

Un nouveau genre de reliefs tectoniques

Autor(en): **Girard, R. de**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **10 (1908-1909)**

Heft 1

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-156856>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Un nouveau genre de reliefs tectoniques

par le D^r R. DE GIRARD,

Professeur de géologie à l'Université de Fribourg¹.

II

Considérations générales.

Principe de la méthode. Le relief « structural » d'une région montagneuse naît du *plissement* et de la *fissuration* des assises rocheuses, non de l'empilement d'une pierraille. Seuls, les cônes volcaniques procèdent d'une *accumulation* de débris. Dès lors, les « reliefs » confectionnés jusqu'ici par l'accumulation de parcelles gypseuses ou argileuses (qu'on humecte pour les coller ensemble) imitent en un sens la genèse des montagnes volcaniques, mais l'opération qui leur a donné naissance n'a rien de commun avec les phénomènes qui engendrent les dislocations terrestres. Le modelage de la masse est encore une accumulation (par déplacement) et, quant au travail de sculpture qui parachève l'œuvre, il n'imité que l'*érosion* superficielle.

En modelant et sculptant une *masse*, on obtient à volonté toutes les formes qu'on désire. On dispose, pour les réaliser, de l'accumulation et de l'ablation, mais on n'est pas en droit d'affirmer que la flexion pourrait les produire. Au contraire, en plissant — au besoin jusqu'à déchirement — une *feuille* préexistante, à laquelle on ne peut rien enlever ni rien ajouter, on se place dans les conditions mêmes où sont nées les chaînes de montagnes et on peut affirmer que toutes les formes qu'on engendre sont *possibles* pour une plaque en voie de ridement.

Utilité géologique des reliefs. La lithosphère terrestre, dans son ensemble, ou une strate rocheuse, en particulier, étant des plaques, on peut licitement leur appliquer les conclusions

¹ Ce travail devait être présenté à la réunion de Fribourg de la Société helvétique des sciences naturelles (1907). Il figurait au programme de la section de géologie et les reliefs confectionnés par l'auteur étaient exposés dans la salle des séances, mais celui-ci, retenu à la Commission sismologique, ne put pas faire sa conférence.

que fournissent les expériences de plissement et celles-ci deviennent un critérium pour juger de la *possibilité* des formes tectoniques, dans les cas fréquents où l'étude du terrain conduit à en admettre de compliquées sans fournir des indices absolument certains de leur réalité.

En effet, comme le dit M. DE LAUNAY, « il faut toujours partir de cette idée que la tectonique nous amène à étudier les terrains dans des conditions plus ou moins contraires aux règles normales de la stratigraphie et que la stratigraphie paléontologique doit, néanmoins, rester satisfaite ». Cela signifie que l'ordre normal de superposition des assises ne peut être troublé que localement et d'une façon qui lui permette de se rétablir aux limites de la région disloquée. Or, on sera sûr de rester dans cette donnée en se servant d'une plaque dont les deux faces représenteront des horizons à situation relative déterminée et qui seront assujétis à la condition de se retrouver, malgré tout, en superposition normale sur les bords du « relief » construit.

Réciproquement, l'examen du « relief » permettra, comme le demande encore M. DE LAUNAY, de retrouver la série des mouvements mécaniques, par lesquels l'ensemble des deux horizons, d'abord normal, a pu être amené à l'état anormal qu'on observe ¹.

La méthode essentielle de la tectonique consiste, dans tous les cas possibles, à multiplier les coupes verticales en sens divers et à les « interpréter » en en reliant les traits connus par des courbes hypothétiques, jusqu'à ce qu'on soit arrivé à un système tel qu'il concilie, à la fois, toutes les observations géologiques par une hypothèse mécaniquement admissible. Dans ce travail, on est guidé par la nécessité de satisfaire, à la fois, aux exigences de *plusieurs profils* et les hypothèses inexactes, que l'on peut être tenté d'adopter sur l'un de ces profils, se trouvent successivement éliminées par les autres ².

Or, n'est-il pas évident que le moyen le plus sûr pour amener la concordance de diverses coupes verticales, c'est de les réunir, non seulement par quelques lignes génératrices d'une surface gauche, mais *par cette surface elle-même*, comme cela a lieu dans mes reliefs ? Ce système, n'est-il pas, entre tous les modes de représentation, le plus apte à figurer un état de choses réel ou une conception théorique, « sous

¹ *La science géologique*, par L. DE LAUNAY, ingénieur en chef des Mines, professeur à l'École des Mines de Paris (1905), p. 237.

² DE LAUNAY, *Op. cit.*, p. 234 et 235.

une forme plastique, où ses particularités, au besoin ses incohérences, sautent aux yeux¹ » ?

Par l'emploi de cette méthode, la tectonique deviendra de plus en plus, selon le désir de M. DE LAUNAY, « une géométrie descriptive de précision² ». En effet, comme l'a bien dit mon regretté maître, MARCEL BERTRAND, dans les mouvements orogéniques, « le plus ou moins grand nombre de kilomètres importe peu ; il n'y a là qu'une question de comparaison avec l'échelle à laquelle nos sens nous ont habitués. Au point de vue de la possibilité matérielle du phénomène, la moindre objection d'ordre géométrique, comme celle des rapports d'espace ou de surface occupés, est autrement grave, si même elle frappe moins l'esprit³ ». Dès lors, il n'y a pas lieu de se préoccuper de « l'énorme disproportion entre les déformations mécaniques que réalisent nos expériences et celles que nous offre la nature⁴ ». M. DE LAUNAY lui-même l'a reconnu, *c'est de géométrie qu'il s'agit ici* et non de mécanique, à proprement parler. Il peut y avoir, et il y a réellement, disproportion entre les forces et les masses ; il ne saurait y en avoir entre les formes, celles-ci étant indépendantes de toute mesure absolue.

La conséquence de ceci est que le *mode* de plissement importe peu. J'ai employé tantôt une presse horizontale, tantôt l'action pure et simple des doigts. Il m'est arrivé de réaliser du premier coup la forme désirée et, d'autrefois, il y a fallu une série de retouches. Quoi qu'il en fût, la forme résultante provenait du plissement ; elle était de celles qu'on peut, sans hésitation, attribuer à la contraction terrestre, et les manipulations diverses qui furent nécessaires pour la produire nous renseignent sur la nature des efforts orogéniques correspondant à telle ou telle forme tectonique. Tout est là.

