

PROCÈS-VERBAUX

DE LA

SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE

DE PALÉONTOLOGIE & D'HYDROLOGIE

(BRUXELLES)

ANNÉE 1892

TOME VI

PRIX : 10 FRANCS

BRUXELLES

POLLEUNIS ET CEUTERICK, IMPRIMEURS

37, RUE DES URSULINES, 37

1892-1893

PROCÈS-VERBAUX

DE LA

SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE

DE PALÉONTOLOGIE & D'HYDROLOGIE

(BRUXELLES)

TOME VI

1892

BRUXELLES

POLLEUNIS ET CEUTERICK, IMPRIMEURS

37, RUE DES URSULINES, 37

PROCÈS-VERBAUX

DE LA

SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE

DE PALÉONTOLOGIE ET D'HYDROLOGIE

A

BRUXELLES

Tome VI. - Année 1892

SÉANCE MENSUELLE DU 26 JANVIER 1892.

Présidence de M. E. Dupont.

La séance est ouverte à 8 heures trois quarts.

Correspondance.

Les nouveaux membres du Bureau et du Conseil remercient la Société de leur nomination.

MM. G. Charlet, A. Harou et A. Pierard adressent leur démission de membre effectif. (*Accepté.*)

La Société : *Naturforschende Gesellschaft* de Zurich demande l'échange des publications. (*Renvoyé au Bureau.*)

Le laboratoire de géologie de la *Faculté des Sciences de Grenoble*, envoie à la Société une quinzaine de photographies représentant des phénomènes géologiques et des aspects physiques de l'Isère, de la Savoie et du Var. (*Remerciements.*)

La famille du Dr *Ferd. Roemer*, membre honoraire de la Société, annonce le décès du savant Professeur de l'Université de Breslau. — Une lettre de condoléances sera adressée à la famille.

Dons et envois reçus.

De la part des auteurs.

- 1580 **Carez (L.)**. *Sur l'âge des couches qui entourent la source de la Sals (Aude)*. Extr. in-8°, 3 pages. Paris, 1891.
- 1581 — *Sur quelques points de la Géologie des Corbières*. Extr. in-8°, 10 pages, Paris, 1891.
- 1582 — *Revue annuelle de Géologie*. Extr. in-4°, 9 pages. Paris, 1891.
- 1583 **Choffat (Paul)**. *Memorias de Carlos Ribeiro sobre os terrenos mesozoicos do districto de Leiria e suas visinhanças, com uma introduccão, reflexões criticas e annotacões*. Extr. in-8°, 80 pages.
- 1584 **Duhourcau (Le Dr E.)**. *Étude sur le climat de Pau et du Sud-Ouest français*. Extr. in-8°, 24 pages et 1 tableau. Toulouse, 1891.
- 1585 **Félix (Dr Jules)**. *Rapport sur le Congrès international d'Hygiène et de Démographie de Londres*. Br. in-8°, 28 pages. Bruxelles, 1891.
- 1586 **Gaudry (Albert)**. *Quelques remarques sur les Mastodontes, à propos de l'animal du Cherichira*. Extr. g^d in-4°, 6 pages, 2 pl. Paris, 1891.
- 1587 **Kilian (W.)**. *Notes sur l'histoire et la structure des chaînes alpines de la Maurienne, du Briançonnais et des régions adjacentes*. Extr. in-8°, 91 pages. Lille, 1891.
- 1588 **Lang (Otto)**. *Versuch einer Ordnung der Eruptivgesteine nach ihrem chemischen Bestande*. Extr. in-8°, 53 pages. Wien.
- 1589 **Stapff (Dr F. M.)**. *Remarks on Prof. Bonney's Paper "On the Crystalline Schists and their Relation to the Mesozoic Rocks in the Lepontine Alps"*. Extr. in-8°, 14 pages. Londres, 1892.
- 1590 — *Geologisches aus Spanien*. Extr. in-4°, 2 pages. Berlin, 1891.
- 1591 — *Pilotknob und benachbarte Eisenerzlagerstätten in Missouri*. Extr. in-8°, 8 pages, 1 pl. Berlin, 1891.

Tirés à part extraits du Bulletin de la Société.

- 1592 **Rutot (A.)** et **Van den Broeck (E.)**. *Matériaux pour servir à la connaissance de la composition chimique des Eaux Arté-*

siennes du sous-sol de la Belgique dans leurs rapports avec les couches géologiques qui les renferment. 2 exemplaires.

- 1593 **Sacco (F.)**. *L'âge des Formations Ophiolitiques récentes.* 2 exemplaires.
- 1594 **Van Cappelle (Dr H.)**. *Sur les rapports du Diluvium entremêlé avec le Diluvium Scandinave de Staring et sur un Diluvium entremêlé dans la Drenthe centrale (province de Hollande).* 2 exemplaires.
- 1595 **Van den Broeck (E.)**. *Les sources de Modave et le projet du Hoyoux considérés aux points de vue Géologique et Hydrologique.* 2 exemplaires.

Périodiques nouveaux offerts en échange :

- 1596 *Bulletin de la Société de Géographie de Finlande.* Fennia. 4. Helsingfors, 1891.
- 1597 *Bulletin of the Geological Society of America.* Vol. I et II. New-York.
- 1598 *Pamiętnik Akademii Umiejętności w Krakowie.* Matematyczno-Przyrodniczy, t. XVII, 1891, in-4°.
- 1599 *Rozprawy* ibid. Serya II, t. I, 1891, in-8°.
- 1600 *Sprawozdanie Komisji Fizyograficznej.* Ibid., t. XXV, 1890, in-8°.
- 1601 *Australian Museum. Report for the Year 1890.* Br. in-f°.
- 1602 *Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zurich,* 63^e année, 1891, in-8°.

Périodiques en continuation :

Annales de la Société d'Hydrologie médicale de Paris, de la Société Géologique du Nord à Lille, des KK. Naturhistorischen Hofmuseums in Wien; Annuaire de l'Académie Royale des Sciences de Belgique; Bulletins de la Société Royale de Géographie d'Anvers, de la Société royale belge de Géographie de Bruxelles, de la Société belge de Microscopie, de l'Académie royale des Sciences de Belgique, de la Société géologique de France, de la Société géologique de Normandie, du Geological Survey of Missouri, météorologique quotidien de l'Observatoire royal de Bruxelles, quotidien de l'Office météorologique de Rome; Ciel et Terre; Feuille des Jeunes Naturalistes; Proceedings and Transactions of the Nova Scotian Institut of Natural Science of Halifax; Revue Universelle des Mines; Transactions of the New-York Academy of Sciences; Verhandlungen der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin.

Présentation de nouveaux membres.

Sont présentés en qualité de membres effectifs :

MM. Victor BESMES, Inspecteur Voyer, 31-34, rue Jourdan, à Saint-Gilles.

Alfred ISBECQUE, Ingénieur principal des chemins de fer de l'État, à Tournai.

Élection de nouveaux membres.

Sont élus, par le vote de l'Assemblée, en qualité de membres effectifs :

MM. Aubert BILLOWEZ, Directeur-adjoint à l'Usine à Gaz de Tournai, 72, rue du Viaduc, à Ixelles.

Émile COLLETTE, Conducteur des Ponts-et-Chaussées, 79, rue Saint-Martin, à Tournai.

Eugène CUVELIER, Capitaine du génie, Professeur à l'École militaire, 50, rue du Conseil, à Ixelles.

André DELOBE, Pharmacien, à Tournai.

Communications des membres.

1^o M. le Dr *Jacques*, délégué de la Société, fait, en l'absence de M. A. *Rutot*, connaître les décisions prises par la réunion des délégués des Sociétés affiliées à la Fédération archéologique et historique de Belgique.

Le 10 janvier les délégués se sont réunis et ont décidé qu'il y avait lieu de reviser les statuts de la Fédération. On avait proposé de remplacer les Bureaux successifs par un Bureau permanent, ce que la réunion des délégués n'a pas admis. Il a été décidé d'insister auprès des Sociétés fédérées pour que leurs délégués aient pleins pouvoirs et soient ainsi appelés à jouer un zèle plus effectif. Le prochain Congrès aura lieu à Anvers et sera organisé par l'Académie d'Anvers et par la Société de Géographie d'Anvers. Enfin la biennialité des Congrès a été admise en principe, mais en présence des adhésions actuelles des villes désireuses d'organiser les Congrès suivants le principe ne sera pas encore appliqué.

2° M. Ed. Dupont fait la communication suivante :

TROISIÈME COMMUNICATION

SUR

L'EXCURSION DE LA SOCIÉTÉ DANS LE CALCAIRE CARBONIFÈRE EN 1891

PAR

M. E. Dupont,

Président de la Société.

