

LA DÉFORMATION
DES
MATÉRIAUX DE CERTAINS PHYLLADES ARDENNAIS

n'est pas attribuable au « flux » des solides (1)

PAR

W. PRINZ,

Professeur à l'Université de Bruxelles.

—
PLANCHES XIII ET XIV
—

Nombreux sont aujourd'hui les travaux pétrographiques qui font intervenir le dynamométamorphisme dans leurs conclusions. Mon but n'est pas de discuter de façon générale l'application de cet agent en géologie, où son influence est si évidente. Je désire seulement établir, par quelques exemples puisés dans les roches ardennaises, qu'il est inutile de recourir à l'hypothèse de l'écoulement des solides (*bruchlose Umformung*) pour expliquer les détails structuraux qu'on y rencontre.

Certes, les savantes observations de Heim et de ses continuateurs, les remarquables expériences de Tresca, de Daubrée et surtout de Spring, ainsi que les constatations des techniciens dans les laboratoires d'essais, ont établi la déformabilité sans rupture, la plasticité, d'un grand nombre de corps et l'existence de réactions chimiques dépendantes de la pression. Mais il me semble qu'il y a, surtout chez les auteurs récents, une tendance à appliquer, de façon exagérée, ces faits importants et si consciencieusement établis. Le moindre indice de structure fluidale dans une roche, la présence de certains minéraux, tels que le grenat, suffisent pour amener l'évocation de pressions énormes

(1) Mémoire présenté aux séances des 15 novembre et 20 décembre 1904.

et du cortège de réactions qui s'y associe. L'extinction onduleuse du quartz est aussi le point de départ de spéculations de ce genre, alors qu'une anomalie optique — qu'on ne cite guère pour d'autres minéraux — se constate bien plus rarement sur la figure axiale, où elle devrait cependant être visible. Il m'a paru reconnaître, dans plusieurs écrits sur ces questions, des amplifications de menus détails et même des raisonnements insuffisamment appuyés par les faits. La difficulté de juger à distance, sans matériaux de contrôle, m'interdisant une critique précise, je m'en tiens à mes propres observations, que j'expose aussi brièvement que possible dans ce qui suit. Les ouvrages consultés seront cités à la fin de ces notes; les pages visées se trouvent à la suite des noms d'auteurs.

I

Phyllades de Houffalize et d'autres localités.

Les premiers appartiennent, suivant la carte officielle (planchette de Wibrin-Houffalize levée par M. X. Stainier), au Devonien inférieur. Ces roches, dont la schistosité est inclinée sur la stratification, contiennent ordinairement des cubes de pyrite constituant le principal objet dont j'ai à m'occuper d'abord. Les premiers échantillons de ce minéral me furent remis par M. Deladrier, qui a bien voulu attirer mon attention sur ce gisement et m'aider à récolter un grand nombre de cristaux. Je lui en exprime mes sincères remerciements.

Parmi tous les échantillons recueillis et examinés, pas un seul ne montre d'autres faces que celles du cube; rarement la striation hémédrique est nettement visible. Ils ont les mêmes caractères dans les divers affleurements qui entourent la localité et sont assez uniformément répandus dans la roche; certains gisements sont cependant plus riches que d'autres. Les dimensions de ces cubes sont habituellement de 7 à 8 millimètres de côté; par exception on en trouve de 10 à 15 millimètres. Leur éclat est bronzé par suite d'altération, mais ils sont sains à l'intérieur, quoique fragiles aux arêtes et même fissurés; souvent ces cassures sont anciennes. A l'air, et dans les joints, ils s'altèrent, en abandonnant une masse brunâtre cariée, pulvérulente parfois, entourée d'une enveloppe cubique limoniteuse fixée à la roche; d'autres sont presque méconnaissables.

Tous ces cristaux, peut-on dire, sont plus ou moins déformés. Certains sont tellement gauchis qu'ils ont l'apparence de rhomboèdres; ils ressemblent tout à fait au spécimen, extrait des ardoisières de

Rimogne, que Daubrée figure (p. 443) à titre d'exemple type d'une déformation mécanique. Influencé par cette description, j'interprétais moi-même, tout d'abord, les cristaux de Houffalize dans ce sens, malgré le doute que d'autres observations avaient fait, depuis longtemps, naître dans mon esprit.

