

LES DÉFORMATIONS
DES MATÉRIAUX
DE L'ÉCORCE
TERRESTRE

M. MATTAUER



AL
E

idc1730

Hermann
Paris



Collection
Méthodes

GL 61

Maurice Mattauer

Les déformations des matériaux de l'écorce terrestre



IDC 1730

$\frac{1}{1}$



idc1730

Hermann
Paris



Collection
Méthodes

Table

Introduction	XV
1. Les modes d'observation et les moyens d'études des déformations de l'écorce	
1. L'observation des roches sédimentaires	3
2. L'observation de la morphologie du globe.....	6
3. L'observation de la structure intime des roches	8
4. Les différentes disciplines utilisées.....	10
4.1 L'étude des déformations actuelles ou récentes.....	10
4.2 L'étude des déformations anciennes	10
4.3 L'étude des mécanismes de la déformation	12
2. L'écorce terrestre	
1. Définitions.....	13
2. Les méthodes d'étude de l'écorce	14
3. Le moho et les différents types d'écorce	17
4. La croûte continentale	19
4.1 Zones continentales stables, sans reliefs importants	19
4.2 Chaînes de montagnes	21
5. La croûte océanique	21
5.1 Zones océaniques typiques	21
5.2 Rides médio-océaniques.....	22
5.3 Mers intérieures	22
6. La croûte intermédiaire	23
7. Conclusion sur la nature de l'écorce	24
8. Écorce actuelle et écorce ancienne	24
3. Les différents comportements de l'écorce	
Notions de plaque, de zones comprimées, étirées et soulevées, de coulissage	
1. Les plaques, ou zones non déformées	28
1.1 L'exemple de la plaque africaine	28

1.1.1 L'Afrique continentale.....	28
1.1.2 Les prolongements océaniques de la plaque africaine	28
1.1.3 Remarques sur le terme de plaque	30
1.2 Les huit grandes plaques de l'évolution récente de la Terre ...	31
2. Les différents types de déformation de l'écorce	33
2.1 Les zones raccourcies ou chaînes de montagne	34
2.2 Les zones étirées	34
2.3 Les mouvements verticaux	34
2.4 Les mouvements de coulissages.....	34
3. Les différentes modalités de la compression et de la distension	36
4. Le bilan général des déformations de l'écorce depuis 50 millions d'années	38

4. Notions de mécanique des roches

1. La notion de contrainte	42
1.1 L'état de contrainte des roches dans l'écorce	43
2. Les relations entre contrainte et déformation d'après les essais triaxiaux	46
2.1 Les différents types d'essais	46
2.2 Les courbes contrainte - déformation	48
2.3 Les courbes temps - déformation	49
2.4 Rappel de quelques définitions	50
2.5 Les modalités de la rupture	52
2.6 L'influence de la pression de confinement sur la déformation .	55
2.7 L'influence de la température sur la déformation	57
2.8 Le comportement des roches à des profondeurs croissantes ...	58
2.9 Influence des fluides d'imprégnation sur la déformation	59
2.10 Influence de l'anisotropie des roches sur leur déformation ...	60
2.11 L'influence de la contrainte, de la pression de confinement et de la température sur le fluage	61
3. L'étude expérimentale de quelques processus tectoniques	63
3.1 Les études qualitatives.....	65
3.2 Les études quantitatives	67
3.2.1 Étude de quelques expériences	70
3.2.1.1 Relations entre la viscosité des strates et la longueur d'onde des plis nés par flexion	70
3.2.1.2 Étude de structures nées par gravité	71
3.2.1.3 Formation de kink-bands	72

5. Définition des termes tectoniques de base

1. Les failles	74
1.1 Géométrie des failles	74
1.2 Nomenclature des failles	76
1.2.1 Cas simplifié ou les couches restent horizontales	76
1.2.1.1 Définition sur une faille	76
1.2.1.2 Définitions sur deux failles conjuguées	78
1.2.1.3 Définition sur un champ de failles	79
1.2.2 Cas où les couches ne restent pas horizontales	80
1.2.2.1 Cas complexes	82
1.3 Mode de représentation des failles	82
2. Les joints	83
3. Les plis et la déformation continue	85
3.1 Définitions à l'aide d'une seule surface de référence.....	85
3.2 Définitions à l'aide de plusieurs surfaces de référence	88
3.3 Définitions tenant compte de l'allure générale des plis.....	95
3.4 Mode de représentation des plis	97
4. Définitions de quelques « transformations » tectoniques	98
4.1 La translation	98
4.2 La rotation.....	98
4.3 La déformation proprement dite.....	99
4.3.1 La déformation pure ou aplatissement	99
4.3.2 La déformation par cisaillement simple ou glissement simple.	102
4.3.3 L'aplatissement rotationnel.....	102
4.3.4 Cas général	102
5. Caractères géométriques et éléments de symétrie des édifices structuraux .	103

