discontinuité de la composante tangentielle.....	231
<b>8 Conclusion</b> .....	<b>232</b>
<b>9 Etude comparative entre le champ électrique et le champ magnétique</b> .....	<b>232</b>
<b>10 Exercices corrigés</b> .....	<b>233</b>
<b>CHAPITRE VII: ACTIONS MAGNETIQUES SUR DES CHARGES ET DES COURANTS</b> .....	<b>247</b>
<b>1 Force magnétique exercée sur une particule chargée</b> .....	<b>247</b>

1.1 Propriétés de la force magnétique.....	247
1.2 Trajectoire d'une particule chargée dans un champ magnétique.....	249
<b>2 Action de la force de Lorentz sur un conducteur fixe .....</b>	<b>250</b>
2.1 Force magnétique et force de Lorentz.....	250
2.2 Action de la force de Lorentz sur un conducteur fixe- effet Hall.....	251
<b>3 Action de la force de Lorentz sur un conducteur mobile .....</b>	<b>253</b>
3.1 Courant permanent dans un circuit.....	253
3.2. Force de Laplace.....	254
<b>4. Travail des forces de Laplace.....</b>	<b>260</b>
4.1 Travail d la force de Lorentz.....	260
4.2. Travail des forces de Laplace-théorème de Maxwell.....	261
4.3. Application au dipôle magnétique.....	267
<b>5. Exercices Corrigés.....</b>	<b>272</b>
<b>CHAPITRE VIII: INDUCTION ELECTROMAGNETIQUE ET ENERGIE.....</b>	<b>284</b>
<b>1 Approche expérimentale.....</b>	<b>284</b>
1.1 Champ uniforme et circuit déformable.....	284
1.2 Champ constant et circuit rigide mobile.....	285
1.3 Champ variable et circuit rigide et fixe.....	285
1.4 Loi de faraday.....	286
<b>2 Etablissement de la loi de Faraday-Flux coupé.....</b>	<b>286</b>
2.1 Flux coupé et f.é.m. induite.....	286
2.2 Loi de Lenz.....	288
<b>3 Cas d'un circuit rigide et immobile en présence d'un champ variable.....</b>	<b>289</b>
<b>4 Cas général : Circuit mobile et champ variable.....</b>	<b>291</b>
<b>5 Induction mutuelle et auto-induction.....</b>	<b>295</b>
5.1 Induction mutuelle.....	295
5.2 Auto-induction.....	296
5.3 Couplage magnétique.....	297
5.4 Relation induction mutuelle-auto-induction.....	299
<b>6 Energie magnétique.....</b>	<b>301</b>
6.1 Cas des circuits.....	302
6.2 Formulation en fonction des champs.....	308
<b>7. Exercices Corrigés.....</b>	<b>310</b>
<b>CHAPITRE IX: MILIEUX MAGNETIQUES.....</b>	<b>329</b>
<b>1 Description microscopique de l'aimantation.....</b>	<b>329</b>
1.1 Moment magnétique orbital de l'électron.....	330
1.2 Moment magnétique de spin.....	331
1.3 Moment magnétique total.....	332
<b>2 Description macroscopique de l'aimantation.....</b>	<b>333</b>
2.1 Vecteur aimantation.....	333
2.2 Contribution orbitale à l'aimantation.....	334
2.3 Contribution de spin à l'aimantation .....	334

<b>3 Classification des matériaux magnétiques.....</b>	<b>334</b>
3.1 Diamagnétisme –Aimantation induite.....	335
3.2 Paramagnétisme.....	337
3.3 Ferromagnétisme- Aimantation permenente.....	342
3.4 Antiferromagnétisme.....	346
3.5 Ferrimagnétisme.....	346
<b>4 Potentiel vecteur-champ magnétique- courants d’aimantation.....</b>	<b>347</b>
4.1 Potentiel vecteur et champ magnétique créés par un milieu aimantés.....	347
4.2 Densités de courants d’aimantation.....	348
4.3 Vecteur excitation magnétique.....	349
4.4 Relations de passage.....	350
4.5 Cas d’un matériau LHI.....	350
<b>5. Cas particuliers : milieux uniformément aimantés.....</b>	<b>352</b>
5.1 Potentiel vecteur.....	352
5.2 Expression du champ magnétique.....	353
<b>6. Energie magnétique d’un milieu aimanté.....</b>	<b>357</b>
6.1 Cas général.....	357
6.2 Cas particuliers des milieux LHI.....	357
<b>7. Force exercée sur un milieu aimanté.....</b>	<b>359</b>
7.1 Cas général.....	359
7.2 Cas particuliers des milieux LHI.....	359
<b>8. Aimantation permanente-Matériaux ferromagnétiques.....</b>	<b>360</b>
8.1 Courbe de première aimantation.....	360
8.2 Cycle d’hystérésis.....	360
<b>9. Exercices Corrigés.....</b>	<b>361</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>379</b>
<b>Constantes physiques.....</b>	<b>380</b>
<b>Index.....</b>	<b>381</b>