Les lacunes stratigraphiques (1).

Le Calcaire carbonifère, ainsi que nous l'avons rappelé dans la séance de novembre dernier, se divise, d'après les origines organiques de ses roches, en trois groupes stratigraphiques successifs, et une faune conchyliologique spéciale se trouve dans chacun d'eux.

Le groupe inférieur ou tournaisien, dont tout le calcaire est crinoïdique, est toujours stratifié; le groupe supérieur ou viséen, formé par des calcaires amorphes avec des organismes divers, l'est également, sauf quelques exceptions, que nous pouvons négliger ici.

L'étude de ces puissants paquets de couches ne soulève d'ordinaire aucune difficulté. La succession des couches s'y établit aisément; elle est dans son ensemble d'une remarquable constance; les changements de facies s'y présentent rarement, sont de peu d'importance et n'arrêtent guère le géologue.

Il n'en est pas de même pour le groupe moyen ou waulsortien. Tout y est anomalies et irrégularités, comme dans les régions frasniennees, au point que les dépôts viséens, par dérogation à leur règle, ont, lorsqu'ils le bordent, souvent soulevé des problèmes stratigraphiques qu'un très long travail peut seul résoudre.

Une grande partie des calcaires du Waulsortien est massive et coralligène; l'autre est stratifiée et formée ou de détritüs coralliens ou de fragments de crinoïdes.

(1) Voir les communications précédentes p. 164 et p. 180 des Procès-Verbaux du Tome V, relatives aux origines et aux faunes du même terrain.

Ce calcaire coralligène avec ses amas détritiques, et le calcaire à crinoïdes waulsortiens sont-ils réunis sur un point, leurs allures et relations stratigraphiques présentent les mêmes complications que les calcaires coralligènes et schistes frasniens. Sont-ils séparés, ils présentent le phénomène, si aberrant et longtemps énigmatique, des lacunes stratigraphiques que les régions frasniennes mettent moins en évidence par suite de leurs faibles dislocations.

Or ce phénomène des lacunes nous apparaît aujourd'hui comme la conséquence directe des actions coralligènes. Sans lui, les manifestations coralliennes de nos époques paléozoïques eussent été, par l'un de leurs caractères fondamentaux, différentes des manifestations coralliennes actuelles. Il vient, au contraire, compléter la démonstration de l'étroite concordance des lois qui les ont constamment régies au cours des temps.

L'une des conditions essentielles de la formation des récifs coralligènes de nos jours est l'existence de profondeurs très restreintes dans la mer, c'est-à-dire de collines et protubérances sous-marines atteignant le voisinage de la surface des eaux. Dans les régions coralliennes, cette condition étant réalisée, les coraux élèvent des récifs sur le sommet de ces collines et protubérances, mais ils laissent libres les bas-fonds environnants qui se trouvent au-dessous de la zone de construction et où se déposent des sédiments.

Ces dispositions existaient dans notre bassin, quand s'ouvrit l'ère corallienne du calcaire carbonifère et elles se manifestent à nous sous la forme de lacunes stratigraphiques.

Le long de l'ancienne côte méridionale de la mer de ce temps, sur une distance est-ouest de plus de 60 kilomètres, on constate de nombreuses rangées frangeantes de roches coralligènes waulsortiennes, avec les dispositions suivantes :

Elles reposent sur les calcaires tournaisiens et enveloppent les masses isolées de ceux-ci ;

Elles sont découpées en amas, rappelant les configurations frasniennes, par des couches stratifiées de calcaire à crinoïdes où les rares fossiles déterminables rencontrés sont waulsortiens à leur tour ; ce calcaire stratifié y a donc la même fonction que les schistes isolant les récifs frasniens ;

Enfin, quand les intervalles entre les rangées de récifs waulsortiens sont larges et profonds, ils sont en outre comblés par les calcaires viséens. C'est ce que nous avons observé entre Waulsort et Freyr.

Mais bientôt, la distance de la côte augmentant, un nouvel ordre de choses apparaît.

Les calcaires coralligènes waulsortiens, au lieu de rester en longues rangées placées bout à bout et souvent redoublées, se montrent en amas isolés et interrompus, enveloppés dans les couches viséennes, comme les récifs frasniens sont enveloppés par les schistes de Matagne.

En raison de ce que les dislocations ont été, dans cette localité carbonifère, beaucoup plus violentes que dans la région frasnienne à laquelle nous la comparons, les dépôts qui s'y sont formés dans les profondeurs ont été ramenés au jour, et nous voyons alors que les amas coralligènes waulsortiens y font absolument défaut.

Nous l'avons bien constaté dans les deux points où ce fait peut le mieux s'étudier : au Rocher Bayard et au Rocher du bastion, près de Dinant. Il devient de plus en plus général, lorsqu'on s'avance dans le bassin.

Les amas coralligènes y sont peu étendus, rares et sporadiques, tandis que, ramené à maintes reprises des profondeurs par de grands plissements, le Tournaisien, par opposition avec ce que nous voyions dans la région de la côte, passe, dans presque tous ses contacts, au Viséen, sans interposition de ce calcaire coralligène. C'est le caractère saillant de cette partie du bassin.

Lorsqu'on peut déterminer exactement l'âge des couches de passage, et c'est ce qui fait l'intérêt des deux points dont il vient d'être question, on constate qu'elles sont du calcaire à crinoïdes waulsortien, reposant sur la série complète et normale des calcaires et schistes tournaisiens.

Or les crinoïdes, aptes, comme on le sait, à croître à de grandes profondeurs et constituant du reste encore ici des dépôts par leurs débris, pouvaient former des couches dans des fonds d'où les constructions coralliennes étaient strictement bannies.

Par le fait, ces lacunes stratigraphiques du calcaire coralligène waulsortien et le remplacement immédiat de celui-ci par du calcaire à crinoïdes contemporain et bien distinct du calcaire à crinoïdes tournaisien, démontrent que les coraux constructeurs carbonifères étaient assujettis à la loi bathymétrique de notre propre époque, et nos formations coralligènes paléozoïques, déjà pourvues de leurs traits fondamentaux sur la limpidité des eaux et sur la température de la mer, reçoivent leur dernier attribut essentiel, celui d'une zone de construction restreinte en profondeur.

Cette question, l'une des plus curieuses de notre série géologique, a été traitée en détail et avec de nombreux commentaires dans l'*Explication* de la feuille de Dinant au 20,000^e (1882) pour la région même visitée par la Société. Elle sera du reste reprise, avec un complément de faits à l'appui, dans les mémoires de la Société.

M. *Dupont* termine cette communication en figurant la coupe de Pierre-Pétru, sur la Meuse près d'Hastièrre et celle des Fossés, près du confluent de La Lesse.

Il fait remarquer que ces deux coupes ont reçu récemment une autre interprétation, qui s'écarte considérablement de tous les faits admis jusqu'à ce jour sur le Calcaire carbonifère. C'est ce qui en fait le principal intérêt, car il est toujours curieux de constater combien des dispositions stratigraphiques, fort nettes et faciles à observer, peuvent être comprises différemment.

M. *Rutot* propose à la Société de décider qu'elle se rendra à Pierre-Pétru et aux Fossés pour étudier les coupes en question.

Cette proposition est adoptée.

3^o M. *L. Dollo* fait une communication orale, accompagnée de figures au tableau, dont il envoie le résumé ci-après :

L. DOLLO. Sur un nouveau type de Dinosaurien.

L'auteur appelle l'attention de la Société sur les récentes découvertes du Professeur O. C. Marsh, de Yale College, New-Haven (États-Unis).

Il s'efforce, d'abord, de donner une idée de ce que sont les Dinosauriens en général.

I. — Les Dinosauriens sont des Reptiles, pour la plupart gigantesques, aujourd'hui complètement éteints et qui vécurent durant les temps mésozoïques.

II. — Ces animaux sont particulièrement intéressants parce qu'ils jouèrent, pendant l'époque secondaire, le rôle dévolu aux grands Mammifères aux époques tertiaire et actuelle.

III. — Les Dinosauriens méritent encore une attention toute spéciale à ce point de vue : c'est dans leurs formes minuscules qu'il faut chercher les ancêtres des Oiseaux.

IV. — Il y a cinq types principaux de Dinosauriens : Les Sauro-podes, les Ornithopodes, les Stégosauriens, les Cératopsiens et les Théropodes.