L'hypothèse d'une déformation mécanique paraît confirmée par des mesures au goniomètre d'application. On utilisera mieux leurs résultats après avoir reconnu la disposition des cristaux dans le phyllade.

La plupart des cubes sont orientés avec un des axes binaires plus ou moins normalement à la schistosité; quatre arêtes se confondent donc avec cette dernière. Beaucoup de cristaux, en se détachant, entraînent une partie du schiste, qui y reste fixé sous forme de deux ailerons. (Pl. XIII, fig. 1.)

D'autres, assez nombreux également, ont un axe ternaire plus ou moins normal au feuilletage, qui est, par conséquent, percé par deux angles du cube (fig. 2). Rarement ce dernier a ses faces parallèles à la schistosité.

Les orientations dominantes des cristaux s'accordent parfaitement avec la supposition qu'elles sont amenées par une pression énergique, qui aurait en même temps gauchi les cubes et fait naître les petites flexures localisées, que l'on constate parfois lorsqu'on débite les échantillons (fig. 3). On trouverait même de bonnes raisons pour se rendre compte de la position des arêtes plus aiguës des cristaux dans la direction de la pression; car, ordinairement, le plan de schistosité passe à peu près par les deux arêtes les plus obtuses des cubes, conformément au schéma figure 4.

En considérant, dans les cristaux, une seule zone dont l'axe serait compris dans le feuilletage et en désignant deux angles aigus opposés par *a* et *b*, les deux angles obtus par *c* et *d*, les mesures au goniomètre d'application se groupent comme l'indique le tableau ci-après. Ces valeurs n'ont d'autre portée que de traduire, en chiffres approximatifs, une apparence que l'œil saisit facilement, les faces étant si bosselées que les branches de l'appareil ne les enserrent jamais exactement.

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	
Py. 1. . .	85°3	84°8	94°0	94°2	Crist. isolé, mais repéré.
» 2. . .	89,1	90,0	91,0	91,0	Id. id.
» 3. . .	85,5	86,2	96,6	92,8	Id. id.
» 4. . .	84,1	86,0	93,9	92,1	Fixé à la roche.
» 5. . .	88,9	84,9	96,1	93,2	Id. id.
» 6. . .	81,2	81,8	99,2	97,8	Id. id.
» 7. . .	87,0	87,0	92,1	93,1	Id. id.

Mais on trouve des cristaux dont la déformation est plus marquée encore; par exemple :

Py. 8 . . . 70°5 77°7 102°8 109°5 Fixé à la roche.

Il est vrai qu'il y en a qui ont, au contraire, l'angle obtus vers le haut, et que d'autres ont même des angles obtus et aigus qui alternent à l'avant et à l'arrière, par suite d'un guérissage, d'un défaut de structure. Tel est l'échantillon

Py. 9 . . . $\left\{ \begin{array}{l} 84^{\circ}5 \quad 87^{\circ}0 \quad 91^{\circ}5 \quad 96^{\circ}3 \quad \text{A l'avant} \\ 93,0 \quad 88,8 \quad 87,0 \quad 92,0 \quad \text{A l'arrière.} \end{array} \right.$

Quand les cristaux ont leurs faces presque parallèles à la schistosité, on dirait qu'ils sont moins déformés, avec une tendance au développement tabulaire. On en trouve aussi qui ont des rugosités cristallines; des petits groupements parallèles; des associations de deux moitiés légèrement déplacées; des intercalations schisteuses; des trémies fort développées; une tendance à se briser selon la stratification, etc. Voici quelques mesures d'angles plans prises sur des faces à peu près parallèles au plan de fissilité; comme les précédentes, elles sont toutes approximatives. Les angles α , β (aigus) et γ , δ (obtus) sont opposés.