6. La distension

1. La distension à l'échelle du globe	107
1.1 La distension dans les plaques continentales	109
1.1.1 La distension récente dans la plaque africaine	109
1.1.2 La distension récente en Europe occidentale	116
1.1.3 Quelques exemples de distension ancienne	118
1.2 La distension dans les plaques océaniques	119
1.2.1 Morphologie nature et structure des rides médio-océanique .	120
1.2.2 Les anomalies magnétiques liées aux rides et le mécanisme général de formation des rides	121

1.2.3 Le problème des décrochements océaniques ou « transform faults »	126
1.2.4 L'explication de l'allure générale des rides	129
1.2.5 Le bilan général de la distension des zones océaniques depuis 100 millions d'années	130
1.2.5.1 Le principe des reconstitutions	130
1.2.5.2 L'évolution de l'océan Atlantique	132
1.2.5.3 L'évolution de l'océan Indien et du Pacifique	136
1.2.6 Conclusions sur la distension récente dans les zones océaniques	140
1.2.7 La distension dans les zones océaniques avant 200 millions d'années	140
2. La distension dans les chaînes de montagne	140
3. La distension à l'échelle régionale	142
3.1 Les différents types de structures de distension	142
3.2 Description des fossés cénozoïques de l'ouest européen	142
3.3 Un exemple de failles de distension à stries obliques	146
3.4 Allure de la distension sur une ride-océanique ; exemple de l'Islande	146
3.5 Quelques cas de distension localisée	149
3.6 Sur l'allure et le pendage des failles normales	150
3.7 L'évolution des failles	152
3.7.1 Failles contemporaines de la sédimentation	152
3.7.2 Failles à rejeux successifs	153
3.7.3 Failles normales replissées	155
3.7.4 Sur l'âge des failles normales	155
3.7.5 Sur quelques anomalies	155

7. La compression à l'échelle du globe

Inventaire et allure générale des différentes chaînes de montagnes de l'histoire du globe

1. Les chaînes récentes ou « alpines »	157
1.1 Considérations générales	159
1.1.1 A l'échelle des grandes plaques	159
1.1.2 A l'échelle du millier de km	159
1.1.2.1 Les chaînes préripacifiques	159
1.1.2.2 Les chaînes bicontinentales	160
1.1.2.3 En résumé	161
1.2 Les différents stades de l'évolution de la chaîne alpine	162

1.2.1 Une phase de sédimentation	162
1.2.2 Plusieurs phases de compression	162
1.2.3 Une phase de destruction	163
1.3 Le style de la déformation alpine	163
2. Les chaînes anciennes	165
2.1 La chaîne hercynienne	165
2.2 La chaîne calédonienne	167
2.3 Les chaînes précambriennes	168
3. Conclusion	169

8. L'évolution type d'un segment de chaîne

1. A propos de la nature de l'écorce sur laquelle s'installe une chaîne	172
2. La phase de sédimentation ou « géosynclinale »	173
2.1 Forme et dimensions du « géosynclinal »	174
2.2 Mode de formation du « géosynclinal »	174
2.3 Épaisseur et faciès des sédiments géosynclinaux	175
2.4 Durée de la phase géosynclinale	176
3. La phase de plissement ou de tectogenèse	176
4. La phase de réajustement isostatique	178
5. Sur les mécanismes de formation d'une chaîne	180

9. La notion de niveau structural

1. Les principes de définition des niveaux structuraux	181
2. Définition du niveau structural supérieur, moyen et inférieur	185
3. Allure des niveaux structuraux	187
3.1 A l'échelle régionale	187
3.2 A l'échelle de la chaîne	189
3.3 Niveaux structuraux et tectoniques superposés	192

10. Les failles de compression

Les conditions d'existence des failles	193
L'allure des failles	194
Le pendage des failles inverses	196

1. Les failles inverses et les chevauchements.....	200
1.1 A l'échelle de la chaîne	200
1.2 A l'échelle régionale	203
2. Les décrochements	212
2.1 Relations avec les champs de contrainte et de déformation	213
2.2 Étude de quelques grands décrochements	215
2.3 Études de quelques décrochements d'échelle régionale	222
2.3.1 Décrochements de faibles rejets dans les avant-pays de chaînes	222
2.3.2 Décrochements associés à des plis	223
2.3.3 Les décrochements du Jura	224
2.3.4 Les décrochements du Languedoc	225