V. — Les *Sauropodes*, ou Dinosauriens aux pieds de lézard, ont un prémaxillaire denté. Leurs dents sont spatuliformes, avec bords antérieur et postérieur tranchants, mais non dentelés. Leurs narines sont allongées. Leurs vertèbres cervicales sont opisthocœles ; leurs

dorsales, amphicoèles. Les centres de ces dernières sont munis de vastes excavations latérales. Les os des extrémités sont pleins. Le fémur est dépourvu de quatrième trochanter. Les membres antérieurs sont à peine plus courts que les postérieurs. Les Sauropodes étaient pentadactyles, quadrupèdes et plantigrades, devant et derrière. Leur bassin est un bassin normal de Reptile : dorsalement, l'ilium; ventralement et en avant, le pubis; ventralement et en arrière, l'ischium.

Exemple : *Brontosaurus*.

VI. Les *Ornithopodes*, ou Dinosauriens aux pieds d'oiseau, n'ont pas de dents sur le devant de la bouche : c'est un bec qui les remplace. Les dents sont découpées sur leurs bords. Les narines sont très grandes. Les vertèbres cervicales sont opisthocèles; les dorsales, amphicoèles. Celles-ci sont dépourvues d'excavations latérales. Un quatrième trochanter au fémur. Les membres antérieurs sont beaucoup plus courts que les postérieurs.

Les Ornithopodes étaient pentadactyles devant, tridactyles derrière, et bipèdes. Leur bassin est un bassin d'Oiseau : dorsalement, l'ilium; ventralement et en avant, le prépubis; ventralement et en arrière, l'ischium, puis le pubis.

Comme les Sauropodes, les Ornithopodes étaient privés d'armure dermique.

Exemple : *Iguanodon*.

VII. — Les *Stégosauriens*, ou Dinosauriens cuirassés, n'ont pas de dents sur le devant de la bouche : c'est un bec qui les remplace. Les dents sont découpées sur leurs bords. Les narines sont très grandes. Toutes les vertèbres sont amphicoèles. Le canal rachidien subit un fort épanouissement au niveau du sacrum. Les vertèbres dorsales sont dépourvues d'excavations latérales. Le fémur est privé de quatrième trochanter. Les membres antérieurs sont beaucoup plus courts que les postérieurs. Les Stégosauriens étaient pentadactyles devant, tridactyles derrière, et quadrupèdes. Leur bassin est du même type que celui des Ornithopodes, mais le pubis est très massif et étroitement appliqué contre l'ischium. Il y a une armure dermique, composée de énormes plaques verticales et tranchantes, le long du cou, du dos et des deux tiers antérieurs de la queue; de quatre paires de fortes épines, dans le tiers postérieur de la queue; de granulations osseuses, sur la face inférieure de la tête.

Exemple : *Stegosaurus*.

VIII. — Les *Cératopsiens*, ou Dinosauriens cornus, n'ont pas de dents sur le devant de la bouche : c'est un bec qui les remplace. Les dents sont découpées sur leurs bords. Les narines sont très grandes. Toutes les vertèbres, amphotroques ; une partie des vertèbres cervicales soudées, pour supporter l'énorme tête. Trois cornes sur le crâne : une, impaire, en avant ; les deux autres au-dessus des orbites. Le fémur est privé de quatrième trochanter. Les membres antérieurs ne sont point beaucoup plus courts que les postérieurs. Les *Cératopsiens* étaient pentadactyles devant, tridactyles derrière et quadrupèdes. Leur bassin est très remarquable : dorsalement, l'ilium ; ventralement et en avant, le prépubis ; ventralement et en arrière, l'ischium ; le pubis a complètement disparu. Il y a une armure dermique.

Comme les Stégosauriens, les *Cératopsiens* sont des Ornithopodes qui sont retournés à l'allure quadrupède.

Exemple : *Triceratops*.

IX. — Les *Théropodes*, ou Dinosauriens aux pieds de carnivore, sont les seuls Dinosauriens carnivores : tous les autres sont herbivores. Le prémaxillaire est denté. Les dents sont pointues, tranchantes, recourbées et dentelées sur leurs bords. Les narines sont très grandes. Les vertèbres cervicales sont opisthocœles ; les dorsales, amphotroques. Dans certaines formes, une corne sur le devant de la tête. Le fémur possède un quatrième trochanter. Les membres antérieurs sont beaucoup plus courts que les postérieurs. Les *Théropodes* étaient : soit pentadactyles devant et derrière ; soit tétradactyles devant et tridactyles derrière. Ils renfermaient des formes quadrupèdes et des formes bipèdes. Leur bassin est extraordinaire : dorsalement, l'ilium ; ventralement et en avant, le pubis ; ventralement et en arrière, l'ischium ; ce qui est un bassin normal de Reptile ; mais le pubis s'allonge et s'épanouit pour former support ; de sorte que, les *Théropodes*, au lieu de s'asseoir sur le derrière du bassin, comme tous les animaux susceptibles de prendre cette attitude, s'asseyaient sur le devant.

Certains *Théropodes* avaient une armure dermique.

Exemple : *Ceratosaurus*.

L'auteur insiste, ensuite, plus particulièrement sur les Dinosauriens cornus, notamment sur le *Triceratops*, dont le crâne ne mesurait pas moins de 1^m,80, avec une paire de cornes de 0^m,70. La bête entière avait 6 mètres de long et 2^m,60 de haut. Elle était exclusivement herbivore et vivait, en Amérique, à l'époque crétacée.

4^o M. le *Président* annonce qu'à Cibly l'on vient de faire, dans les riches gisements de phosphate de cette localité, de nouvelles découvertes d'ossements fossiles. On vient d'y trouver une tortue de grande taille, dont la tête paraît complète, un spécimen de Mosasaurien et un autre est renseigné, qui se trouve actuellement sous 5 mètres de phosphate. C'est, comme d'habitude, au zèle et à l'obligeance de M. A. Lemonnier que la science devra la conservation de ces précieux restes, offerts au Musée d'Histoire Naturelle.

La séance est levée à 10 h. et demie.

ANNEXE (1)

LES RÉCENTS PROGRÈS

DE NOS

CONNAISSANCES OROGÉNIQUES

PAR

Marcel Bertrand

Professeur de Géologie à l'École des Mines de Paris.

Le problème de la formation des montagnes, parmi tous ceux que soulève la géologie, est un de ceux qui par leur nature même sont le plus propres à éveiller la curiosité ; c'est même, après ceux qui se rapportent à l'étude des êtres vivants et à l'évolution des faunes, le problème capital de la géologie. La connaissance des chaînes de montagnes et de leur élévation successive permet seule, en effet, de coordonner les traits complexes de l'histoire de la Terre dans ses différentes périodes, de grouper les phénomènes et de reconstituer les grandes lignes des géographies anciennes.

(1) A la demande de divers membres de la Société, et avec l'autorisation de l'auteur il est reproduit ici en Annexe spéciale la magistrale étude de notre éminent Collègue et Membre honoraire M. le Prof. Marcel Bertrand, publiée dans le N^o 1 du 15 janvier 1892 de la *Revue générale des sciences pures et appliquées*, publication scientifique bi-mensuelle, de grande valeur, fondée il y a trois ans, qui est vivement recommandée à nos confrères désireux de se tenir au courant des travaux et des progrès scientifiques. (Paris, Georges Carré, éditeur.)

Les trois grandes œuvres qui, dans ce siècle, marquent en quelque sorte les étapes des progrès réalisés par la série incessante des observations, sont des essais sur les systèmes de montagnes, auxquels resteront associés les noms de L. de Buch, d'Élie de Beaumont et de M. Suess.

Le problème est double en réalité ; il comprend d'une part la distribution des chaînes aux différentes périodes et la structure de ces chaînes. Cette dernière est-elle toujours la même ou laisse-t-elle du moins reconnaître des lois générales et uniformes ? Et ces lois permettent-elles de se faire une idée des forces mises en jeu, de leur puissance et de leur direction ? Ces deux côtés du problème, le côté géographique et le côté mécanique, ne peuvent se séparer sur le terrain et doivent s'étudier ensemble ; mais on peut les traiter successivement, et essayer de montrer quels sont les progrès réalisés à ce double point de vue dans ces dernières années.

I. — DISTRIBUTION DES CHAÎNES DE MONTAGNES.

La distribution et le groupement des chaînes de montagnes peuvent sembler d'abord une question bien simple, que les atlas suffisent à résoudre. Mais la question ne prend de sens précis et de véritable portée que si la chaîne de montagnes peut être définie avec quelque rigueur. Le topographe cherchera cette définition dans les caractères du relief ; le géologue est nécessairement amené à la chercher dans les caractères plus profonds de la structure interne. Les montagnes sont des zones plissées de l'écorce terrestre ; comme ce sont ces plissements que l'on veut étudier, ce sont eux qu'on prendra pour élément de définition. La chaîne peut être plus ou moins dénudée, elle peut même être rasée au niveau de la plaine ; le noyau restant présente les mêmes caractères de structure ; il permet de retrouver la trace des plissements qui ont créé les reliefs disparus, et par conséquent, en dépit de la contradiction des termes avec le langage usuel, le géologue continue à parler de chaîne de montagnes quand, en réalité, il n'existe plus qu'une *chaîne de plissements*.