	α	β	γ	δ	
Py. 10.	86°3	»	»	90°2	Fixé à la roche.
» 11.	88,2	88,8	90,5	92,0	Id. id.
» 12.	88,5	86,0	93,2	94,1	Libre, mais repéré.
» 13.	86,8	»	94,9	»	Dans la roche.
» 14.	89,8	»	»	90,0	Id. id.
» 15.	87,8	85,9	90,8	95,5	Libre.
» 16.	85,4	92,9	93,2	90,2	Le plus grand; fixé à la roche.
» 17.	85,8	88,8	96,5	89,8	Fixé à la roche.
» 18.	85,8	84,8	95,2	94,8	Id. id.

La déformation de ces cristaux est donc tout aussi évidente que celle des précédents. Pourtant, un examen plus approfondi montre qu'il s'agit, pour les uns et les autres, d'accidents de cristallisation. C'est ainsi que la plupart des cubes — celui que figure Daubrée également — ont plusieurs faces en trémie. Ces creux sont remplis de quartz ou de phylladé, ce qui explique l'adhérence des fragments schisteux dont il a été question plus haut (fig. 1). Certains échantillons, encore engagés dans la roche, qui paraissaient devoir fournir une preuve

convaincante de la déformation mécanique, par une large face un peu défoncée et comme striée par un glissement du schiste, montrent, lorsqu'on les décroûte, que les stries se continuent en une sorte d'entonnoir, ordinairement excentrique, qui s'enfonce profondément, par gradins, dans le cristal, en provoquant la courbure concave de certaines arêtes (fig. 5 et 6).

Il arrive, surtout pour les grands cubes, que ces enfoncements existent sur toutes les faces, comme cela se voit sur le spécimen très altéré, en forme de prisme oblique, dont la figure 7 donne le développement; un autre, bien conservé, a une trémie qui entame la face parallèle à son axe (fig. 8).

Pour se rendre compte de la grandeur et de l'aspect de ces cavités, il est inutile de recourir à des préparations spéciales, la nature se chargeant de nous instruire à cet égard, en dissolvant complètement certains cristaux. Ainsi se créent des vides parallépipédiques dans lesquels pointent de petites pyramides irrégulières, à gradins obliques ou droits, constituées tantôt de quartz fibreux, tantôt de phyllade, qui sont les moulages des trémies (fig. 9 et 10).

En polissant les échantillons, on obtient des pièces instructives par les indentations qu'on reconnaît aux bords des cristaux, preuve de la répétition des faces. Les groupements se mettent aussi en évidence de cette façon (fig. 11, 12 et 15).

L'attaque de ces coupes à l'acide azotique fait ressortir le trouble dans le développement des cristaux, quel que soit d'ailleurs leur aspect extérieur. Ce sont des assemblages squelettiques, plus ou moins comblés, des combinaisons hémédriques, semblables à celles qu'ont observées les minéralogistes italiens et que je retrouve sur un cristal corrodé, de Bologne, conservé dans les collections de l'Université. L'acide fait apparaître, sur la surface polie, quatre plages souvent groupées autour d'un champ quadrangulaire sombre, plus ou moins excentrique, et non déformé. Lorsqu'il est déformé, on voit qu'il s'agit d'une complication cristallographique commune aux pyrites anormales, si bien décrites par F. Becke (p. 194). Par cette méthode, on reconnaît aussi la répétition de certaines faces avec décroissement progressif, ce qui doit s'accompagner d'une altération apparente des angles (fig. 12, 14 et 15).

Les cristaux de pyrite de Houffalize entrent donc dans la catégorie des monstruosité, si fréquentes chez ce sulfure qu'il serait banal d'en décrire des exemples. Cette conclusion est pleinement confirmée par les mesures précises auxquelles certains cubes, quoique très déformés,

se prêtent. On trouve alors que tel angle, qu'on évaluait, par les estimations rappelées au début de cette note, à 85° environ, donne, au goniomètre à réflexion (angles normaux) :

Py. 19. 90°2' Débris de cristal brillant.

Un cristal allongé, mesurant 7^{mm}0 sur 4^{mm}45 sur 4^{mm}15 a, dans la zone pseudo-prismatique :

Py. 20.	89°55'	} Faces peu brillantes.
»	90 0	
»	90 env.	
»	90 env.	