Processus de la dislocation. — Depuis quelques années, les déformations accompagnées de rupture des couches ont pris, dans notre conception des chaînes de montagnes, une place qu'elles n'avaient pas auparavant et on peut se demander si, dans les cas de ce genre, la rupture se produit dès l'origine du mouvement, ou si, au contraire, la déformation initiale est toujours un plissement. Le fait que les inflexions originelles ont disparu ne préjuge rien et on peut admettre que les *failles à rejet direct* procèdent de la rupture d'un *pli*

¹ *Ibidem*, p. 235. — ² *Ibidem*.

³ La grande nappe de recouvrement de la Basse Provence (*Bull. des serv. de la Carte géol. de France*, X [1899], p. 5 et 6).

⁴ DE LAUNAY, *Op. cit.*, p. 234.

en genou, les *failles inverses* (plis-failles et chevauchements) n'étant que l'exagération d'un *pli couché*. A l'appui de cette manière de voir, on peut citer la constatation, faite dans les champs de fractures, que cette exagération des efforts est toujours localisée, de sorte qu'il y a *passage latéral* du pli à la cassure qui en dérive, et réciproquement.

Dans le même ordre d'idées, on admettra que les *décrochements* (Blätter) dérivent des *sygmoïdes* et que les fentes par traction plane : les *joints*, sont dues aux efforts de déchirement que développent, dans certains cas, les courbures exigées par le plissement¹.

Mais d'autres géologues pensent que le mouvement initial a été un *écartement* dans le sens horizontal, permettant l'*affaissement* centripète pur et simple des régions interposées². Quant à la dénivellation sans laquelle un chevauchement n'est pas possible, il en est qui l'attribuent à une cassure verticale immédiate.

Je n'ai pas à entrer dans ce débat : Le but que je poursuis, dans cette série d'expériences, est la reproduction des formes de plissement. Or, quand elle survient sous l'action d'un effort plissant, la fissuration n'est qu'un moyen, employé par la matière *pour éluder l'obligation de se plisser*. Donc, pour pousser aussi loin que possible la réalisation de plis compliqués, il faut éviter que la fissuration n'intervienne : Dès qu'elle se produit, l'expérience est terminée.

Je suis parvenu à éviter le déchirement en opérant sur des feuilles de plomb laminé. Ce métal a avec les roches la propriété commune de ne pas « faire ressort » et il est assez flexible pour ne se déchirer qu'à la dernière extrémité. Je l'emploie en général à l'épaisseur de $\frac{3}{4}$ de millimètres ; il est ainsi très maniable et me permet de pousser l'analyse des formes plissées plus loin qu'avec toute autre matière usuelle.

Lorsque j'opère à la presse, — pour étudier, par exemple, l'effet de deux refoulements angulaires successifs, — j'évite au contraire que ma plaque ne *se chiffonne* trop vite, en

¹ C'est l'opinion de M. DE LAPPARENT : « La plasticité relative dont jouissent les sédiments (on pourrait dire : toutes les roches) dans l'intérieur (humide?) de l'écorce terrestre, dit-il, a dû leur permettre en général de se déformer avant de se rompre. La forme normale de leurs dislocations est donc celle de *plis*, susceptibles de devenir des *cassures*, lorsque la limite d'élasticité est dépassée. » (*Traité de géologie*, 5^e éd., 1906, p. 1858.) — Cette conception, toute moderne, repose en somme sur le principe de la *plasticité latente* énoncé par HEIM dès 1878 (*Mechanismus der Gebirgsbildung*, II, 1, D.)

² Powell et Dutton, in Suess, *Antlitz* (trad. franç., tome I, p. 171).

employant du plomb plus épais. Mais, dans l'un comme dans l'autre cas, la plasticité relative de la matière imite celle des roches situées en profondeur, et cela est important.

Formes concomittantes. — Nous venons de voir que le plissement ne se produit par toujours seul. Quand les courbures sont trop brusques ou trop multipliées sur le même point, la *fissuration* apparaît. On ne la désirait pas, on n'a rien fait d'intentionnel pour la produire. Elle est *spontanée* et *concomittante* aux formes *cherchées*. C'est la conséquence inévitable des limites toujours posées à la flexibilité de la matière.

Une autre cause de dépendance, qui empêche une région donnée d'une plaque d'obéir, sans autres, aux efforts qu'on exerce sur elle, ce sont les *attaches latérales* dont l'influence, très difficile à analyser et surtout à prévoir, se traduit par certaines conditions posées à la réalisation d'une forme donnée. Ces conditions consistent dans l'apparition *spontanée* de nouveau et *inévitable*, à côté du pli qu'on s'efforce de produire, d'autres plis, accessoires et *concomittants*.

Dans l'un comme dans l'autre cas, les **formes concomittantes** accompagnent la **forme cherchée** avec une nécessité telle que, si on s'oppose à leur naissance, la forme désirée ne peut plus se produire. C'est par rapport à ces formes accessoires que l'expérience acquiert le maximum de son intérêt, parce qu'elle seule peut nous mettre sur la voie d'une analyse qu'il ne semble pas possible de tenter à priori.

Dans chaque expérience, je poursuivais la réalisation d'une *forme désirée*, indiquée comme existante par les observations sur le terrain et dont je voulais contrôler la *possibilité géométrique*¹. Je ne m'occupais pas du tout des *formes concomittantes* qui pouvaient naître spontanément. Je ne faisais

¹ Il y a, en effet, parmi les formes entrevues dans ces dernières années par les géologues alpins, des types dont la possibilité géométrique n'est pas certaine à priori. De ce nombre sont les interversions dans le sens du déjettement d'un pli, et cela sans rupture; les plis déjetés puis courbés horizontalement en dedans ou en dehors; le passage de la structure isoclinale à l'éventail; les sigmoïdes; les rebroussements; les plis en champignon; les divers effets attribuables à deux refoulements, synchroniques ou consécutifs, etc.

J'ai fait quelques expériences, non plus sur une feuille unique, mais sur un ensemble de plaques superposées, imitant un système de couches sédimentaires. Je me suis aperçu qu'à part quelques plissements ou décollements internes, semblables à des faits connus dans la nature (décollements des strates aux charnières: « Faltengänge »), un tel complexe se comporte comme une feuille unique. Il est donc inutile de surcharger les expériences d'une difficulté matérielle sans profit.

rien ni pour faciliter ni pour entraver leur apparition. Quand la forme cherchée était produite, l'expérience était terminée et il ne me restait qu'à chercher dans les monographies si quelque chose d'analogue à mes formes accessoires avait été observé effectivement. C'a été le cas plus d'une fois.