Quant aux caractères qui constituent l'unité d'une chaîne de plissements, un seul, *à priori*, doit d'abord entrer en ligne de compte : c'est la *continuité*. Une chaîne est composée d'une série de plis parallèles, au moins dans leur allure générale ; aucun de ces plis n'a une extension indéfinie, mais à mesure que l'un d'eux s'abaisse et se termine, d'autres prennent naissance dans le voisinage, et de même que l'ensemble des chaînons constitue la chaîne au sens topographique, l'ensemble de ces plis constitue la chaîne au sens géologique.

Tant que ces plis suivent une même direction, ou du moins se coordonnent autour d'une même ligne directrice, il n'y a pas de difficulté ; il en est ainsi pour les Alpes, considérées des Alpes-Maritimes jusqu'au Tyrol. Mais à partir du Tyrol, la chaîne, jusque-là compacte et massive, s'ouvre en un large éventail, et se divise en deux branches, dont l'une se dirige vers les Carpathes et dont l'autre descend le long de l'Adriatique. Ces deux branches se rattachent l'une et l'autre à la même chaîne ; comme elles sont devenues pourtant bien distinctes, avec des lignes directrices en apparence tout à fait indépendantes, ce sera affaire de définition d'en faire deux nouvelles chaînes, ou au contraire, en se fondant sur la continuité, de les considérer toutes deux comme appartenant au premier système, au système des Alpes. On pourrait même partir de là pour considérer les Alpes bavaoises et suisses comme formées par la juxtaposition momentanée de deux chaînes différentes. Au fond, d'ailleurs, ce ne seraient là que des querelles de mots ; il faut en tout cas chercher à suivre la continuité de chacune des deux zones au delà des Carpathes et des Alpes illyriennes, savoir si elles cessent ou comment elles se prolongent. Grâce à M. Suess, nous savons aujourd'hui qu'elles se continuent jusqu'à l'extrémité de l'Asie, qu'elles ne divergent pas indéfiniment, mais viennent de nouveau se réunir une première fois au pied du Caucase et une seconde fois dans l'Himalaya ; nous pouvons même aller plus loin, et, quoique avec une part un peu plus grande d'hypothèse, les suivre le long de la côte birmane et des îles de la Sonde, presque sur les bords de l'océan Pacifique.

Cette continuité d'un système de plissements d'une extrémité à l'autre du vieux continent, depuis l'ouest de l'Europe jusqu'à l'est de l'Asie, est en elle-même un fait remarquable ; mais il faut encore chercher si la continuité n'est pas seulement dans les lignes et dans les directions, si elle n'est pas seulement superficielle ; il faut chercher dans quelle mesure la chaîne continue est due à un même phénomène, à un même événement géologique. Or, dans cette zone, tous les terrains sont plissés jusqu'aux terrains tertiaires inclusivement ; en dehors de cette zone, les terrains secondaires et tertiaires n'ont subi de plissements qu'exceptionnellement et sans importance. C'est donc dans cette zone que se sont concentrés les mouvements orogéniques des deux dernières grandes périodes de l'histoire de la terre, de la période secondaire et de la période tertiaire.

Si l'on veut aller plus loin, si l'on veut fixer une date plus précise à ces mouvements, on trouve qu'il n'y a pas eu un mouvement unique, mais une série de mouvements à des époques différentes. Séparer tous

ces mouvements est un des problèmes les plus ardues réservés à l'avenir, et il n'est pas même certain qu'il puisse se résoudre : il est loin d'être prouvé, en effet, que les mouvements aient été réellement distincts et que l'effort n'ait pas été continu. En tout cas, nous savons déjà qu'au début de l'ère secondaire, si tout l'emplacement de la chaîne n'était pas recouvert par les eaux, quelques parties centrales étaient certainement émergées ; nous savons qu'à la fin de l'ère secondaire, autour de ce noyau central, considérablement agrandi, existait déjà une véritable chaîne, peut-être discontinue, mais avec des plissements bien accentués ; nous savons que les dislocations les plus énergiques se sont produites dans la première moitié de l'ère tertiaire, et que les chaînons extérieurs, au moins du Dauphiné jusqu'à la Bavière et à Vienne, se sont, en y comprenant le Jura, ajoutés à la charpente centrale seulement à la fin de la période miocène, c'est-à-dire dans la seconde moitié de l'ère tertiaire. L'ensemble des faits connus pourrait presque se traduire par cette formule simple : une grande ondulation se propageant lentement du centre de la chaîne vers ses bords extérieurs.

Ainsi la chaîne que nous avons reconstituée nous apparaît comme un ensemble très complexe, comme une œuvre de très longue haleine, pour laquelle la notion d'âge n'a plus de sens nettement déterminé. Le premier pas de la science orogénique a été de montrer que les montagnes n'avaient pas toutes le même âge, et que l'âge de chacune d'elles peut être connu ; le mémoire d'Élie de Beaumont, qui, en 1833, proclamait ces nouveautés, a paru une véritable révolution. Le second pas peut sembler un pas en arrière ; ce qu'on avait pris pour l'âge d'une chaîne n'est que l'âge de ses derniers chaînons ; en réalité, une chaîne n'a pas d'âge précis, parce que la formation de ces diverses parties s'est échelonnée sur l'espace de longues périodes. Mais, en même temps, nous rencontrons ce résultat d'un intérêt si profond et si général ; pendant ces longues périodes, les efforts orogéniques n'ont pas cessé de s'exercer sur la même zone, et l'ont fait toujours avec la même direction. Le résultat en a été l'écrasement d'un fuseau de la sphère terrestre.

C'est bien là le postulatum sur lequel E. de Beaumont a fondé sa théorie, et c'est une éclatante confirmation des premières vues qui l'ont guidé. Partant de ce postulatum, il a cherché le premier à déterminer pour chaque période les fuseaux d'écrasement ; mais les données étant alors trop peu nombreuses pour suivre pas à pas les phénomènes, E. de Beaumont crut pouvoir admettre avec une rigueur géométrique les conséquences de son postulatum, et, pour grouper les faits, au

principe de continuité il substitua celui de direction. A chaque période devait, suivant lui, correspondre un fuseau d'écrasement, à chaque fuseau une direction déterminée sur la sphère, celle de son grand cercle médian. Il suffit alors d'avoir observé quelques accidents d'âge connu pour déterminer par tâtonnement la direction correspondante ; il suffit de quelques vérifications pour l'accepter sans réserve. La belle ordonnance de l'édifice ainsi construit par un génie puissant en dissimula longtemps la base trop fragile ; des coïncidences dont on n'a jamais essayé, dont il eût été difficile d'ailleurs de calculer la probabilité, ont, pour le maître comme pour les élèves, entraîné la certitude, jusqu'au jour où le progrès des observations a ouvert les yeux les plus prévenus et montré sans appel possible le désaccord des faits avec la théorie.

Il fallait alors reprendre l'œuvre d'Élie de Beaumont au point où elle se trouvait menée avant l'introduction du principe de direction, en ne se fiant plus qu'à la continuité, seul guide possible et certain : c'est ce qu'a fait M. Suess, dont la synthèse forme la base de nos connaissances actuelles. C'est ainsi que vient de prendre droit de cité dans la géologie cette notion nouvelle d'une *chaîne alpine*, résultant d'efforts convergents, mais prolongés pendant des périodes entières, et s'étendant sans interruption de nos Alpes d'Europe jusqu'aux bords de l'océan Pacifique.

On peut même aller plus loin dans cette voie, quoique la part d'hypothèse devienne alors assez forte pour que M. Suess se soit refusé à formuler lui-même explicitement, en partie, des résultats qu'il laisse entrevoir à ses lecteurs : en Europe d'abord, les Pyrénées se rattachent aux Alpes par la Provence, où j'ai pu montrer la continuité de plissements restés longtemps inaperçus ; d'un autre côté, les Apennins, l'Atlas et la chaîne bétique forment la seconde branche d'un éventail analogue à celui des Alpes illyriennes, et les deux branches de cet éventail vont toutes deux s'arrêter au bord de l'océan Atlantique, sans qu'aucun indice en montre plus loin une prolongation, même affaiblie. Mais par une coïncidence remarquable, de l'autre côté de l'Atlantique, les Antilles font face au détroit de Gibraltar, en dessinant une courbe analogue et opposée à celle des hauteurs qui bordent l'extrémité de la dépression méditerranéenne, et à partir des Antilles, tout autour de l'océan Pacifique, sur les rivages des deux Amériques comme sur ceux des îles qui bordent l'Asie et l'Australie, la chaîne des plissements récents reprend, courbée en un vaste cercle et se raccordant, aux antipodes des Antilles, avec les îles de la Sonde. Il faut ajouter pourtant

que si le cercle se ferme manifestement au nord avec les îles Aléoutiennes, le rattachement de la Nouvelle-Zélande à l'extrémité des Andes est purement virtuel, sans nulle preuve à l'appui.