11. Les différents types de plis

1. Le pli par flexion et glissement, ou pli isopaque	227
1.1 Étude de la déformation d'une strate	229
1.1.1 La déformation continue	229
1.1.2 La déformation discontinue	231
1.2 Étude de la déformation dans un empilement de strates	233
1.2.1 Allure générale du plissement	233
1.2.2 Allure des failles.....	240
1.3 Pli isopaque et raccourcissement.....	241
2. Le pli par aplatissement	241
2.1 Les différentes modalités de l'aplatissement	242
2.2 Géométrie du pli d'aplatissement	245
2.3 Pli d'aplatissement et raccourcissement	248
3. Le pli par écoulement	249
3.1 Allure de la déformation	250
3.2 Géométrie du plissement.....	250
3.3 Les conditions physiques du pli d'écoulement	252
4. Le pli par flexion et cisaillement	253
5. Le pli par flexion et aplatissement	253
5.1 La flexion précède l'aplatissement	253
5.2 La flexion est contemporaine de l'aplatissement	256
6. Le knick et le pli en chevron	257
6.1 Le mécanisme du knick	259
6.2 Le mécanisme du pli en chevron	260
6.3 L'allure générale des knicks.....	263

12. Les structures superficielles

Le rôle de la gravité et les nappes de glissements

1. Les caractéristiques des structures superficielles	266
1.1 Cas des surfaces topographiques aériennes.....	266
1.2 Cas des surfaces sous-aquatiques	269
2. Les structures dues à la gravité. Cas des nappes de glissement	272
2.1 Généralités	272
2.2 Étude des nappes de glissement	276
2.2.1 Leur localisation dans les chaînes	276
2.2.2 Les conditions lithologiques du glissement.....	276
2.2.3 Le problème de la pente	278
2.2.4 Les relations entre les nappes de glissement et la tectonique de compression	279
2.2.5 La structure des nappes de glissements olistolithes et olistostromes	281
2.2.6 Les nappes de glissement d'Afrique du Nord.....	284

13. Les plis isopagues du niveau structural moyen

1. Mise en place générale	289
2. Les différents degrés d'évolution des plis isopagues.....	293
3. Étude de quelques exemples	294
3.1 Les plis du Jura	294
3.2 Les chaînes subalpines.....	299
3.3 L'avant-pays plissé de la chaîne des Pyrénées	302
3.4 Les plis du domaine atlasique en Afrique du Nord	303
3.5 L'avant-pays plissé des chaînes alpines du Moyen-Orient	305

14. Les plis anisopagues du niveau structural inférieur

Mise en place générale

1. Les différentes subdivisions du niveau structural inférieur	308
2. Les plis des zones à schistosité redressée	312
2.1 Le Massif schisteux rhénan et les massifs hercyniens d'Allemagne	312
2.2 Le Caucase.....	314
2.3 L'Iglesiente en Sardaigne	314
2.4 L'Hercynien de Galice	315
2.5 Les phases tardives de l'hercynien du sud de la France	317
2.6 La schistosité verticale dans la chaîne des Pyrénées	317
2.7 Schistosités verticales liées à des décrochements	318

3. Les plis des zones à schistosité inclinée	319
4. Les plis des zones à schistosité subhorizontale	321
4.1 Les nappes hercyniennes de la Montagne Noire	324
4.2 Les structures hercyniennes des Cévennes	325
4.3 La nappe hercynienne du Canigou	326
4.4 Les zones internes des Alpes	330
4.5 La chaîne calédonienne en Écosse	333
4.6 La chaîne du Précambrien supérieur du Hoggar	334
5. Les plis du domaine de l'écoulement	336
5.1 Les nappes penniques de la zone interne des Alpes	337
5.2 Les nappes précambriennes de Norvège méridionale	338
5.3 Les plis d'écoulement des Calédonides du Groenland	340

15. La microtectonique

Définitions	341
Les méthodes de la microtectonique	341
1. L'analyse microtectonique des cassures	342
1.1 La détermination du sens de déplacement	342
1.1.1 Cas de cassures planes	343
1.1.2 Cas de cassures non planes	346
1.1.3 Cas complexes	347
1.2 La détermination de la direction de raccourcissement et les stylo- lithes	347
1.3 La détermination de la direction d'allongement et les fentes ...	353
1.4 L'interprétation d'ensemble de la déformation discontinue	357
1.5 L'étude des joints	360
1.6 L'étude des cassures des plis isopaques	361
2. La microtectonique des zones à schistosité	362
2.1 La schistosité	362
2.1.1 Définitions	362
2.1.2 La schistosité de flux	366
2.1.3 La foliation	368
2.1.4 La schistosité de fracture	371
2.1.5 La schistosité de pli-fracture et de crénulation	372
2.1.6 Les relations entre les différents types de schistosité.....	372
2.2 Les linéations.....	377
2.2.1 Les linéations d'intersection	377
2.2.2 Les linéations d'allongement	377