Rapports avec les expériences antérieures. — Des essais de reproduction expérimentale des plissements ont été tentés, dès la fin du dix-huitième siècle, par Hall en Ecosse et par Buffon en France. L'expérience, restée classique, de Hall consistait simplement à refouler, entre deux livres placés sur la tranche, des morceaux d'étoffes diverses empilées et maintenues par un troisième volume, reposant horizontalement sur les premiers¹. Il obtenait de la sorte des plissements qui rappelaient en gros ceux connus de son temps dans les couches de montagne, et le même effet se produit spontanément dans la région axiale d'un rouleau d'étoffe. Plus tard, ALPHONSE FAVRE², DAUBRÉE³ et REYER⁴ instituèrent des expériences plus savantes et plus compliquées.

Ces tentatives sont trop connues pour que j'aie besoin de les décrire à nouveau ; je me bornerai à noter les différences essentielles qu'elles présentent avec les miennes :

Etendue horizontale des plaques : Dans les expériences de FAVRE, la masse de terre glaise mise en œuvre avait, avant le refoulement, une longueur moyenne de 60 cm., tandis que sa largeur n'était que de 12 cm., soit $\frac{1}{5}$ de la longueur. DAUBRÉE opérait sur des lames d'acier d'une longueur de 25 cm. et d'une largeur moyenne de 4 cm., soit moins de $\frac{1}{6}$ de la longueur. C'est à dire que, dans l'un ou l'autre cas, on avait affaire à de simples *bandes*, ce qui réduisait presque à néant l'influence, si grande en réalité, des *attaches latérales*. Aussi les expériences de DAUBRÉE ont-elles donné des résultats, — très intéressants, à la vérité, — quant à la *coupe verticale* seulement. Les bandes de FAVRE, malgré leur faible largeur, révèlent déjà quelques particularités dans le *tracé horizontal* des plis, pourtant si courts, qu'elles renferment : La terminaison par *ennoyage*, la *ramification* et l'*intervertion* dans le sens du déjettement y apparaissent. On pressent qu'avec un peu plus de largeur, le dessin horizontal deviendrait très intéressant. Or, ce point ayant repris, par les travaux de

¹ *Transact. R. Soc. Edinburgh*, tome VII, 1813.

² *Archives des Sc. phys. et nat.*, t. LXII, juin 1878.

³ *Etudes synthétiques de géologie expérimentale*, 1879.

⁴ *Geologische und geographische Experimente*, I. Heft, 1892.

Suess, l'importance que lui attribuaient, — dans un sens différent, — Elie de Beaumont et de Chancourtois, je ne pouvais le négliger et c'est pourquoi j'ai opéré sur des plaques aussi larges que longues.

Je ne prétends pas, d'ailleurs, avoir atteint une perfection intrinsèque plus grande que FAVRE. Ce qui m'a déterminé à reprendre les expériences, c'est avant tout le fait que les progrès de la géologie alpine ont mis en question bien des formes tectoniques compliquées, insoupçonnées ou en tout cas non étudiées par lui et par DAUBRÉE.

Les expériences de REYER sont du plus haut intérêt. Elles ont porté sur différents côtés du problème tectonique ; un tiers seulement d'entre elles se rapproche du présent travail ¹. Chez lui, l'étendue horizontale de la surface disloquée est plus considérable et prête souvent à des constatations suggestives ².

Matière employée : REYER, comme FAVRE, opère sur des complexes d'assises de nature, et par conséquent de résistance, très différente, parce que son principal souci est d'étudier les déformations internes, d'origine mécanique, de ces complexes. Mais la complexité même de la matière qu'il met en œuvre lui interdit la production de formes compliquées. Mon but, je l'ai dit, est précisément d'étudier et de contrôler au point de vue surtout géométrique, ces formes nouvellement découvertes, et la complexité des déformations à réaliser exige l'emploi d'une matière simple, d'un maniement facile comme le plomb.

REYER emploie toujours des matières susceptibles de se fendiller ³, c'est que la combinaison des plis et des fentes, la subordination de l'un des modes de dislocation à l'autre, le préoccupent beaucoup. Il semblerait presque que son attention soit appelée sur les cassures avant tout. Il leur fait jouer le rôle prépondérant dans la formation des cluses : « En pays plissé, dit-il, les cassures normales (à la direction des plis) tracent à l'érosion son chemin. Dans bien des cas, on peut prouver que les cluses occupent des régions hachées de failles transverses. L'érosion a beau jeu surtout là où les fentes

¹ Le chapitre *Variation im Streichen*, p. 36 et suiv.

² Voir surtout le paragraphe *Seebildung in Faltgebirgen*, p. 45 et suiv. La longueur des couches allait de 0,5 à 1 et à 2 mètres (p. 5) ; il n'indique pas exactement leur largeur, ce que j'en dis est basé sur l'aspect des figures qu'il donne.

³ C'est de l'argile et du gypse ; parfois il y intercale du papier ou de l'étoffe ; il lui arrive d'y superposer une couche de sable.

furent béantes dès l'origine ¹. » C'est la « Spaltentheorie » des anciens géologues, combattue par RÜTIMEYER ² et HEIM ³.

FORCHHEIMER ⁴, CADELL et PEACH ⁵, de même que B. WILLIS, dans leurs expériences de ruptures avec chevauchements consécutifs, employaient, pour le même motif, le sable et le gypse en poudre.

Épaisseur des plaques : DAUBRÉE opérait sur des lames relativement minces, dont l'épaisseur pouvait, dans certaines expériences, varier d'un point à un autre, de façon à déterminer des régions faibles se disloquant de préférence aux autres. FAVRE et REYER se servaient de couches qui, vu leurs dimensions horizontales, doivent être qualifiées d'épaisses. La puissance totale du système allait, chez FAVRE, de 2, 5 à 6 cm. ⁶; elle atteignait 10 cm. chez REYER ⁷ et cette circonstance, jointe à la nature variée des assises superposées, faisait que les déformations obtenues affectaient très inégalement les divers horizons de la masse.

L'étude de cette inégale répartition des efforts et de leurs résultats était l'un des buts poursuivis par REYER, et ce côté de ses études est fort intéressant. Mais, s'il est facile de saisir l'allure d'ensemble de la couche superficielle, cela devient quasi impossible pour les autres, dont on ne voit que deux tranches. Chez FAVRE, tout se réduit presque à des exfoliations superficielles, sans écho en profondeur, et en fait de ruptures, il n'y a guère que le déchirement des sommets anticlinaux. Dans l'une et l'autre série d'expériences, il ne saurait être question de déterminer une forme totale et, si la recherche d'une telle figure peut être regardée comme entachée de « schématisation », elle trouvera son excuse dans la complexité des formes auxquelles je l'ai appliquée, tandis que FAVRE comme REYER se sont bornés à des formes plutôt massives, qui seraient simples sans les ruptures qui les accidentent.