Tout en faisant la part de ces deux interruptions, celle de l'Atlantique et celle du sud du Pacifique, on voit qu'on peut formuler ainsi les résultats précédents : la zone des derniers plissements de l'écorce terrestre n'occupe pas seulement un fuseau de la sphère, mais forme au globe une ceinture complète. On a depuis longtemps remarqué que la prolongation de la Méditerranée dessine autour de la terre une sorte de dépression équatoriale, en partie noyée dans les grands océans, mais dont le parcours reste marqué par les isthmes et détroits qui séparent les continents ; c'est cette ceinture de dépressions que suit fidèlement notre ceinture de plissements ; seulement elle s'ouvre et se bifurque pour entourer l'océan Pacifique.

Au nord et au sud de cette ceinture, les mêmes plissements ne sont pas fait sentir, ou du moins n'ont fait sentir que localement un écho très affaibli. Pour trouver dans ces régions des plissements comparables à ceux des Alpes, il faut, laissant de côté les terrains secondaires et tertiaires, tourner son étude vers les terrains primaires ou paléozoïques. Mais là, immédiatement, la tâche devient plus ardue : il n'y a plus continuité dans les affleurements ; ces terrains qu'il faut étudier ont été recouverts d'un manteau discordant de couches plus récentes ; quelques massifs isolés émergent de ce manteau ; et c'est par eux seulement qu'on peut essayer de reconstituer l'ensemble. La difficulté est à peu près la même que si, dans la chaîne alpine, on ne pouvait étudier que les sommets qui dépassent deux milliers de mètres. Si dans ces conditions on a pu arriver à un résultat, c'est en admettant qu'il y a eu continuité des plissements dans la zone ancienne, comme on l'a constaté dans la zone plus récente.

Bornons-nous d'abord à l'Europe. Une première remarque est importante : il y a deux régions distinctes, l'une où tous les terrains paléozoïques sont en général également plissés, l'autre où les plissements n'ont affecté que les plus anciens de ces terrains, ceux du système silurien. La première de ces régions occupe l'Europe centrale ; la seconde, l'Europe septentrionale ; la ligne qui sépare ces deux régions offre un intérêt tout spécial, c'est celle des terrains houillers qui s'échelonnent du pays de Galles à la Belgique et à la Westphalie. Au sud de cette ligne, les plis des différents massifs paléozoïques en suivent la direction ; les plus méridionaux s'ouvrent seulement en éventail pour entourer le plateau central de la France. Il y a donc là une nouvelle zone de plissements, une *nouvelle chaîne*, qui a été produite, comme la chaîne alpine, par une longue succession d'efforts conver-

gents, et dont les sommets, peut-être aussi élevés que ceux des Alpes, ont dominé l'ancienne Europe, l'Europe de la fin des temps primaires. L'étendue, bornée à ce premier lambeau, en est sans doute bien restreinte, mais les dislocations peu accentuées du sud de la Russie, et plus à l'est, le Thian-Chan, semblent en former la prolongation ; et de l'autre côté de l'Atlantique, les Appalaches font face aux promontoires de la Bretagne et de l'Irlande, également séparés par un grand bassin houiller des zones plus anciennement plissées. Ici, comme nous l'avions prévu, il faut que l'imagination ou, si l'on veut, l'hypothèse comble plus largement les lacunes inévitables de l'observation ; il n'en est pas moins vrai que ces témoins qu'on retrouve à travers l'Amérique du Nord et l'Asie, aussi bien qu'à travers l'Europe, affectent les mêmes terrains, se rapportent aux mêmes périodes de l'histoire géologique, et que réunis sur une carte du globe, ils y dessinent une nouvelle zone parallèle à la zone alpine, une nouvelle chaîne, grossièrement parallèle, *plus ancienne et plus rapprochée du pôle.*

La dernière zone des plissements n'est connue que dans le pays de Galles, l'Irlande, l'Écosse et la Scandinavie ; si elle a des analogues en Amérique et en Asie, ils sont encore obscurs et incertains. Dans son parcours limité, elle offre une direction assez fortement divergente, vers le nord-est ; mais, comme du côté de l'ouest ses plissements vont se raccorder avec ceux de la zone plus récente, il est permis de ne voir dans cette divergence qu'une déviation locale et de ne pas y accorder plus d'importance qu'aux directions momentanément aberrantes des Apennins, des Alpes illyriennes ou des bords du plateau central.

Le fait capital reste en tout cas incontestable ; la zone la plus ancienne est celle qui se rapproche le plus du pôle, et dans les régions plus septentrionales, les discordances qu'on observe dans la série des terrains les plus anciens, de ceux qui ont précédé l'apparition de la vie sur le globe ou qui du moins ne nous en ont conservé aucune trace, montrent que c'est dans ces régions polaires qu'ont eu lieu les premières dislocations de l'écorce.

On voit que les résultats de cette analyse, faite sans idée préconçue, ne le cèdent ni en simplicité ni en grandeur à ceux que l'imagination aurait pu prévoir : l'effort de plissement s'est exercé pendant de longues périodes sur les mêmes zones et s'est déplacé progressivement du pôle vers l'équateur ; la chaîne de plissement la plus récente forme au globe une ceinture presque continue, et les chaînes plus anciennes, dans ce que l'on connaît, semblent dessiner une série de ceintures grossièrement concentriques et de plus en plus rapprochées du pôle.

L'intérêt de cette formule et ses conséquences théoriques grandi-

raient singulièrement si l'on pouvait trouver dans l'autre hémisphère la trace d'un arrangement plus ou moins symétrique ; malheureusement la prédominance des mers fait craindre que de ce côté nos connaissances restent toujours bien imparfaites. Les régions équatoriales (plaine des Amazones, Sahara et Soudan, Hindoustan et est de l'Australie) paraissent avoir formé dès les époques les plus reculées, au moins depuis la fin de la période silurienne, un plateau stable et solide, respecté par les actions de plissements. Au sud de ce plateau, les côtes sont bordées au sud du Brésil, au Cap et à l'est de l'Australie, par des lambeaux de chaînes très anciennes, mais qui ne semblent pas toutes du même âge ; au Brésil le Devonien, en Australie le Carbonifère seraient postérieurs aux derniers plissements : au Cap au contraire, toute la série paléozoïque est également plissée. Il n'y a pas de raisons sérieuses pour essayer de relier ces lambeaux en une même zone ; il n'y en a pas non plus de définitive pour nier une ancienne liaison. Il faut sur ce point avouer notre ignorance.

Mais, si imparfaite qu'elle soit, la coordination des plissements autour des régions polaires éveille dans l'esprit l'idée d'un lien théorique avec l'aplatissement ou avec la rotation de la terre. De quelle nature peut être ce lien ? C'est ce qu'il semble bien difficile de prévoir. Peut-être, en admettant que le progrès des observations arrive à préciser davantage les éléments du problème, sera-t-il de ceux que l'analyse pourra aborder, mais il semble évident que la question n'est pas mûre encore (1).

II. — DISSYMMÉTRIE DES VERSANTS ET ROLE DES FAILLES.

Dans ce qui précède nous n'avons parlé que de la distribution des chaînes de montagnes ou pour mieux dire, des zones de plissements. Il reste à examiner ce qu'on sait sur la formation même d'une chaîne et sur les mouvements mécaniques dont elle est le résultat. On sait depuis longtemps que, dans leur ensemble, ces mouvements peuvent se résumer par un plissement de l'écorce, tel qu'il résulterait d'une compression horizontale, et depuis longtemps on a reproduit en petit des apparences analogues dans des séries de lits d'argile, placés horizontalement sous un poids qui les maintient et pressés latéralement entre deux étaux. Comme je l'ai dit, le parallélisme des plis est le caractère le plus frappant, celui qui depuis longtemps a permis de rattacher leur formation à une action d'ensemble et, par conséquent, à une compression latérale.

(1) Voir pourtant un essai ingénieux de M. Romieux, C. R. Ac. des Sc. 1889.

