

§ 21 <i>Champs de vecteurs.</i>	
Variables et dérivations - notation différentielle - crochets de Lie .....	151
§ 22 <i>Equations différentielles.</i>	
Équations différentielles sur une variété - exponentielle d'un champ de vecteurs - cas des champs différentiables - variations d'une équation différentielle - condition de commutation des exponentielles - formulaire (cas linéaire) .....	159
§ 23 <i>Dérivée de Lie.</i>	
Glissements infinitésimaux - dérivée de Lie d'un champ - champs invariants - cas des homomorphismes de racines - cas des champs à fibres vectorielles .....	172

## CHAPITRE V STRUCTURES DIFFÉRENTIELLES

§ 24 <i>Racines d'ordre 1.</i>	
Définition - racines triviales - champs de bases - représentation dans une base naturelle - pseudo-scalaires - indices - orientations - variétés orientées et orientables - densités - covecteurs - affineurs .....	183
§ 25 <i>Tenseurs.</i>	
Définition - composantes dans une base - produit tensoriel - symétries et caractères - image réciproque d'un tenseur covariant - image d'un tenseur contravariant - racines tensorielles - tenseurs invariants - opérateurs linéaires transformant les tenseurs en tenseurs - contractions - dérivée de Lie d'un champ de tenseurs .....	196
§ 26 <i>Algèbre extérieure.</i>	
$p$ -formes - jauges - formes non homogènes - produit intérieur et extérieur - multiplication extérieure - formulaire .....	221

§ 27 <i>Dérivation extérieure.</i>	
Champs de formes - dérivation extérieure - formulaire - expression de la dérivée de Lie à l'aide de la dérivée extérieure - dérivée extérieure d'une image réciproque, d'une image directe - théorème de Poincaré - réciproque - périodes d'une 1-forme fermée .....	231
§ 28 <i>Dérivation covariante.</i>	
Dérivation covariante dans un champ de bases - formulaire - torsion d'un champ de bases - connexions - torsion d'une connexion - racine des connexions - symboles de Christoffel - formulaire - champs de connexions - géodésiques - courbure - cas de la courbure nulle (groupe d'holonomie) - tenseur de Riemann-Christoffel .....	244
§ 29 <i>Espaces euclidiens.</i>	
Produit scalaire - transposition - changement de variance des tenseurs - orthogonalité - formes d'un espace euclidien - jauge euclidienne, multiplicateur - forme adjointe - groupe orthogonal - indice d'inertie - norme - cas des espaces hyperboliques normaux .....	265
§ 30 <i>Variétés riemanniennes.</i>	
Définition - densité et jauge riemanniennes - connexion riemannienne - vecteurs de Killing - divergence d'un tenseur - courbure riemannienne - laplacien d'une forme .....	279
§ 31 <i>Intégrales multiples.</i>	
$p$ -mesures - image d'une mesure - support - bord - intérieur - chaînes - homologie - changement de variables dans les intégrales multiples - formule de Stokes - dérivation des intégrales - pavés - intégrale d'une densité - densités sommables .....	291

## DEUXIÈME PARTIE : RELATIVITÉ

## CHAPITRE VI RELATIVITÉ GÉNÉRALE

- § 32 *A propos des principes de la physique.*  
Structure géométrique de l'univers - matière et champ - la physique dérive-t-elle d'un principe variationnel?... 315
- § 33 *Principes de la relativité générale.*  
Structure riemannienne, présence, principe variationnel - hypothèses de différentiabilité..... 320
- § 34 *Théorèmes généraux de la relativité.*  
Cartes spéciales - équations aux variations - théorèmes de conservation - tenseur d'énergie..... 328
- § 35 *La gravitation.*  
Hypothèse géométrique - présence de la gravitation - identité de la gravitation et de la connexion riemannienne - démonstration de l'équation d'Einstein..... 338
- § 36 *La matière parfaite.*  
Définition - lignes de courant - conformation - courant de matière - présence, équations et énergie de la matière parfaite - cas des fluides parfaits : densité, pression - écoulements irrotationnels des fluides homogènes - cas de la poussière - principe des géodésiques..... 345
- § 37 *La lumière.*  
Hypothèses géométriques - hypothèse de l'invariance de jauge - établissement des équations de Maxwell - calcul du tenseur d'énergie de la lumière - étude phénoménologique des interactions lumière-matière - conservation de l'électricité..... 355
- § 38 *Passage à la relativité restreinte.*  
Hypothèses globales en relativité générale - l'approximation de la relativité restreinte - recueil de Lorentz,

géométrie de la relativité restreinte (cas séparé et cas non séparé) - problème de la parité - champs en relativité restreinte..... 363

§ 39 *Passage à la physique classique.*

Espace et temps définis par un solide - décomposition électro-magnétique de la lumière - approximation classique de la matière parfaite : déduction de la théorie de l'élasticité et de la dynamique classique : masse, énergie, impulsion, moment cinétique, centre de gravité, déformation, contrainte - principe d'Hamilton - structure fibrée de l'espace-temps classique - équivalence relativiste de la masse et de l'énergie - interprétation classique de la gravitation : lois de Newton, effet Einstein, déviation des rayons lumineux..... 370

## CHAPITRE VII RELATIVITÉ A 5 DIMENSIONS

§ 40 *Principes et théorèmes généraux.*

Hypothèse d'un univers  $U$  ayant la dimension 5 et le groupe de Poincaré  $Z$  - revêtement universel de  $U$  - étude des glissements globaux, conjugaisons de charge..... 387

§ 41 *Approximations quadridimensionnelles.*

Passage à la relativité restreinte : interprétation du groupe de Lorentz, du groupe de jauge électromagnétique et des conjugaisons de charge ; problèmes d'orientation à 3, 4 et 5 dimensions - Approximation de Jordan-Thiry : cartes standard, représentations quadridimensionnelles des champs ; cas du champ riemannien, potentiel électromagnétique ; cartes transversales, invariants de jauge ; cas des connexions ; interprétation pentadimensionnelle de l'électricité et de la lumière ; approximation de Kaluza-Klein..... 390

§ 42 <i>Champ scalaire à 5 dimensions.</i> Équations du champ - interprétation quadridimensionnelle : déduction de l'équation de Klein-Gordon en présence du champ électromagnétique - <u>quantification de la charge électrique</u> - interprétation des conjugaisons de charge et des transformations de jauge.....	409
§ 43 <i>Espaces quaternioniques.</i> Corps des quaternions - espaces vectoriels quaternioniques - espaces euclidiens quaternioniques .....	414
§ 44 <i>Spineurs.</i> Algèbres d'opérateurs - structure des algèbres irréductibles - algèbres de Dirac et de Clifford - construction des algèbres de Dirac irréductibles - matrices de Pauli, Cayley, Dirac, Majorana - groupe de Clifford, représentation de spin .....	418
§ 45 <i>Equations de Dirac.</i> Dérivation covariante des spineurs - Laplacien d'un spineur - équation de Dirac à 5 dimensions - interprétation quadridimensionnelle - électrons et neutrinos ...	448
Note I : Monoïdes .....	465
Note II : Calcul du groupe de Poincaré .....	469
Note III : Particules vectorielles chargées.....	473
INDEX .....	479
NOTATIONS .....	509