Pour d'autres, ayant les défauts déjà énumérés, la mesure d'une zone a donné :

Py. 21.	90° env.	} Cristal isolé, composé partiellement de deux moitiés, dont l'une est un peu déplacée par rapport à l'autre; trémies; striations.
»	89 57'	
»	90 4	
»	90 2 env.	
Py. 22.	90°36'	} Cristal isolé; faces irrégulières, brillantes par places; indices de trémies; stries.
»	90 0	
»	89 50	
»	90 3	

Ces mesures furent, en général, faciles, car certaines faces donnèrent une bande lumineuse unique, mince et droite, ne laissant que peu de place à l'incertitude; d'autres fournirent même une image pure de la mire.

L'hypothèse d'une déformation mécanique est inconciliable avec ces résultats.

Par suite d'un léger déplacement de la masse contenant les cristaux, un vide s'est créé autour d'eux, et du quartz est venu le combler, sous forme de petites plaques fibreuses, analogues à celles qu'on rencontre autour d'autres minéraux des schistes et des phyllades. Leur examen sommaire apprend ce qui suit :

Une fine pellicule de ce genre, recueillie en faisant sauter un cristal de son alvéole, est constituée d'une mosaïque de grains de quartz avec axe optique incliné sur le plan de la pellicule. Bien que sa surface soit de plusieurs millimètres carrés, l'orientation reste constante.

La faible différence entre l'angle des cavités et l'angle des cristaux fait qu'il est difficile d'apprécier si les fibres siliceuses sont normales aux parois des premières ou aux faces des seconds. Mais comme

ces fibres restent parallèles entre elles au delà de la pyrite, il faut bien qu'elles soient approximativement perpendiculaires à la paroi schisteuse. La supposition inverse n'expliquerait guère le joint bissecteur, très net, qu'on remarque dans l'angle de toutes les sections (fig. 12. en haut); à moins d'admettre que les fibres ont continué à s'adjoindre latéralement les unes aux autres, comme les grands cristaux de quartz le font assez souvent. Lorsque le schiste a été pincé autour du cristal en un angle assez aigu, il arrive que les pellicules de quartz fibreux ne touchent pas complètement aux faces du cube; elles adhèrent au schiste, et, dans le vide restant, se trouve un peu de limonite pulvérulente (fig. 16).

L'hypothèse d'un décollement ultérieur, par laminage, doit être écartée dans ce dernier cas, me semble-t-il, car le joint bissecteur aurait été écrasé.

Quelquefois, les lamelles quartzieuses, restées fixées à la roche, sont couvertes, sur la face qui touchait au cube de pyrite, de petits sommets pyramidaux. Plus probants encore sont les remplissages incomplets, analogues à celui que représente la figure 17. On y voit des bâtonnets, émergeant de la masse fibreuse accolée au schiste, pointer séparément vers le cristal sans y toucher; d'autre part, quelques rares bâtonnets, totalement isolés, sont fixés sur le cube et pointent vers l'enduit fibreux sans y atteindre davantage. Enfin, quand on extrait les cristaux de pyrite, les pellicules quartzieuses restent adhérer à la roche, rarement aux cubes; il arrive aussi qu'elles se détachent entièrement, comme on l'a vu plus haut.

Je ne voudrais pas étendre, sans étude plus complète, ces résultats à toutes les structures analogues, telles que les nœuds de magnétite, si bien décrits par Renard, ni même à tous les cristaux de Houffalize, où les enduits siliceux sont peu développés; mais la disposition de ceux-ci, dans les exemples cités, est celle qu'affecte le quartz fibreux dans de nombreux filonnets des dépôts anciens, c'est-à-dire que ses fibres sont simplement perpendiculaires aux plans des parois rocheuses entre lesquelles il a cristallisé.

Les vides comblés par le quartz sont de minime importance, et manquent souvent dans les phyllades de Houffalize, ce qui tendrait à prouver que la masse qui les contient n'a plus subi de mouvements intimes prononcés après avoir acquis de la consistance. Contrairement à ce qui est de règle dans certaines roches, les feuilletts schisteux passent sans déviation autour des cristaux de pyrite; les fines strates siliceuses, qu'on rencontre parfois dans ces phyllades, contournent également les cubes en restant planes.