En dehors du parallélisme, un élément important de l'étude des plis est la manière dont ils s'inclinent ou se couchent dans un sens déterminé. En général, d'un même côté de l'axe de la chaîne, les plis se couchent tous dans un même sens, vers le bord extérieur de la chaîne, c'est-à-dire vers les plaines qu'elle domine. Ainsi en Savoie, les plis sont couchés à l'ouest vers la plaine du Rhône et à l'est vers la plaine lombarde ; en Suisse et en Tyrol, les plis se déversent d'un côté vers le nord et de l'autre vers le sud ; c'est ordinairement le massif cristallin central qui forme la zone de démarcation. Il en résulte que la chaîne, dans son ensemble, présente une structure en éventail et que les sommets pourraient s'en comparer aux épis d'une gerbe fortement serrée en son milieu. Il y a pourtant presque toujours une dissymétrie marquée des deux versants ; les plis sont bien plus fortement et plus constamment déversés dans un sens que dans l'autre ; ainsi en Europe, la plupart des grands plis couchés sont couchés vers le nord ; si bien que M. Suess a cru pouvoir en déduire qu'il y avait un sens déterminé pour l'effort orogénique, qui aurait été dirigé vers le nord en Europe et vers le sud en Asie. Les exceptions à cette règle se sont depuis lors révélées de plus en plus nombreuses, et il est bien difficile de l'admettre ; les exceptions à la règle de la constance de l'inclinaison sur un même versant sont au contraire beaucoup plus rares, surtout pour les plis fortement inclinés, et la structure en éventail semble de plus en plus la structure normale des grandes chaînes. Il en est autrement quand la chaîne est scindée, comme j'en ai donné plus haut des exemples, en deux rameaux divergents ; ou pour mieux dire, c'est alors l'ensemble de ces deux rameaux qu'il faut considérer pour y retrouver les deux moitiés de l'éventail ; chacun d'eux n'est qu'une moitié de chaîne. Les deux versants intérieurs, ceux qui se font face souvent à grande distance, sont ordinairement les plus abrupts et brusquement coupés par des lignes de fractures ; leur contraste naturel avec le versant extérieur est une des causes ordinaires, et bien explicable alors, de ce qu'on a appelé la dissymétrie des chaînes ; mais cette dissymétrie semble subsister, quoique non fortement marquée, dans les chaînes complètes, dans celles où les deux branches séparées viennent se réunir ; la raison, dans ce cas, en est moins facile à concevoir.

Après ces généralités sur la structure d'ensemble, sur lesquelles je n'insiste pas, à cause de la difficulté d'en tirer pour le moment quelque conclusion certaine, il faut, pour aller plus loin, étudier de plus près la structure même d'un pli, et surtout les accidents qui peuvent la compliquer localement. Parmi ces accidents, il faut d'abord mentionner les fractures qui ont mis en contact deux parties dénivelées, deux

compartiments différents de l'écorce terrestre. Ces fractures, d'une manière générale, ont reçu le nom de *failles*, ou surfaces suivant lesquelles a eu lieu une chute de terrains, et le mot en France s'applique à tous les accidents qui mettent en contact deux couches d'âge différent, en supprimant l'affleurement des couches intermédiaires. Le rôle des failles dans les pays de montagnes a été longtemps très diversement apprécié, et un des plus grands progrès réalisés dans ces dernières années a certainement été d'arriver à une plus juste appréciation de ce rôle. Dans les plaines ou dans les grands plateaux, aux couches faiblement ondulées, les failles sont fréquentes : toute partie insuffisamment maintenue par le bas s'enfonce sous l'action de la pesanteur, et le mouvement centripète général, que, dans l'hypothèse du refroidissement séculaire de notre planète, il faut attribuer à l'ensemble de l'écorce, favorise ce jeu relatif de différentes parties et cette chute plus profonde de certaines d'entre elles. Mais dans les zones où s'exercent les efforts de plissement, il ne doit plus en être ainsi : tout compartiment, insuffisamment maintenu par le bas, l'est par la pression latérale qui, suffisant à plisser même les roches dures, suffit à plus forte raison à empêcher toute descente sous l'action de la pesanteur. Il ne résulte pas de là qu'il ne puisse y avoir des failles dans les pays plissés ; l'observation montre le contraire. Mais ces failles ne seront pas dues à la pesanteur, elles le seront à l'effort même de plissement. S'il y a quelque part un plan de fracture, c'est-à-dire un plan suivant lequel la cohésion des masses soit rompue, la composante de la pression pourra déterminer un glissement suivant ce plan, toujours de bas en haut ; car c'est seulement vers le haut que l'espace est libre et que les masses ont faculté de se mouvoir. Il y aura bien également faille en ce cas ; mais ces failles diffèrent de celles que produit directement la pesanteur, parce qu'elles amènent le plus souvent les couches les plus anciennes à chevaucher sur les plus récentes ; ce sont des *failles inverses*. La distinction est facile à faire et ne s'efface que quand le plan de fracture est vertical. Ces sortes de failles inverses ne sont pas rares dans les montagnes, mais elles se rencontrent presque uniquement dans les zones extérieures, dans les zones subalpines par exemple. Leurs affleurements sont toujours parallèles à la direction des plis, c'est-à-dire aussi à celle des couches : ce sont des *failles longitudinales*, et quand on les suit sur le terrain, on arrive invariablement à les voir prendre, à plus ou moins grande distance, la même inclinaison que les bancs, puis faire place à une zone de couches amincies et étirées, dont la série arrive peu à peu à se compléter. La faille passe latéralement au pli ; ce n'est qu'un accident produit par les glisse-

ments sur le flanc de ce pli (ordinairement sur un flanc renversé) ; quand les glissements, amorcés suivant la direction des couches, arrivent à se prolonger suivant un plan net de fracture, oblique à la stratification, le lien des deux phénomènes peut être un instant dissimulé, mais il reparaît nettement dans l'ensemble. Le pli est l'élément et le phénomène principal ; la faille n'est qu'un détail de sa formation.

Si l'on pénètre dans les parties plus centrales des chaînes, ces sortes de failles disparaissent elles-mêmes complètement ; il y a bien encore, et plus souvent même, des assises supprimées ; mais les surfaces de glissement *sont presque invariablement parallèles à la stratification*. La compression latérale était sans doute trop forte, elle donnait aux bancs une cohésion trop grande pour permettre à une cassure de s'y propager en ligne droite ; les jeux et mouvements relatifs n'ont pu se faire que suivant les surfaces de moindre résistance, c'est-à-dire suivant les joints de stratification. Il semble, il est vrai, que si de pareils mouvements ont eu lieu, il est impossible de les constater ; un glissement suivant un plan de stratification doit conserver aux masses toute l'apparence de l'ordre primitif. Mais, en réalité, dans les mouvements, les assises plus tendres s'écrasent successivement en biseau ; la masse charriée échelonne sur son parcours ses bancs inférieurs plus ou moins laminés, et en définitive le résultat est le même que si le glissement avait eu lieu sur une surface légèrement oblique à la stratification. Il y a à la fois suppression d'assises et parallélisme des assises conservées. Comme, de plus, tous les joints de stratification sont des surfaces de glissement facile, on conçoit que le même phénomène puisse se répéter un grand nombre de fois, et que l'épaisseur des couches supprimées puisse être considérable. Elle sera d'ailleurs nécessairement irrégulière, et de place en place on verra reparaître des lambeaux des assises intermédiaires ; on pourra même retrouver toute la série des étages successifs, mais avec des épaisseurs réduites.

Il doit donc exister, en dehors même des apparences immédiates créées par la formation des plis, une différence essentielle de structure entre les régions ordinaires et celles qui ont été soumises à de fortes compressions : dans aucun cas, on ne conçoit que le déplacement de grandes masses puisse avoir lieu sans entraîner des jeux relatifs entre les différentes parties de l'ensemble. Dans les pays de plaines ou dans les chaînons extérieurs, ces jeux relatifs ont pu produire des cassures nettes et tranchées ; dans les hautes montagnes, ils ne se traduisent que par des glissements des bancs les uns sur les autres et par des amincissements irréguliers dans l'épaisseur des couches.

