

Table des matières

Notations utilisées dans ce cours	2
Conventions utilisées dans ce cours	2
Références utilisées pour rédiger ce cours	2
Alphabet grec	3
I. Champ et potentiel électrostatiques	8
A. Introduction historique	8
1. Ambre, aimants et boussoles	8
2. Expériences de du Fay	8
3. Conducteurs, isolants et piles	9
4. Unification de l'électricité et du magnétisme	9
5. Révolution relativiste	10
B. Loi de Coulomb	10
1. Énoncé et propriétés	10
2. Neutralité électrique et forces de contact	10
3. Cas de charges mobiles (hors programme)	11
C. Champ électrostatique	11
D. Potentiel électrostatique	12
1. Préliminaires	12
a. Différentielle du carré d'une fonction vectorielle	12
b. Circulation d'une fonction vectorielle	12
2. Gradient d'une fonction scalaire de la position	13
3. Définition du potentiel	13
4. Propriétés du potentiel électrostatique	14
E. Équipotentiels et lignes de champ	14
1. Équipotentiels	14
2. Lignes et tubes de champ	15
3. Cas d'une charge ponctuelle	15
F. Distributions continues de charges	15
1. Expressions de \vec{E} et V	15
2. Application : sphère et boule uniformément chargées	16
a. Préliminaire : intégrale multiple d'une fonction à variables séparables sur un pavé droit	16
b. Sphère uniformément chargée	16
c. Boule uniformément chargée	17
G. Symétries et invariances en électrostatique	18
1. Définitions	18
a. Plans de symétrie et d'antisymétrie	18
i. Symétrie d'un vecteur	18
ii. Plan de symétrie	18
iii. Plan d'antisymétrie	18
b. Invariances	19
i. Invariance par translation	19
ii. Invariance par rotation	19
a. Rotation autour d'un axe	19
b. Rotation autour d'un point	19
c. Définitions communes (hors programme)	19
2. Symétries et invariances de \vec{E} et V	19
a. Symétries	19
b. Invariances	20
H. Énergie potentielle électrostatique	21
1. Charges discrètes	21
a. Énergie potentielle d'une charge dans un champ stationnaire	21
b. Énergie potentielle d'interaction entre deux charges ponctuelles	22
c. Énergie potentielle d'interaction entre n charges ponctuelles	22
2. Décomposition en sous-systèmes	23
Charges extérieures fixes les unes par rapport aux autres	24
3. Cas d'une distribution continue	24
II. Théorème de Gauss. Formulation locale de l'électrostatique	25

A.	Angles solides	25
1.	Rappel sur les angles plans	25
2.	Définition et propriétés des angles solides	25
B.	Forme intégrale du théorème de Gauss	26
1.	Flux. Énoncé du théorème de Gauss	26
2.	Application : distribution à symétrie sphérique	27
C.	Forme locale des équations de l'électrostatique	27
1.	Forme locale du théorème de Gauss	27
	“Fonction” δ (hors programme)	28
2.	Rotationnel de \vec{E} . Théorème de Helmholtz	28
	Théorème de Helmholtz	29
3.	Équations de Poisson et de Laplace	29
D.	Énergie électrostatique	29
E.	Relations de passage	30
1.	Composante normale de \vec{E}	30
2.	Composante tangentielle de \vec{E}	31
3.	Discontinuité de \vec{E} à la traversée d'une nappe de chargée	31
III.	Dipôles électrostatiques	32
A.	Potentiel et champ créés par un dipôle	32
1.	Potentiel	32
2.	Champ électrique	33
B.	Développement multipolaire du potentiel	33
1.	Développement à l'ordre 3 en $1/r$	33
a.	Cas où $Q_{\text{tot}} \neq 0$	33
b.	Cas où $Q_{\text{tot}} = 0$ et $\vec{p} \neq \vec{0}$	34
2.	Forme tensorielle du développement multipolaire (hors programme)	34
3.	Choix de l'origine	34
C.	Dipôles atomiques et moléculaires	35
1.	Dipôles permanents	35
2.	Dipôles induits	36
3.	Polarisabilité d'un milieu	36
D.	Actions exercées sur un dipôle	36
1.	Résultante des forces extérieures	36
a.	1 ^{re} expression	36
b.	2 ^e expression	37
2.	Moment total des forces extérieures	37
3.	Cas d'un dipôle permanent	38
a.	Équilibre et stabilité	38
b.	Énergie potentielle	38
c.	Excursion en mécanique du solide (hors programme)	38
	Expression de $d\vec{a}$	40
	Calcul de $\vec{F}_{\text{ext} \rightarrow D}$ et $\vec{\Gamma}_{\text{ext} \rightarrow D}^{(K_0)}$ à partir de $\mathcal{E}_p^{\text{ext}}(D)$	40
4.	Cas d'un dipôle induit	40
IV.	Conducteurs à l'équilibre	41
A.	Isolants et conducteurs. Métaux	41
B.	Propriétés des conducteurs à l'équilibre	41
1.	Propriétés générales	41
2.	Théorème de Coulomb. Pression électrostatique	42
3.	Notions de « terre » et de « masse » en électricité	43
4.	Effet de pointe	43
5.	Cavités dans les conducteurs	43
a.	Cavité vide de charges. Cage de Faraday	43
b.	Cavité contenant des charges	44
6.	Influence électrostatique. Théorème des éléments correspondants	44
7.	Théorème d'unicité (hors programme)	44
a.	Énoncé	44
b.	Application à un conducteur creux. Écran électrostatique	45
i.	Q_A et Q_B fixées	45