Utilité pédagogique des reliefs. — C'est surtout au point de vue de l'enseignement que le nouveau genre de reliefs me paraît avoir sur l'ancien un avantage décisif, et je voudrais que ce travail fût une contribution à la didactique plutôt qu'à la science elle-même.

L'utilité pédagogique des nouveaux reliefs me semble double : Tout d'abord, ils font saisir, et en quelque sorte

¹ Page 40. — ² *Ueber Thal-und Seebildung*, 1869. — ³ *Mechanismus*, 1873. — ⁴ *Sanddruck*, 1883. — ⁵ *Nature*, vol. 37, p. 489. — ⁶ *Op. cit.*, p. 199. — ⁷ *Op. cit.*, p. 47.

« sauter aux yeux », ce principe fondamental de la tectonique que les formes structurales proviennent du *ridement des couches*. Dans les anciens reliefs, ces formes sont dues à la *sculpture d'une masse non littée* ; cela aussi « saute aux yeux » et c'est une mauvaise « leçon de choses ».

Si la masse sculptée se composait d'*assises* alternativement dures et tendres, dont la résistance variable au burin se traduirait dans le profil des pentes, l'élève y découvrirait la relation qui *subordonne l'érosion* à la structure profonde. Mais il n'en est rien en général, de sorte que les anciens reliefs représentent uniquement le cas exceptionnel d'une *roche massive* sculptée par l'érosion, et cela malgré que soient peints sur leurs faces latérales les joints (*Schichtfugen*) d'un système censé stratifié. Dans ces modèles, il y a donc *contradiction* entre le dessin arbitrairement imposé à la surface, et la structure interne que la masse possède réellement.

Cela n'empêche pas les reliefs « ancien système », comme je les appelle, d'être, dans certains cas, des instruments très utiles : Ceux de M. PEARCE, par exemple, avec leur *chapeau* représentant, sous forme matérielle, la région des « selles en l'air », donnent, — ce que mes reliefs en feuilles ne peuvent pas donner, — une notion claire de la différence entre la surface structurale et la surface topographique, plus une évaluation de ce que la montagne a déjà perdu par l'érosion. Les *stratoreliefs* de divers auteurs montrent, d'une façon intéressante, l'opposition, parfois très grande, du système actuel des cours d'eau avec celui qui correspondrait à la surface structurale. Enfin, il importe de ne pas confondre avec tous ces modèles les *stéréogrammes* imaginés par M. LUGEON¹. Comme les miens, ces reliefs sont avant tout tectoniques ; la structure profonde y est conforme à la réalité, seule l'érosion y est schématisée et limitée dans ses effets, selon les besoins de la démonstration. S'ils sont démontables, — ce que j'ignore, — si, par exemple, les diverses nappes qu'ils figurent peuvent s'isoler pour montrer leur surface inférieure et l'accommodation de celle-ci au relief de leur substratum, ce sont des instruments pédagogiques de haute valeur.

Dans mon système, il suffit de convenir que la surface topographique est celle du modèle lui-même et de « décaper » par place la feuille de plomb, pour faire apparaître comme des *réalités tangibles* ces formes, dues à l'érosion, que nous appelons *fenêtres* et *massifs centraux* (fig. 1).

¹ Voir le fac-similé qu'il en donne dans *Les grandes nappes de recouvrement* et dans *Les nappes de la Tatra*.

Les divers genres de reliefs ont leur utilité propre ; on se servira, suivant le cas, des uns ou des autres.

Un second point est celui-ci : Le dessin perspectif le meilleur ne réussit pas toujours à faire bien comprendre aux étudiants les formes tectoniques, et cela est vrai surtout pour les formes compliquées et gauchies que la géologie alpine a découvertes dans ces dernières années. Mais ces formes sont si intéressantes en elles-mêmes et à cause des problèmes que leur existence soulève, l'histoire de leur découverte est si riche en enseignements méthodiques, qu'il importe de rendre l'étude de ces formes — si difficile soit-elle — accessible à nos élèves d'universités. La représentation plastique est ici un adjuvant inappréciable, mais les anciens reliefs en plâtre ne montrent les formes tectoniques qu'en coupe et surtout, je le répète, ils ne donnent pas l'*impression* qu'elles résultent du plissement des strates. Les reliefs en feuilles ont, à ce point de vue, une efficacité beaucoup plus grande, ainsi que je l'ai remarqué dès que j'eus commencé à m'en servir, dans mon enseignement. Leur principal avantage est de présenter une couche unique, isolée dans l'espace. L'élève peut la palper sur toutes les faces, la retourner en tous sens, et cela facilite énormément pour lui la *conception plastique* (die räumliche Anschauung). Les bords de la plaque donnent toujours la coupe correspondant aux bossellements superficiels et, de cet ensemble que l'œil embrasse à la fois, résulte une *impression de plissement* que rien d'autre ne saurait donner. (Voyez, p. ex., la fig. 2.)

Emploi des reliefs : Après avoir contemplé, au cours de tectonique, les modèles que je leur présente, mes élèves se mettent, au laboratoire, à les *dessiner* de différents points de vue, à en dresser des profils et des cartes. Le dessin perspectif étant presque entièrement négligé dans les collèges, nos élèves n'y sont point habitués¹ et cet exercice vient à point combler une lacune inadmissible chez un futur naturaliste. On peut en dire autant de la représentation par courbes de niveau des formes, souvent compliquées, du relief.

On passe ensuite à la *confection* de reliefs analogues. Rien ne vaut le modelage pour faire réellement connaissance avec les formes plastiques, mais la confection de reliefs en plâtre est trop longue, trop compliquée, pour pouvoir devenir un « exercice » courant. Avec le plomb, il n'y a point de diffi-

¹ Voyez ce que j'en dis, dans mes *Questions d'enseignement secondaire*, tome I, p. 274.

culté. Pour chaque cas, nous cherchons dans les monographies les formes qu'on *suppose* exister et nous essayons de les réaliser en froissant une feuille de plomb. Ce faisant, nous nous rendons compte du mécanisme par lequel chaque forme prend naissance et des particularités qui accompagnent son apparition (formes concomitantes, etc.). Nous nous familiarisons tellement avec les formes les plus compliquées que, dans la suite, il nous sera aisé de les imaginer pour rendre compte de ce que nous verrons sur le terrain ou déduirons des cartes. Enfin, nous apprenons à juger des difficultés, voire des impossibilités, auxquelles se heurtent certaines suppositions tectoniques. La matière employée est peu coûteuse, la technique de l'opération très simple, le profit pédagogique considérable.