On peut se demander si la pyrite cristallisée qui se trouve dans des schistes plus anciens, tels que ceux de Deville (Cambrien), n'aurait pas subi une déformation plus marquée. J'ai donc examiné deux cristaux très allongés, de cette localité, orientés dans le schiste comme ceux de Houffalize. L'un provient d'une partie de cristaux que M. Cumont m'a obligeamment confiée; il est encore attaché à la roche et mesure 9^{mm}6 de long, sur 5^{mm}0 et 5^{mm}8 dans les autres sens. L'autre, m'appartenant, a été isolé; il mesure 10^{mm}0 sur 6^{mm}1 et 6^{mm}4. Ce dernier présente la striation hémédrique π (210), en long, sur les moitiés alternantes de deux faces opposées du pseudo-prisme; celui-ci a, pour cette raison, une section apparente en losange, semblant dépendre d'un écrasement. Voici les valeurs trouvées au goniomètre à réflexion (angles normaux) :

Py. 23 (Deville) . . .	90° 5'	} Zone du pseudo-prisme.
» » . . .	89 54	
» » . . .	90° 0'	} Bases.
» » . . .	90 2	
Py. 24 (Deville) . . .	90 0'	} Zone du pseudo-prisme.
» » . . .	90 0	
» » . . .	90 2	
» » . . .	89 58	
» »	{ entre 90° 0'	} Les quatre angles d'une zone perpendiculaire.
	{ et 90 1	

Certains cristaux de pyrite de Deville présentent des rayures naturelles très accusées, indiquant des troubles analogues à ceux que l'on constate par corrosion sur les cubes de Houffalize (fig. 18 et 19). Pour beaucoup d'entre eux, la striation hémédrique est remplacée par des rugosités allongées, similaires pour chaque couple de faces.

Les roches de cette localité, et d'autres phyllades analogues, contiennent de petits octaèdres de magnétite qu'on a considérés dans plusieurs travaux pétrographiques (Renard, p. 155; Dewindt, p. 59) comme ayant été étirés par compression. Pour ce que j'en ai vu, je puis dire que beaucoup de ces cristaux ont un aspect déformé par développement inégal des faces, cannelures, etc., mais que leurs angles sont inaltérés. Deux d'entre eux, très déformés en apparence, peu brillants, ont donné, par réflexion, pour un angle de l'octaèdre :

Magnétite (Deville) . . .	70°40' env.	} au lieu de 70°31'44''
Magnétite (Tubize) . . .	70 48. env.	

On trouve encore des cristaux de pyrite, semblables à ceux dont il vient d'être parlé, dans les schistes gris-vert de Vielsalm. J'en ai examiné un grand nombre de cette localité, où ils furent recueillis autrefois par M. le professeur L.-L. De Koninek, qui a droit à ma cordiale gratitude pour l'amabilité qu'il a eue de me les soumettre. Ces échantillons sont importants pour la solution de notre question, attendu que, tout en étant très bien conservés, le laminage de la roche les a non seulement orientés, mais aussi écrasés en apparence. Voyons de plus près ce qu'il faut en croire.

On constate sur les cristaux de Vielsalm les troubles déjà signalés pour ceux de Houffalize et de Deville : certains sont prismatiques ; beaucoup sont tabulaires, avec deux larges faces assez unies et quatre petites, creusées en trémies. Les grands cubes, dont les dimensions dépassent 1 centimètre, ont des enfoncements à gradins bien marqués. La striation hémihédrique est peu accusée ; il n'y a pas d'autres faces que celles de l'hexaèdre.