Cette analyse des mouvements et de leurs conséquences peut paraître trop empreinte d'un esprit théorique ; dans des problèmes aussi complexes il est difficile de tenir compte de toutes les données ; les raisonnements sont toujours suspects de pécher par la base, et on peut craindre que la nature ne se conforme pas à leurs conclusions. Mais ici on peut se rassurer, les raisonnements ont été faits après coup. Ce n'est pas une idée préconçue dont on a cherché et cru trouver les preuves sur le terrain ; c'est l'observation qui a imposé les conclusions, et l'on peut s'étonner qu'elle ne l'ait pas fait plus tôt. Les exemples sont si nombreux et si clairs, dans les Alpes de Savoie particulièrement, qu'on peut affirmer qu'il ne restera pas d'incrédules parmi ceux qui consacreront quelque temps à leur étude. Pour les autres, la conviction se fera plus lentement ; la force de l'habitude, dès qu'il ne s'agit plus de mathématiques, a une telle part dans nos raisonnements que longtemps encore, en France, on continuera à accepter volontiers, et presque sans contrôle, l'existence d'une faille verticale, tandis qu'on restera disposé au scepticisme pour les failles horizontales ou peu inclinées ; cependant, si l'on admet les efforts horizontaux, on vient de voir que ces dernières failles en sont une conséquence naturelle et presque nécessaire ; l'explication des failles verticales, quand ce ne sont pas des failles de tassement, soulève au contraire une grosse difficulté : il faut supposer que la faille traverse toute l'écorce solide, ou admettre la préexistence d'un vide comblé par l'affaissement. La manière dont un pareil vide peut se former est bien obscure, et on s'en préoccupe bien rarement.

Il y a d'ailleurs aux méfiances de beaucoup d'esprits une autre cause, qu'il est utile d'indiquer : la plupart de nos connaissances sur les Alpes françaises sont dues aux travaux de Lory, qui a été pendant près de vingt ans le maître incontesté de notre géologie alpine. Or Lory n'a jamais appelé l'attention sur ces phénomènes de glissement ou d'étirement ; sans les nier, il n'y voyait qu'un fait secondaire et accessoire ; il a toujours insisté au contraire sur le rôle de grandes failles verticales, qui auraient joué aux différentes époques dans les régions alpines, et il en fait la base de toutes ses explications. Cette divergence s'explique parce que Lory a surtout étudié en détail les chaînes subalpines ; dans les grandes Alpes, où il a fait pourtant ses plus grandes découvertes, il s'est surtout inquiété des traits d'ensemble, laissant à ses successeurs le soin de fixer les détails. S'il avait eu le temps de compléter pour la Savoie ce qu'il a fait pour le Dauphiné, il aurait reconnu lui-même que ses grandes failles ne sont que des surfaces de glissement, toujours parallèles aux couches, et qu'elles ne sont

qu'un cas particulier d'un phénomène qui se rencontre presque à chaque pas. La théorie de Lory faisait d'ailleurs des Alpes françaises une véritable exception ; les études de ces dernières années ne font que les ramener à la règle commune.

III. — ROLE DES DÉPLACEMENTS HORIZONTAUX. — PLIS COUCHÉS.

En partant des considérations précédentes, on voit qu'il y a un cas où ces glissements, suivant le plan des couches, doivent avoir pris encore plus d'importance, c'est le cas où un pli est couché horizontalement. La force devient alors parallèle à la direction des glissements faciles ; théoriquement la différence n'est pas grande ; mais tous les effets prévus d'amincissements, d'étirements et de suppressions de couches seront naturellement exagérés ; les déplacements horizontaux seront à la fois plus considérables et mieux mis en évidence. Il en résulte, au point de vue pratique, des apparences très particulières et des complications imprévues sur lesquelles l'attention s'était peu portée avant ces dernières années, et qui font des plis couchés un chapitre important de l'histoire des montagnes.

Essayons d'abord d'analyser le phénomène : une fois qu'un pli horizontal s'est produit et qu'il a amené en saillie une sorte de bourrelet superficiel, si les forces horizontales continuent leur action, elles ne peuvent avoir d'autre effet sur ce bourrelet que de le pousser en avant. Si le mouvement est assez lent et le bourrelet assez épais pour que les couches qui le forment ne se disloquent ni ne se fragmentent, le résultat sera naturellement un *allongement* du pli couché. Le bourrelet se compose de deux parties : l'inférieure, formée de couches renversées, et la supérieure, formée par les mêmes couches en ordre normal de superposition ; dans l'inférieure, aucun afflux de matière n'est possible, et par conséquent, à mesure que le pli s'allongera, l'ensemble des couches renversées, dont le volume reste constant, devra s'étaler sur un plus large espace ; l'épaisseur en sera donc diminuée d'autant plus que le déplacement aura été plus considérable. En fait l'observation montre que cet étirement, ce *laminage* des couches renversées dépasse toutes les prévisions ; des épaisseurs de plusieurs centaines de mètres se trouvent réduites à quelques mètres et même à quelques centimètres ; dans ces quelques mètres, pouvant passer à des lambeaux intermittents, pouvant complètement disparaître, on trouve des représentants de tous les étages successifs. Quant à l'étendue des déplacements horizontaux, elle paraît presque sans limites ; on en connaît

beaucoup de 5 à 6 kilomètres ; on en connaît avec certitude qui ont dépassé 15 kilomètres.

Il est certain que l'imagination recule devant ces immenses coulées de terrains sédimentaires, se déroulant lentement à la surface du sol comme de véritables coulées de basalte ; la nature et le mécanisme des mouvements se conçoivent bien, mais leur grandeur inattendue provoque l'incrédulité. Toutes les objections doivent cependant céder devant l'évidence des faits observés.

Cette évidence a mis longtemps à s'imposer, et il ne faut pas s'en étonner : pour constater un fait simple et précis, il suffit du témoignage des yeux ; mais quand il s'agit d'une série de faits qu'il faut interpréter et coordonner, on ne se fie à ce témoignage que s'il est d'accord avec le raisonnement ; pour voir les choses, il faut les croire possibles. L'histoire de nos connaissances sur les plis couchés en est une preuve bien marquée : pendant longtemps les deux premiers exemples connus, celui du terrain houiller franco-belge et celui des Alpes de Glaris, n'ont semblé que de grandioses anomalies, et ils sont restés isolés ; mais à partir du jour où M. Gosselet, pour le premier, et M. Heim, pour le second, en ont proposé une explication rationnelle ; à partir surtout du jour où M. Heim a en quelque sorte démonté le mécanisme du phénomène, et qu'en l'accompagnant de coupes admirables de sa région, il y a fait voir une conséquence directe de l'ensemble des phénomènes orogéniques, les conditions se sont trouvées changées : on n'a pas cherché de parti pris à retrouver autre part des faits qu'on croyait encore exceptionnels, mais les observations se sont faites avec une nouvelle lumière dans l'esprit, et l'on a osé voir, quand les faits parlaient. Presque chaque année alors d'autres exemples sont venus s'ajouter aux anciens : en Écosse d'abord, puis en Provence, dans une région où l'on avait à peine soupçonné l'existence de plissements, dans les Montagnes Rocheuses, qu'on avait cru construites sur un plan spécial et tout différent de nos chaînes européennes ; dans les Appalaches, en un mot dans presque toutes les grandes régions de plissements.

Dans toutes ces régions, quelle que soit celle des grandes zones de plissements à laquelle elles appartiennent, quel que soit par conséquent l'âge des mouvements qui les ont affectées, les mêmes phénomènes se sont produits et ont créé des apparences qui ne sont guère variables qu'avec le degré de dénudation. De grandes nappes de terrains sédimentaires ont été poussées en avant et charriées à la surface, sur des longueurs de plusieurs kilomètres, en conservant les principaux traits de leur ordonnance primitive. Ces nappes charriées reposent sur

des terrains plus récents, soit directement, soit par l'intermédiaire de quelques couches renversées. Quand la dénudation les a morcelées et les a découpées en lambeaux isolés, on voit des îlots de terrains plus anciens faire saillie au milieu des couches plus récentes, quelquefois à plusieurs kilomètres de tous terrains semblables ; ainsi, en Provence, on trouve des îlots triasiques au milieu du crétacé ; en Suisse des îlots permien au milieu de l'Éocène ; en Belgique des îlots devoniens et carbonifères au milieu du terrain houiller ; en Écosse, des îlots même de gneiss au milieu du silurien. Beaucoup d'entre eux étaient connus depuis longtemps, mais on y voyait en général des saillies des anciens fonds de mer ; on sait maintenant que ce sont de véritables paquets amenés de loin et simplement posés à la surface du sol.