II

Reliefs-Cartes.

Les reliefs dont il a été question jusqu'ici — et dont je donnerai dans la suite de nombreux exemples — ne représentent chacun que le schéma d'un type de plissement, ne portent jamais que sur une portion très limitée de la lithosphère. Or il était intéressant de voir si le procédé est susceptible de s'étendre à des régions plus vastes, tout en gardant *une exactitude suffisante dans les proportions* pour reproduire la surface structurale d'une contrée donnée.

L'étendue de la plaque nécessaire à une telle imitation, le grand nombre des plis qui devraient s'y produire côte à côte, allaient — on pouvait le prévoir — mettre en jeu, plus que dans tous les cas précédents, l'influence des attaches latérales et il fallait voir si ces actions paralyseraient le modelage ou si, au contraire, elles lui viendraient en aide.

Ma première tentative a porté sur le *Horst armoricain* (fig. 3). J'ai essayé de le produire en plissant avec les doigts une feuille de plomb de $\frac{3}{4}$ de millimètre. Comme modèle, j'avais sous les yeux la carte géologique de la France au millionième. Mon relief est devenu un peu plus grand, mais dans tous les sens également, de sorte que les proportions ne sont pas perdues. Une fois le plissement terminé, ou plus ou moins au fur et à mesure de sa réalisation, le littoral maritime a été découpé avec des ciseaux, certaines baies comme celles de la Forest ou de Quiberon, celles de Saint-Brieuc ou de Saint-Malo, interrompant le parcours des plis.

Là où ceux-ci atteignent la mer, on n'a pas cherché à déprimer leur extrémité : leur coupe apparaît comme cela se produit en réalité dans les caps qui alternent avec des *rias*.

Tous les anticlinaux indiqués par la carte se retrouvent dans mon relief. Je me suis efforcé de leur donner l'étendue marquée par les traînées granitiques et on constatera que j'y ai réussi, à bien peu de choses près, même pour ceux dont le parcours est sinueux. Pour le bassin central et la région de l'est, j'ai fait entrer en ligne les ondulations marquées par les affleurements cambriens, mais en les tenant assez basses pour que ce terrain pût être censé y manquer. De la sorte, la surface du relief tout entière représente celle du cristallin.

La hauteur que chaque pli prenait spontanément entre mes doigts était en raison de la largeur que je lui donnais volontairement. Il se trouve donc que les plis du relief sont d'autant plus hauts que leur remplissage granitique occupe, sur la carte, un espace plus large. Or, abstraction faite de l'érosion, cela est conforme à la réalité, et cela prouve, une fois de plus, que le plissement d'une feuille mince imite adéquatement la genèse des surfaces structurales.

Le recouvrement du granite est constitué par le cristallin (sauf les cas d'intrusion, dont je n'avais pas à tenir compte). La surface de contact du granite et du gneiss n'a pas été déformée par l'érosion, puisqu'on admet en général que le granite n'est pas venu au jour et que ses affleurements proviennent uniquement de l'érosion de sa couverture. Dès lors, les concavités inférieures du relief figurent les batholites granitiques et sa surface peut être censée correspondre à la surface structurale du cristallin, ainsi que je le disais tout à l'heure.

Tout à fait analogues aux caps d'une côte à *rias* sont les anticlinaux que le Horst projette, du côté de l'est, dans la bordure du Bassin de Paris. Ils ont été traités de même et leur coupe apparaît au bord du relief, comme elle affleurerait sur les failles bordières, si un affaissement du bassin oriental mettait à nu la falaise tectonique¹.

Le relief est donc vrai au point de vue géologique. On admettra, je pense, que son exactitude géographique est suffisante, et on conviendra que ce genre de représentation est très propre à faire saisir à un auditoire les grands traits d'une description tectonique.

Dans une seconde tentative, j'ai essayé de reproduire *le*

¹ Si le Bassin de Paris est une *aire d'ennoyage*, comme le prétend Haug (*Traité de Géol.*, I, 213), ces plis doivent s'annuler au bord du « relief ».

Plateau-Central français (fig. 4). Le mode de confection a été le même et j'ai supposé ce horst hercynien isolé des fosses sédimentaires qui l'entourent. Les bords de la feuille de plomb sont les limites du horst et, comme ces dernières, ils proviennent de coupures postérieures au ridement.

Les petits cônes, nés d'une poussée exercée de bas en haut et percés au sommet, représentent les montagnes volcaniques. Ce mode de génération a été choisi comme donnant seul les apparences voulues; il ne fait pas allusion aux « cratères de soulèvement »¹. J'en couvre les surfaces volcaniques, sans garantir leur nombre.

L'intensité de l'érosion m'a forcé à me baser principalement sur les synclinaux. Dans l'ouest, elle a, sur plus d'un point, coupé leurs parcours; il en résulte un dessin confus, dans le relief comme sur la carte, et cette confusion est accrue par la superposition de deux systèmes, celui des synclinaux cristallins et celui des cuvettes houillères, qui ne coïncident que localement. Ce tronçonnement a été moins intense dans l'est, et le tracé des directrices y est beaucoup plus net.

Le relief montre bien le rôle joué par le synclinal houiller de Noyant. Il semble, en effet, résulter des recherches récentes que ce « chenal houiller » de la haute Dordogne (Mouret, Fayol) ne coïncide pas, comme Suess le pensait, avec un synclinal varisque². Le relief montre, mieux encore que la carte, que le rebroussement des plis et leur passage de la direction varisque (NE—SW) à l'armoricaine (SE—NW) se fait sur le cours de la Loire ou sur celui de l'Allier. Pour les cinq plis qui traversent l'éperon du Forez, on retrouve même facilement sur le relief les travées qui se correspondent de part et d'autre. Le sillon de Noyant court transversalement aux synclinaux armoricains, comme un fossé collecteur.

On remarque, en outre, que les plis venant de l'W, s'arrêtent par *ennoyage* à la rencontre de ce sillon. Or, la carte justifie ce phénomène spontané: A Montmarault, les mica-schistes apparaissent et, à partir de Pontaumur, ils encaissent le chenal houiller, d'une façon presque continue jusqu'à Decazeville. A droite et à gauche réapparaissent le gneiss ou le granite; il y a, bien réellement, sur cette ligne, un minimum d'altitude structurale. Il coïncide avec une concordance locale des deux systèmes de synclinaux.

¹ Sur leur alignement et le rôle qu'y ont joué les dislocations alpines, voir MICHEL LÉVY, *Livret-Guide de France*.