Les mesures confirment les résultats précédents ; je me borne à en fournir une preuve. Un petit cristal plat, déformé en losange, a $8^{\text{mm}}3$ suivant une diagonale et $7^{\text{mm}}2$ suivant l'autre ; l'épaisseur est de $2^{\text{mm}}8$ seulement ; néanmoins, les quatre petites faces ont des enfoncements rectangulaires. La grande diagonale est dans la direction de l'éirement de la roche, de sorte qu'en voyant le cristal dans son alvéole, on a l'impression que son contour est dû à une action mécanique. En mesurant, au goniomètre d'application, la zone comprenant les quatre petites faces, on trouve les valeurs approchées :

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
Py. (Vielsalm)	80°3	85°2	100°0	95°8;

tandis que les mesures par réflexion, obtenues par trois réglages différents, ont donné (angles normaux) :

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
	90°10'	90° 3'	90° 1'	89°49'
	90 4	90 0	90 4	89 52
	90 10	90 0	90 2	89 48
Moyennes .	<u>90° 8'</u>	<u>90° 1'</u>	<u>90° 2'</u>	<u>89°50'</u>

Ces chiffres ne confirment évidemment pas la supposition que je réfute.

Lorsqu'on examine la façon dont la roche contourne ces cristaux, on

voit que la gangue n'a acquis qu'une plasticité insuffisante sous la pression qui la déplaçait, pour se ressouder au delà des cubes, après avoir glissé sur leurs faces, de sorte qu'il reste des solutions de continuité des deux côtés de la plupart d'entre eux. Le profil, en grandeur naturelle, d'un de ces cristaux (fig. 20) permet de voir les dimensions relatives de ces vides (en noir), dont les faces sont striées dans le sens de l'écoulement de la masse devenue schisteuse. Le remplissage siliceux fait défaut, et son absence vient à l'appui de ce qui a été dit sur la formation des fibres quartzieuses dans les cavités analogues du phyllade de Houffalize (fig. 16).

Peut-être faut-il aussi voir une preuve de l'énergique frottement subi par ces cubes, dans les striations particulières qui partent de deux arêtes opposées et émoussées de beaucoup d'entre eux, pour s'étendre plus ou moins loin sur leurs faces. Les défauts de ce genre étant fréquents et variés sur les cristaux de cette espèce minérale, il est difficile d'établir définitivement s'il s'agit réellement de rayures mécaniques. On est tenté d'être plus affirmatif lorsqu'on constate ce qui s'est produit pour les beaux rhombododécaèdres (2 centimètres) de magnétite de Lanzo (Turin) et pour les grands cubes (5 centimètres) de Norvège, extraits de roches qui furent soumises à une compression puissante; tous possèdent, outre les striations cristallographiques particulières à ces espèces, des rayures évidemment causées par friction.

Ce sont là autant d'arguments contre l'hypothèse d'un « flux » de ces minéraux, car toutes les conditions qui viennent d'être rappelées montrent que les cristaux enclavés dans les roches ne peuvent que se briser, lorsque leur limite de résistance est atteinte.

Sur bien des échantillons de Vielsalm, on constate cet accident, surtout lorsque les cubes en arrivent à se toucher. Quant aux petites barbes pyriteuses que certains de ceux-ci possèdent le long de l'arête qui s'avance dans l'espace resté vide, elles produisent encore l'illusion d'un écrasement du sulfure entre les feuillets du schiste. Au microscope, on reconnaît qu'il s'agit d'un faible dépôt ultérieur, à côté duquel l'arête intacte du cristal est parfaitement visible.

Toutes ces observations s'accordent avec le manque de malléabilité de la pyrite, qui est une substance particulièrement « aigre ». C'est pourquoi les grands cristaux de Norvège, cités plus haut, se sont brisés dans l'étau rocheux qui les contenait, et les cassures mettent en évidence le clivage obscur du minéral. A quelques places, où le cristal semble avoir été écrasé par un corps plus résistant que lui, on trouve, en s'aidant de toutes les ressources d'observation (microscope métallo-

graphique), que certains éclats, encore partiellement attachés à la masse principale, ont subi une très légère flexion, décelable par une minime ondulation dans le jeu des reflets. C'est tout ce que je vois à citer en faveur de la déformabilité de la pyrite.