2.2.3 Les linéations minérales	380
2.2.4 Les linéations de microplissement ou de crénulation	382
2.3 Les microplis	382
2.4 Les relations entre schistosité, linéation et plissement	383
2.4.1 Allure générale d'un pli synschisteux	383
2.4.2 Allure de la linéation d'allongement dans un pli	385
2.4.3 L'allure de détail de la schistosité de fracture et des éventails de schistosité	386
2.4.4 La géométrie de détail des plis synschisteux	387
2.4.4.1 Un exemple de combinaison entre flexion et aplatissement	388
2.4.4.2 Complications dues à la rupture	389
2.5 Les règles d'utilisation de la schistosité de la linéation et des microplis	390
2.5.1 Cas d'une seule phase tectonique	390
2.5.2 Cas de plusieurs phases tectoniques superposées	393
2.5.2.1 Cas de deux phases	393
2.5.2.2 Cas de plus de 2 phases tectoniques	398
2.6 Considérations pratiques dans le cas de tectoniques superposées ..	399

16. Les mouvements verticaux ou la tectonique à composante verticale

Les différents types de mouvements verticaux

1. Les mouvements verticaux vrais dans les plaques continentales	404
Cas particuliers des mouvements verticaux dus à l'établissement ou à la fonte d'une calotte glaciaire.....	407
2. Les mouvements verticaux liés à la formation des rifts	408
3. Les mouvements verticaux dus au réajustement isostatique des chaînes de montagne.....	410
4. La subsidence dans les sillons sédimentaires	412
5. Les mouvements verticaux conséquence directe du plissement.....	414
6. Les mouvements verticaux dus à des causes locales	416

17. Étude de quelques caractères structuraux des chaînes de montagnes

1. Dimension et forme générale d'une chaîne	419
Applications aux chaînes de l'Europe occidentale	420
2. Direction et sens de déversement des structures d'une chaîne	423
3. Style tectonique	426

TABLE

3.1	Style tectonique et niveau structural	426
3.2	Style tectonique et lithologie	427
3.2.1	La tectonique de couverture	428
3.2.2	La tectonique de socle	429
4.	La notion de phase tectonique ou de phase de compression	430
4.1	Définition	431
4.2	Les phases de compression dans les niveaux structuraux moyens et supérieurs	431
4.3	Les phases de compression dans le niveau structural inférieur ..	434
4.4	Conclusions aux études faites dans l'infra et la superstructure ..	436
5.	Le métamorphisme général des chaînes	437
5.1	Rappel de quelques caractères du métamorphisme général	437
5.2	La liaison entre tectonique et anomalies thermiques responsables du métamorphisme	439
5.3	Les rapports entre les isogrades du métamorphisme et les structures tectoniques	442
5.4	Conclusions	442
6.	L'histoire anté-plissement d'une chaîne : la notion de géosynclinal ..	443
	Quelques caractères des géosynclinaux	444
7.	Les différents événements de l'évolution d'une chaîne	450
7.1	Le plutonisme	450
7.2	Le stade des molasses syn ou post tectoniques	451
7.3	Le volcanisme post tectonique lié aux mouvements verticaux... ..	451
7.4	Conclusion	452
 18. L'évolution tectonique du globe et ses mécanismes		
1.	Sur l'échelle des phénomènes	453
2.	L'état actuel de nos connaissances	454
2.1	Considérations générales	454
2.2	Considérations sur les mécanismes	455
2.2.1	Les notions de lithosphère et de tectonique de plaques ..	455
2.2.2	La notion d'asthénosphère	464
2.2.3	La formation des chaînes	466
2.2.4	Conclusion	468
3.	Les notions qui restent à préciser	468
	En guise de conclusion	478
BIBLIOGRAPHIE		481
INDEX		489

Dans l'esprit d'une explication logique et unitaire des phénomènes fondamentaux de la géologie, ce livre est une mise au point générale sur la *tectonique* qui insiste moins sur l'aspect descriptif et régional traditionnel que sur les méthodes et les problèmes des sciences de la terre. Qu'elle affecte les strates fossilifères ou se rencontre dans les parties très profondes de l'écorce terrestre, la déformation est étudiée sous toutes ses formes et à toutes les échelles, de celle de l'échantillon à celle du continent.

Directement issue de la réforme de l'enseignement, la collection *Méthodes* offre à l'étudiant et au chercheur des livres nouveaux.

Les auteurs de cette collection ont la double vocation de chercheurs et d'enseignants ; aussi leurs livres donnent-ils l'exposé le plus à jour des questions traitées, avec une présentation pédagogique expérimentée et attrayante. Cette synthèse permet au lecteur, dans chaque discipline et à chaque niveau, d'accéder aux stades les plus avancés de la connaissance en percevant l'ensemble du sujet de façon claire et en étant informé des développements en cours.

*Les méthodes sont les habitudes de l'esprit
et les économies de la mémoire.*

Rivarol