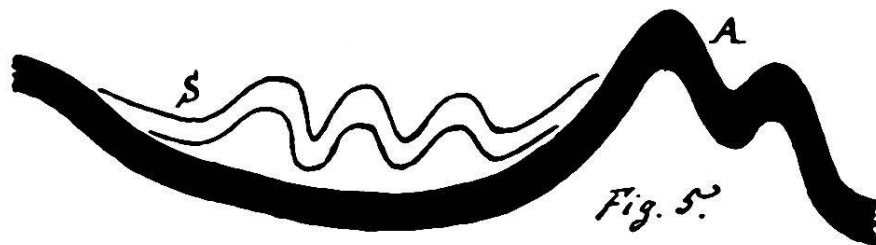
² *La face de la terre* (trad. de l'Antlitz), tome II, p. 184; voir note 2.

Le relief indique une dépression entre le Cantal et l'Aubrac, de telle sorte que les cônes du premier groupe sont superposés à un pli N-S, tandis que ceux du second ont pour base une ride varisque. Ici encore, la carte apporte justification, car une bande de micaschistes se glisse, en longeant la Truyère, entre les gneiss de Pinols et le granite de la Margeride. Cette dépression, à orientation varisque, recoupe le sillon de Noyant au SW du Cantal, dans la grande zone de micaschistes de Montsalvy, puis se prolonge, avec une direction armoricaine, jusqu'à Bourganef. Elle joue le rôle de *sillon de rebroussement*¹, sur la ligne Montsalvy-Montbrison.

Quant aux plis morvandiot, leur direction se rapproche de plus en plus des parallèles, ce qui est conforme à la loi énoncée par Suess : dans une *Schaarung*, le rebroussement des bandes externes est moins marqué que celui des régions profondes.

En résumé, on constate que les particularités de structure dues au rebroussement des plis, dans cette région si compliquée qui renferme la *Schaarung de l'Europe centrale*, ont pu toutes être reproduites dans le relief et que, parfois même, elles y sont nées spontanément. C'est, d'une manière générale, la preuve que le procédé est apte aux représentations tectoniques. Quant aux cas du dernier genre, ils rentrent dans la catégorie des *formes concomittantes* et il faut en rapprocher celui qui, dans le relief de l'Armorique, a fait naître, en arrière de la presqu'île de Crozon et de la rade de Brest, une saillie fortuite, laquelle se trouve correspondre au seuil paléozoïque qui s'interpose entre la mer et le bassin de Carhaix.

Une remarque, pour terminer : Si on part de l'idée que ce sont les plissements formés par le cristallin à l'époque huronienne qui ont déterminé tout d'abord les bassins de sédimentation, on devra conclure que tout ridement ultérieur subi par l'archéen A (fig. 5) a eu pour conséquence de frois-



ser les assises sédimentaires S, formées dans les synclinaux huroniens. C'est-à-dire que les plis du cristallin sont néces-

¹ Voir, ci-dessous, les expériences de rebroussement des plis.

sairement plus simples que ceux des sédiments anciens en contact avec lui.

Or, je l'ai dit, la surface de mes reliefs représente celle du cristallin : d'où la simplicité, l'envergure de leurs plis. Mais il est intéressant de se rendre compte du degré de froissement que présenteraient les assises paléozoïques pincées dans les synclinaux de nos deux horst, si elles étaient représentées, elles aussi, par une feuille de plomb. Les coupes données par Ch. Barrois, dans sa description de la Bretagne¹, sont, par rapport à mon relief, dans une position qui ne prête pas à cette recherche, par contre, la coupe que Bergeron donne du dôme de Roquebrun² va nous permettre quelques remarques intéressantes :

Ce dôme se décompose en cinq plis, dont trois anticlinaux, qui, en tenant compte de l'épaisseur propre à l'assise supérieure (grès à *Lingula Lesueuri*, de l'Ordovicien), soit dans le dessin 3^{mm}5, occupent dans la coupe une largeur de 46 mm. Le diamètre extérieur moyen d'un pli est donc de 9^{mm}2 et le rapport de ce diamètre à l'épaisseur de l'assise plissée prise, comme type vaut 2,63 (disons 3). Cette valeur est faible en effet, le minimum de ce rapport est 2, la largeur d'un pli ne pouvant s'abaisser au-dessous du double de l'épaisseur de la couche ; il faut déjà pour cela que les deux flancs se touchent. C'est dire que le plissement considéré est très intense, en effet, la coupe montre des synclinaux entièrement fermés.

Dans le relief, le socle cristallin du dôme de Roquebrun a 15 mm. de largeur, ce qui donne à chacun des cinq plis qu'il devrait supporter 3 mm. de diamètre extérieur moyen. L'épaisseur de la feuille de plomb étant supposée toujours de 0^{mm}75, le rapport ci-dessus s'élève à 4.

Notons d'abord que le plissement indiqué par la coupe de Bergeron, quoique intense, est réalisable avec mes feuilles de plomb. Il pourrait même être poussé plus loin, car les plis peuvent être complètement écrasés, et par conséquent le rapport 2 atteint, non seulement avec des feuilles de 0^{mm}75, mais même — en y mettant la force voulue — avec des plaques de 2 mm. d'épaisseur. La seule condition est que les plis à former le soient dans le bord de la feuille. S'il s'agissait de les créer dans son milieu, ce serait très difficile, mais la difficulté viendrait uniquement de l'embarras où l'opérateur serait pour agir à cette distance.

¹ *Livret-Guide géologique de France*, tome VII.

² Le massif de la Montage Noire, *Livret-Guide*, tome XVIII, p. 26.

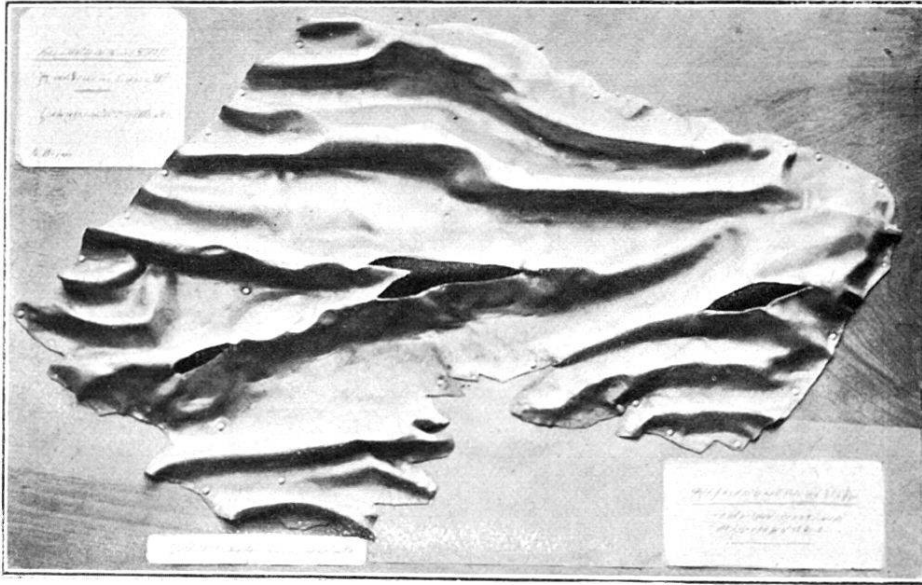


FIG. 1. — Fenêtres et massifs centraux.