J'ai terminé ce rapide examen des minéraux déformés de nos schistes anciens par la mesure de deux petits grenats, extraits des roches de Bastogne et d'Our (Opont); dans la zone d'un axe quaternaire, ils avaient (angles normaux) :

Grenat (Bastogne).	90°12'	} au lieu de 90°0'.
» »	89 33	
» »	89 35	
» »	90 40	
Grenat (Our)	89 51'	
» »	90 5	
» »	89 55	
» »	90 13	

Dans tous les exemples choisis, les déformations reconnaissables à simple vue se rapportent donc à un développement irrégulier des cristaux, dépendant des conditions dans lesquelles ils prirent naissance; aucune mesure précise ne vient à l'appui d'une modification angulaire provoquée par une compression irrésistible, qui les aurait rendus plastiques, voire fluides.

Les cubes de pyrite des phyllades de Houffalize, plus particulièrement examinés ici, ainsi que ceux de Deville et de Vielsalm, doivent s'être développés, avec peine, dans une masse encore vaseuse, et ce n'est qu'après leur complet développement que la roche, relativement dure, a subi une pression énergique, déplaçant et fissurant les cristaux, déformant leurs alvéoles et créant les petits vides que le quartz fibreux combla ensuite. L'action des agents mécaniques sur les minéraux inclus fut donc modeste.

Mes conclusions concordent bien avec ce qu'un savant expérimentateur nous a appris sur ces questions. En effet, M. Spring a constaté que le sulfure de fer, fortement comprimé, refuse de s'agglutiner ou de « fluer », et il est arrivé, dans la suite, à reconnaître que bien des roches n'avaient pas été soumises à des pressions aussi considérables que celles dont il a exposé les conséquences de façon à la fois magistrale et attachante.

II.

Phyllades à coticule (pierre à rasoir) de la région de Salm-Château.

L'étude de ces roches nous transporte dans le vif du sujet. Avant de l'aborder, il convient de dire quelques mots de certains échantillons particulièrement significatifs pour semblable discussion. J'en examinerai d'abord un qu'on considère souvent comme très probant pour les théories de la déformation sans ruptures. Je m'en tiens à une description sommaire, d'après la pièce et les préparations que j'ai sous les yeux, renvoyant le lecteur, pour d'autres détails, à l'ouvrage fondamental de Heim, qu'on relit toujours avec fruit et intérêt, tant les déductions y sont claires, tant les dessins sont frappants.

Il s'agit des chiffonnements de la dolomie du Röthi (Tödi), roche constituée par de fines strates, d'environ 1 millimètre d'épaisseur, de dolomie cristalline, qui alternent assez régulièrement avec de petits lits de schiste argileux, de même épaisseur. L'ensemble est contourné en plis à très courts rayons, étirés en de nombreuses failles.

La microstructure rappelle également les grands accidents géologiques. On y voit (pl. XIV, fig. 24) très nettement les couches schisteuses, peu ondulées au sommet des courbes, découpées dans les jambages des plis par de minuscules failles répétées, de plus en plus serrées, entre lesquelles les tronçons des petites strates micacées sont ploquées en S. Les couches dolomitiques, au contraire, sont crevassées, indice de leur plus grande fragilité.

L'ensemble de la structure de la roche résulte de la déformation d'une masse hétérogène, mais je ne puis y voir le type d'une déformation sans ruptures, car celles-ci abondent; elles sont même visibles sur les photographies non agrandies des échantillons (HEIM, 2^e mémoire). Les déplacements de la matière furent favorisés par des gerçures nombreuses, des ruptures et un faillage poussé à l'extrême. Bien des strates sont broyées ou déplacées (fig. 22 et 23), et les vides qui se trouvaient entre les couches, lors de leur contournement, sont inconciliables avec l'hypothèse d'un flux proprement dit.

Ces espaces sont actuellement comblés, il est vrai, de sorte que le point délicat est précisément de savoir quand et comment ce remplissage a eu lieu. La curieuse disposition des deux minéraux secondaires, quartz et dolomie, intercalés dans les joints, mérite qu'on s'y arrête, surtout qu'elle n'a été étudiée par Heim et un de ses élèves, M. Allen-

spach, que longtemps après que la roche du Rôthi avait été décrite. Dans la figure reproduite dans la traduction de l'œuvre de Suess, les intervalles entre les feuillets sont encore désignés comme étant vides (p. 155).

