

Table des matières

1. MÉCANIQUE LAGRANGIENNE	9
1.1. COORDONNÉES GÉNÉRALISÉES	9
1.2. PRINCIPE DE MOINDRE ACTION.....	11
1.3. ÉQUATIONS D'EULER-LAGRANGE	11
1.4. LIBERTÉ DE JAUGE.....	13
1.5. LAGRANGIEN D'UNE PARTICULE LIBRE.....	14
1.6. LAGRANGIEN DE PARTICULES SOUMISES À DES FORCES CONSERVATIVES.....	16
1.7. LE THÉORÈME DE NOETHER.....	22
1.8. VARIATION DE L'ACTION EN FONCTION DE LA POSITION FINALE	28
1.9. VARIATION DE L'ACTION EN FONCTION DE LA DURÉE DE LA TRAJECTOIRE.....	30
1.10. APPLICATION PRATIQUE : LE PROBLÈME À DEUX CORPS.....	31
2. RELATIVITÉ RESTREINTE.....	43
2.1. TRANSFORMATION DE LORENTZ	43
2.2. LOI RELATIVISTE DE COMPOSITION DES VITESSES.....	51
2.3. DE L'INTÉRÊT DES TENSEURS EN PHYSIQUE	53
2.4. PRODUIT SCALAIRE, MÉTRIQUE, ET DUALITÉ CONTRAVARIANT/COVARIANT.....	57
2.5. FORMES COVARIANTE, CONTRAVARIANTE ET MIXTE	60
2.6. TENSEUR DE LORENTZ	60
2.7. GÉOMÉTRIE DE L'ESPACE-TEMPS	61
2.8. TEMPS PROPRE	64
2.9. CINÉMATIQUE DANS L'ESPACE-TEMPS	67
2.10. ANALYSE VECTORIELLE DANS L'ESPACE-TEMPS	68
2.11. PRINCIPE DE MOINDRE ACTION RELATIVISTE	73
3. ÉLECTROMAGNÉTISME RELATIVISTE.....	83
3.1. TENSEUR DU CHAMP ÉLECTROMAGNÉTIQUE	83
3.2. ÉQUATIONS DE MAXWELL-THOMSON ET MAXWELL-FARADAY	88
3.3. ÉQUATIONS DE MAXWELL-AMPÈRE ET MAXWELL-GAUSS	90
3.4. LIBERTÉ DE JAUGE ÉLECTROMAGNÉTIQUE.....	94
3.5. POINT D'ÉTAPE	96
4. FORMULAIRE DE RELATIVITÉ RESTREINTE.....	97
4.1. ESPACE-TEMPS.....	97
4.2. MÉTRIQUE DE MINKOWSKI	97
4.3. TEMPS PROPRE ET INTERVALLE INFINITÉSIMAL D'ESPACE-TEMPS.....	98
4.4. CINÉMATIQUE RELATIVISTE.....	98
4.5. CAS PARTICULIER DES PHOTONS	99
5. RELATIVITÉ GÉNÉRALE : TOUT POUR LA MÉTRIQUE	103
5.1. LE PRINCIPE D'ÉQUIVALENCE.....	103
5.2. ÉQUATION GÉODÉSIQUE	104

6. ÉLÉMENTS DE GÉOMÉTRIE RIEMANNIENNE.....	111
6.1. NOTION DE CHAMP VECTORIEL.....	111
6.2. DÉRIVÉE DIRECTIONNELLE D'UN CHAMP VECTORIEL.....	112
6.3. TRANSPORT PARALLÈLE, CONNEXION, ET DÉRIVÉE DANS UN ESPACE COURBE	113
6.4. DÉRIVÉE DIRECTIONNELLE D'UN CHAMP TENSORIEL.....	115
6.5. CONNEXION DE LEVI-CIVITA ET SYMBOLES DE CHRISTOFFEL	117
6.6. DÉRIVÉE COVARIANTE.....	119
6.7. TENSEUR DE COURBURE DE RIEMANN	127
6.8. ÉQUIVALENCE ENTRE GRAVITATION ET COURBURE DE L'ESPACE-TEMPS	132
7. VOLUME, DENSITÉ ET FLUX DANS L'ESPACE-TEMPS.....	139
7.1. SURFACE DANS UN ESPACE À TROIS DIMENSIONS	139
7.2. 3-VOLUME DANS L'ESPACE-TEMPS À QUATRE DIMENSIONS	141
8. LE TENSEUR ÉNERGIE-IMPULSION.....	145
8.1. MOTIVATIONS	145
8.2. SIGNIFICATION DES COMPOSANTES	145
8.3. SYMÉTRIE.....	148
8.4. LOIS DE CONSERVATION DANS UN ESPACE PLAT	150
8.5. FORME COVARIANTE DES LOIS DE CONSERVATION.....	152
9. L'ÉQUATION D'EINSTEIN.....	153
9.1. ÉQUATION CLASSIQUE DU CHAMP GRAVITATIONNEL	153
9.2. CONSTRUCTION DE L'ÉQUATION D'EINSTEIN.....	156
9.3. DÉMONSTRATION.....	157
9.4. CALCUL DE LA CONSTANCE K	159
9.5. LE CHEF-D'ŒUVRE	166
9.6. L'ÉQUATION D'EINSTEIN DANS LE VIDE	166
9.7. L'ÉQUATION D'EINSTEIN COMME CONSÉQUENCE DU PRINCIPE DE MOINDRE ACTION	167
9.8. EXISTENCE D'ONDES GRAVITATIONNELLES	174
9.9. LIBERTÉ DE JAUGE : LA CONSTANCE COSMOLOGIQUE.....	176
10. SOLUTION DE SCHWARZSCHILD.....	179
10.1. ÉLABORATION DE LA MÉTRIQUE DE SCHWARZSCHILD	179
10.2. TRAJECTOIRE DES PARTICULES DE MASSE NON NULLE	184
10.3. TRAJECTOIRE DES PARTICULES DE MASSE NULLE	199
10.4. SINGULARITÉS ET TROUS NOIRS	204