ii.	V_B imposé	45
c.	Méthode des images (hors programme)	46
8.	Théorème de superposition. Coefficients de capacité et d'influence	46
9.	Énergie d'un système de conducteurs	48
c.	Condensateurs	48
1.	Capacité	48
2.	Condensateur plan. Effets de bord	48
3.	Énergie d'un condensateur	49
4.	Association de deux condensateurs	49
a.	Condensateurs en série	49
b.	Condensateurs en parallèle	49
V.	Notions d'électrocinétique	50
A.	Densité de courant, intensité	50
B.	Conservation de la charge	51
C.	Approximation des régimes quasi stationnaires	52
1.	Intensité à travers une section de conducteur	52
2.	Loi des nœuds (1 ^{re} loi de Kirchhoff)	52
D.	Tension, intensité et puissance électrique	53
1.	Tension et intensité ; conventions générateur et récepteur	53
2.	Puissance électrique	53
3.	2 ^e loi de Kirchhoff, loi des mailles	54
E.	Conducteur ohmique	54
1.	Loi d'Ohm	54
2.	Loi de Joule	55
F.	Quelques dipôles usuels	55
1.	Condensateurs	56
2.	Loi d'Ohm généralisée	56
a.	Générateurs	57
b.	Bobine	57
3.	Association de résistances, de bobines	57
G.	Régime sinusoïdal	58
1.	Régimes transitoire et permanent	58
2.	Impédances complexes	58
a.	Impédances des résistances, bobines et capacités	58
b.	Association d'impédances	59
3.	Puissances	59
H.	AC/DC. Valeurs efficaces et crête à crête	59
VI.	Magnétostatique	61
A.	Loi de Biot et Savart	61
B.	Application : fil rectiligne infini parcouru par un courant	62
C.	Flux de \vec{B} , potentiel vecteur	62
D.	Symétries et invariances en magnétostatique	63
1.	Symétries	63
2.	Invariances	63
E.	Théorème d'Ampère	63
F.	Application : solénoïde infini	64
G.	Équations locales de la magnétostatique	65
1.	Forme locale du théorème d'Ampère. Équation de Poisson	65
2.	Lignes de champ en électrostatique et magnétostatique	66
3.	Relations de passage pour le champ magnétique	66
a.	Composante normale de \vec{B}	66
b.	Composante tangentielle de \vec{B}	67
c.	Discontinuité de \vec{B} à la traversée d'une nappe de courant	67
H.	Champ et potentiel créés par un dipôle magnétique	67
1.	Boucle fermée	67
2.	Distribution volumique localisée de courant	68
3.	Électro-aimants et aimants permanents	69

VII. Forces électromagnétiques	70
A. Force de Lorentz	70
1. Expression	70
2. Travail de la force magnétique	70
3. Application : mouvement d'une charge ponctuelle dans un champ magnétique uniforme stationnaire	70
4. Transformation des champs dans un changement de référentiels galiléens	71
B. Force de Laplace	72
1. Expression	72
2. Force d'interaction entre deux circuits rectilignes : ex-définition de l'ampère (hors programme)	72
3. Travail des forces exercées sur un conducteur	72
4. Énergie potentielle	73
C. Actions sur un dipôle magnétique	74
VIII. Induction électromagnétique	76
A. Cas de Lorentz	76
B. Cas de Neumann	77
1. Changement de référentiel	77
2. Équation de Maxwell-Faraday	78
C. Cas général	78
1. Champ électromoteur et force électromotrice d'induction	78
2. Loi de Faraday	79
3. Application : roue de Barlow	80
D. Inductances	80
1. Expressions générales et propriétés des inductances	80
2. Inductance propre d'un solénoïde	82
3. Transformateurs	82
E. Loi de Lenz	83
F. Énergie magnétique	83
IX. Équations de Maxwell. Ondes électromagnétiques	84
A. Équations de Maxwell	84
1. Courant de déplacement	84
2. Potentiels	85
3. Théorème de Poynting	87
B. Ondes électromagnétiques dans le vide	88
1. Équation des ondes électromagnétiques dans le vide	88
2. Ondes planes	88
a. Ondes planes progressives (OPP)	89
b. Ondes planes progressives monochromatiques (OPPM)	90
c. Notation complexe	91
d. Polarisation d'une OPPM	92
i. Polarisation rectiligne	93
ii. Polarisation elliptique	93
iii. Sens de rotation de \vec{E}	94
3. Ondes sphériques	95