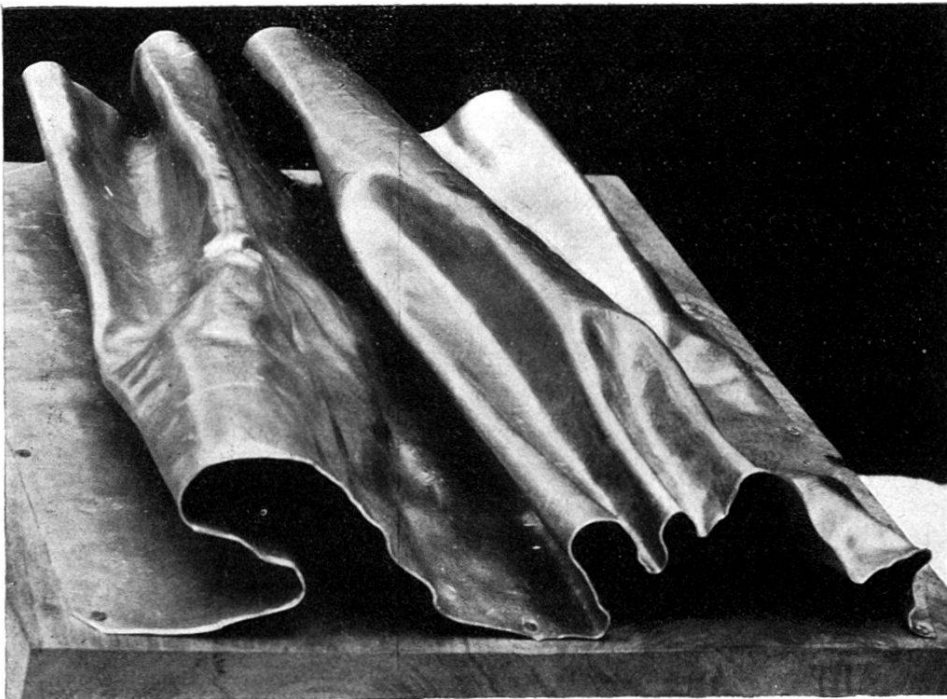


FIG. 2. — Plis couchés ramifiés.

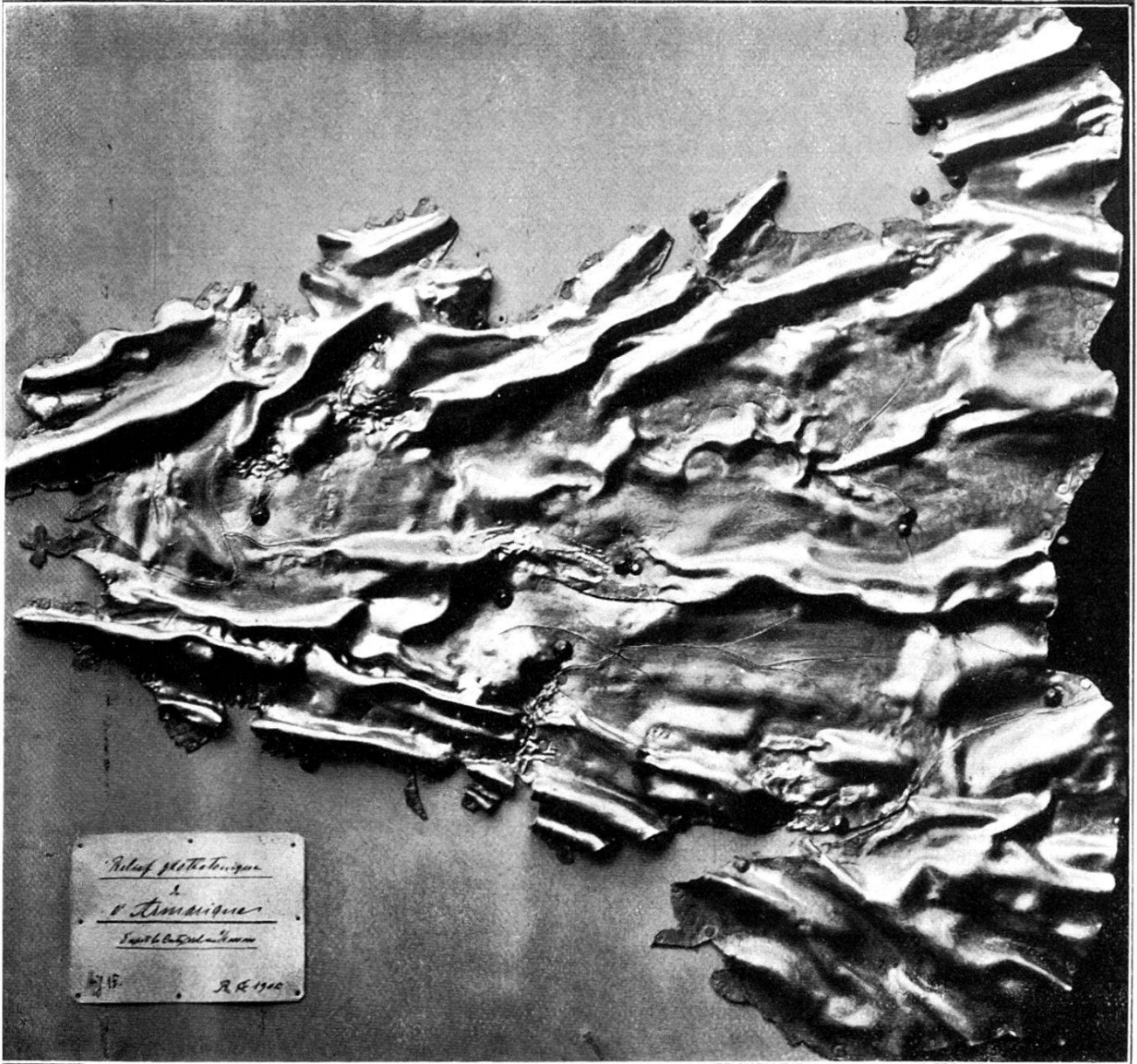


FIG. 3. — Le Horst armoricain.