Ces faits ne constituent pas seulement une grande curiosité stratigraphique ; les conséquences théoriques en sont importantes. Ils apportent un argument définitif en faveur de l'idée des refoulements latéraux, qui depuis Élie de Beaumont était généralement admise, mais qui, en l'absence de preuves absolues, rencontrait encore des contradicteurs. On ne saurait plus contester que pour former les Alpes, l'Afrique ne se soit rapprochée du nord de l'Europe ; les déplacements horizontaux constatés entre les mâchoires de ce gigantesque étai ne sont évidemment qu'une fraction de leur rapprochement total. En Provence, par exemple, on connaît quatre grands plis couchés qui s'échelonnent du sud vers le nord, et le moindre a produit encore des charriages de près de 3 kilomètres. Les tentatives faites pour mesurer plus exactement ce rapprochement ne donnent que des nombres bien contestables ; mais l'étude seule de la Provence permet de lui assigner plus de 20 kilomètres. En se souvenant que la zone plissée embrasse tout un grand cercle de la sphère, on peut en conclure que pendant la période de plissement, c'est-à-dire pendant une période de temps qui ne comprend pas toute la durée des époques secondaire et tertiaire, le rayon terrestre a diminué d'au moins 4 kilomètres. Par un autre procédé, qui donne certainement un maximum, M. Heim a trouvé 19 kilomètres. La vérité doit être comprise entre ces deux nombres, sans qu'on puisse dire celui qui s'en rapproche le plus. Les évaluations tirées des formules du refroidissement et fondées sur la valeur actuelle du degré géothermique contiennent également bien des éléments arbitraires ; elles ont donné de 350 à 550 mètres par million d'années.

Ce n'est pas d'ailleurs dans cette voie incertaine qu'il faut diriger les efforts ; c'est sans doute beaucoup de savoir qu'il se développe dans les parties superficielles de l'écorce terrestre d'énormes compressions

horizontales, et de pouvoir rattacher ce phénomène au refroidissement terrestre ; mais traduire la théorie en formules applicables aux faits observés, et surtout traduire les formules en nombres précis, serait une ambition prématurée. C'est de l'étude lente et minutieuse des faits, c'est de l'accumulation de nouvelles observations et de leur prudente interprétation qu'on peut attendre de nouveaux progrès.

Sans doute les développements précédents montrent de quelles difficultés s'entoure la stratigraphie des pays de montagnes. Les glissements élémentaires bancs par bancs peuvent amener dans toutes les proportions l'amincissement ou la suppression de plusieurs étages, sans que rien trahisse à l'observation les mouvements subis ; la comparaison avec les coupes voisines peut seule montrer s'il y a des lacunes, et l'irrégularité de ces lacunes peut seule montrer qu'elles ont une origine mécanique et qu'elles ne proviennent pas des phénomènes de sédimentation. On ne peut jamais affirmer *à priori* que deux bancs régulièrement superposés se sont réellement déposés l'un sur l'autre. Ce *réarrangement* des couches, assez complet pour produire l'illusion d'une série normale non dérangée, est certainement un des détails les plus remarquables de cette partie de la mécanique terrestre, mais on ne peut nier qu'il n'augmente beaucoup les difficultés de la tâche à poursuivre.

Ces difficultés cependant peuvent être surmontées, maintenant qu'on en est averti ; même quand les fossiles sont rares, la continuité des plis, si l'on arrive à la suivre, peut donner de véritables éléments de certitude, et la comparaison des coupes successives d'un même pli arrive à laisser bien peu de points dans le doute ou dans l'ombre. C'est une autre stratigraphie que celle des pays de plaines, où la constatation des superpositions suffit à résoudre tous les problèmes ; c'est une stratigraphie qui a ses lois cependant, assez bien connues maintenant et assez précises pour avertir d'une erreur et pour ne pas laisser persister dans une fausse voie. Les conquêtes faites dans ces dernières années sont pour nous un sûr garant de celles qui sont réservées à un prochain avenir, et sans prévoir encore le temps où nous pourrons livrer aux analyses toutes les données d'un problème mathématique, nous pouvons avoir la confiance que les chaînes de montagnes nous laisseront pénétrer plus profondément dans le secret de leur formation.

NOUVELLES ET INFORMATIONS DIVERSES

Notes ichtyologiques par M. A. Daimeries.

Nous avons précédemment rendu compte des notes successives publiées par M. Daimeries, dans les procès-verbaux de la Société Malacologique de Belgique.

Nous trouvons dans le procès-verbal de la séance du 9 janvier 1892, la septième note sur les poissons du Tertiaire et du Crétacé de Belgique.

Cestrationtes

Les couches de l'Éocène belge ont fourni un vrai Cestrationte du genre *Acrodus*, dont l'auteur fait une espèce nouvelle sous le nom : d'*Acrodus contortus*, Daimeries.

Les dents de l'*Acrodus contortus* ressemblent à celles du Sénonien décrites par Agassiz sous le nom d'*Acrodus rugosus*.

Ces dents ont des formes très variables, en rapport avec les diverses positions qu'elles occupent dans la mâchoire. Aucune d'elles n'est plane, soit horizontalement, soit verticalement. Elles possèdent une crête médiane accusée, d'où partent des lignes sinueuses vers les bords latéraux. La ligne médiane s'enfle vers le milieu de la dent, où elle forme une protubérance arrondie, lisse, souvent réduite par l'usure ; à cette protubérance correspond un élargissement latéral de la dent.

Avec ces dents, on a rencontré des débris d'épines en assez mauvais état, qui pourraient être rapportées avec doute à l'espèce. Ces épines sont latéralement comprimées et portent une carène sur le côté postérieur.

Gisements. L'*Acrodus contortus* a été rencontré dans le gravier de base du Bruxellien à Hougaerde et à Calevoet ; dans les sables bruxelliens de Schaerbeek et dans le gravier de base du Laekenien (gravier à *Nummulites laevigata et scabra* roulées) à Saint-Gilles.

Famille des Pharyngodopilidæ (Cocchi).

Dans cette famille, à laquelle M. Sauvage a fait subir plusieurs transformations, rentre le groupe des *Phyllodus*, assez largement représenté dans nos terrains.

Phyllodus ? de Borrei. Winkler.

Cette espèce a été dénommée par le Dr Winkler. Elle se caractérise par l'égalité de la grandeur des dents des deux rangées latérales, ce qui la différencie de *Phyllodus toliapicus*. Ag.

Gisement. Le *Phyllodus de Borrei* a été rencontré à la partie supérieure de l'Ypresien (zone à *Nummulites planulata*), à Saint-Josse-ten-Noode et dans le gravier base du Bruxellien de Calevoet.

Phyllodus toliapicus. Ag.

Exemplaires se rapportant exactement aux figures et aux descriptions d'Agassiz.

Gisements. Partie supérieure de l'Ypresien (zone à *Nummulites planulata*), à Schaerbeek.

Gravier base du Bruxellien à Calevoet.

Gravier base du Bruxellien à Schaerbeek et Saint-Gilles.

Gravier base du Laekenien à Saint-Gilles.

Phyllodus polyodus Ag.

L'auteur n'en possède que quelques grandes dents médianes, reconnaissables à leur forme allongée, très étroite, droite ou peu courbée.

Gisements. L'espèce provient du gravier base du Bruxellien (Calevoet), et des sables bruxelliens graveleux de Schaerbeek.

Phyllodus margoralis.

On rencontre, de cette espèce, de grandes dents médianes, allongées, droites ou courbées, plus larges que les dents de l'espèce précédente. C'est, jusqu'ici, la plus grande espèce belge du genre.

Gisement. Gravier de base du Bruxellien (Calevoet, Hougaerde) et du Bruxellien de Schaerbeek.

La même famille des *Pharyngodopilidae* comprend encore la forme suivante :

Nummopalatus belgicus. Daimeris.

Cette nouvelle espèce se rapproche du *Nummopalatus Chantrei*. Sand. des faluns de Bordeaux (Miocène); elle en diffère toutefois par un certain nombre de caractères indiqués par l'auteur.

Gisements. Gravier base du Laekenien.

Enfin, M. Daimeris ajoute deux formes, dont une nouvelle Amyde aux Ganoïdes de Belgique.

Lepidotus Francottei. Daimeris.

Cette espèce n'est connue que d'après des écailles grandes, allongées, à face externe couverte d'un dessin émaillé formé de rugosités accusées, irrégulières, généralement radiantes du centre vers les bords. Ces rugosités diffèrent suffisamment l'espèce du *Lepidotus Maximiliani* des mêmes gîtes belges.

Gisements. Gravier base du Bruxellien (Hougaerde) et sable graveleux bruxellien, à Schaerbeek.

Accipenser cretaceus. Daimeris.

On ne connaît de cette forme que les grandes écailles ou écussons dermiques qui garnissaient le dos et les côtés du corps du poisson. Leur forme est triangulaire; une crête énorme forme centre près du bord antérieur; du centre partent des stries radiantes recoupées à angle droit par d'autres.

Les écailles du dos sont symétriques, celles des côtés asymétriques. La face interne est lisse.

La plus grande écaille a 18 millimètres de long.

Gisement. Sénonien. — Zone littorale à *Micrabacia* de Folx-les-Caves.