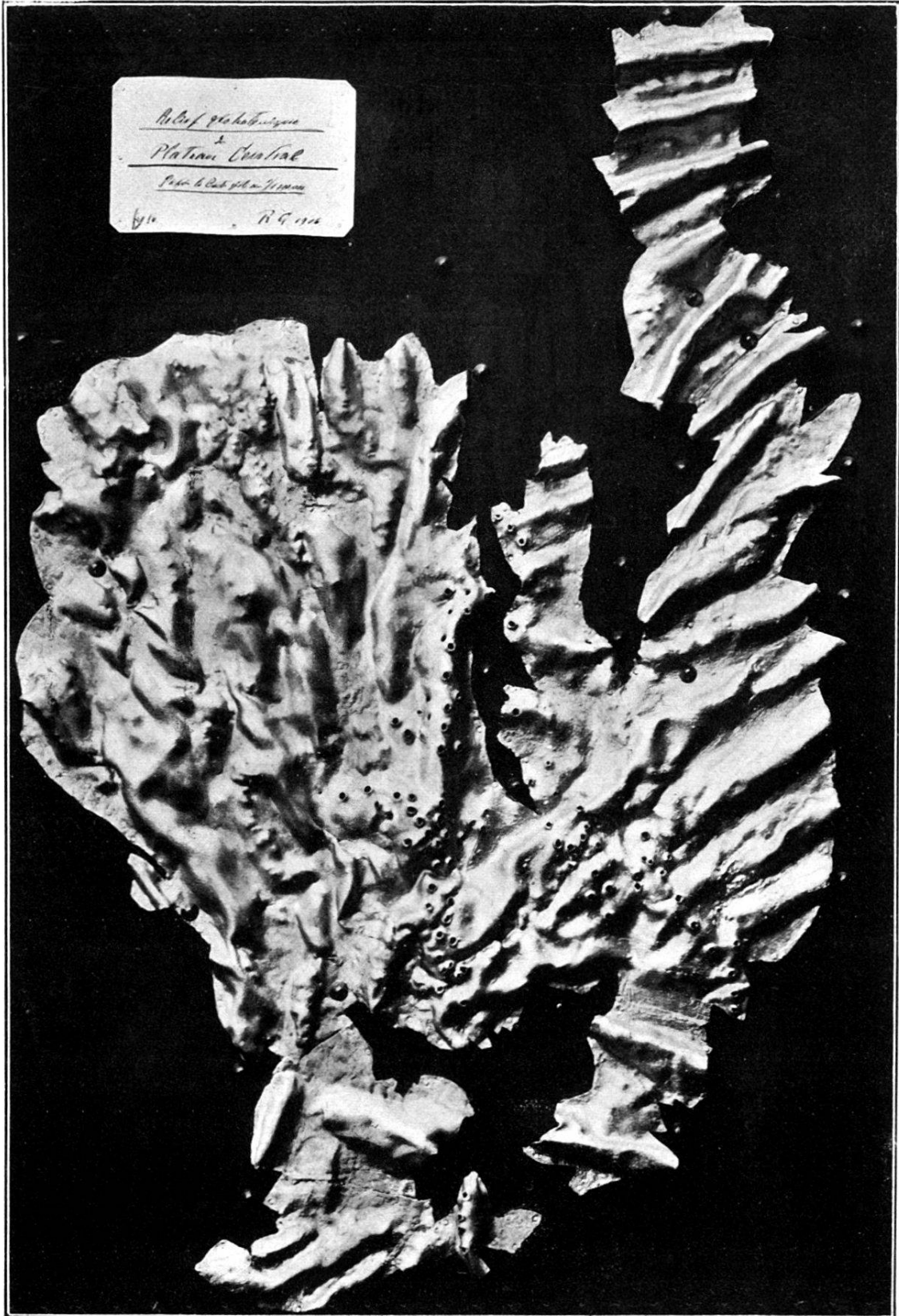


FIG. 4. — Le Plateau central français.

Les chiffres ci-dessus — se rapportant au cas particulier — montrent que, relativement aux plis formés, une feuille de plomb de 0^{mm}75 est moins épaisse que les assises rocheuses, cela dans le rapport de $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{3}$, soit de 3 à 4 environ. Pour représenter exactement ces assises, le plomb devrait avoir 1 mm. d'épaisseur. Et, avec cette épaisseur de 1 mm., il devrait former cinq plis de 3 mm. de diamètre, sur l'emplacement du dôme de Roquebrun. Tel serait — d'après un cas particulier, il est vrai, mais dont les proportions peuvent, sans inconvénient, être généralisées, puisque l'échelle des deux reliefs est sensiblement la même — le degré de froissement du paléozoïque dans ces reliefs.

(A suivre.)

Beiträge zur Geologie der westlichen Kientaleralpen. (Blümlisalpgruppe).

Von A. TRÖSCH, Bern.

Anmerkung. — Dieser Arbeit liegt keine Karte bei. Sämtliche Hinweise beziehen sich auf die *Geologische Karte der Gebirge zwischen Lauterbrunnental, Kandertal und Thunersee*, aufgenommen 1902—1905 von ED. GERBER, ED. HELGERS, A. TRÖSCH, bestehend aus *Spezialkarte No 43 a*, *Profiltafel No 43 b*, und einem Heft *Erläuterungen No 5. Beiträge zur geol. Karte der Schweiz*, 1907.

Literaturverzeichnis.

1. BACHMANN, J. Die Kander im Berner Oberland. Ein ehemaliges Gletscher- und Flussgebiet, 1870.
2. BALTZER, A. Das Berner Oberland und Nachbargebiete. Ein geologischer Führer. Berlin, Bornträger, 1906.
3. BERTRAND & GOLLIEZ. Les chaînes septentrionales des Alpes bernoises. *Bulletin de la Société géologique de France*, 3^e série, t. XXV, p. 568-596, 1897.
4. DOUVILLÉ, H. Observations géologiques dans les environs d'Interlaken. *Bulletin de la Société géologique de France*, 3^e série, t. XXVIII, p. 57-63, 1900.
5. DOUVILLÉ, H. Les Ralligstöcke et le Gerihorn. *Bulletin de la Société géologique de France*, 4^e série, t. III, p. 193-221, 1903.