Or, voici ce que montre l'examen microscopique : Toutes les strates dolomitiques sont recouvertes, sur leurs deux faces, de cristaux jaunâtres de dolomie (jusque 0^{mm}13 environ), souvent bien développés et terminés. Ils sont inclinés en sens opposé sur les deux faces de chaque strate (fig. 21 et 21a); jamais ils ne sont fixés aux couches schisteuses. Ces dernières, de leur côté, sont couvertes, sur leurs deux faces, de fibres ployées de quartz, dont les courbes sont également opposées sur chaque face, suivant l'inclinaison des cristaux de dolomie auxquels ils aboutissent (fig. 21a). Lorsque ceux-ci sont normaux sur les strates, les bâtonnets quartzeux, rectilignes souvent, le sont aussi.

Dans les déchirures transversales des strates dolomitiques, on trouve le même remplissage par les deux minéraux. Ici les cristaux de carbonate, parfois très gros, pointent normalement aux deux faces de la fissure, et, conformément à ce qui vient d'être dit, le quartz remplissant le reste du vide est souvent en bâtonnets droits, dirigés dans le prolongement des cristaux de dolomie. Ailleurs, le quartz forme un remplissage en mosaïque. Des fibrilles micacées l'accompagnent.

Pour Heim (2^e mémoire, p. 224), l'eau de carrière fut suffisante pour amener ces sécrétions. « La même petite quantité d'eau a pu sans cesse entrer en jeu. L'énorme pression a puissamment augmenté le pouvoir dissolvant de l'eau, précisément aux endroits les plus comprimés, et ce qui s'y dissolvait a émigré intermoléculairement vers les endroits un peu moins comprimés et s'y est immédiatement redéposé. Il n'a pu naître de vides. La présence de vides aurait instantanément changé tout l'aspect de la transformation : la roche comprimée, en voie de régulière plication, serait devenue une brèche de dislocation. » (Voir aussi p. 217.)

L'hypothèse faisant appel à des différences de pression, se produisant à quelques millimètres de distance dans une semblable masse, soumise à un effort énorme et extrêmement lent, paraîtra bien difficile à admettre. Dans mes préparations, je trouve le double remplissage jusque dans les parties les plus étirées des petits plissements; bref, dans les moindres interstices de la roche. Il y a aussi des parties courbées, en tous points semblables aux autres, mais où les feuillets de dolomie et de schiste se touchent, donc se compriment; la dissolution admise n'y a pas fait son œuvre.

M. Allenspach, de son côté, cherche à se rendre compte du sens de courbure des fibres quartzesuses, par la disposition oblique des espaces successivement agrandis par la pression. Cette manière de voir devrait s'appuyer sur un schéma suffisamment démonstratif, dont la construction ne me paraît pas facile.

Pourquoi ne pas admettre que la roche, constituée de deux espèces de strates, a été comprimée lorsqu'elle n'était plus boueuse, quoique déformable encore? La pression aurait eu alors pour effet de décoller les lamelles de résistance différente, dont les unes, dolomitiques, se seraient écrasées ou déchirées, et les autres, micacées, se seraient ondulées, faillées, en s'étirant entre les premières. Il est possible qu'un fluide ait favorisé les glissements, tout en maintenant les feuilletts. S'il a en même temps dissous une partie des matériaux de la roche, pour les redéposer dans les lacunes, sous forme de cristaux, cela n'a pu se produire qu'après arrêt du mouvement, que celui-ci ait été d'une excessive lenteur (Allenspach), ou relativement rapide.

Même si la pression a facilité la dissolution et l'échange de minéraux existants dans ce schiste, même si elle a permis, en disloquant la roche, l'infiltration de solutions cristallisables venues de l'extérieur, les minéraux secondaires n'ont pu que cristalliser d'un jet, et successivement, la dolomie d'abord, le quartz ensuite. Ce dernier n'aurait pu s'adapter aussi exactement aux cristaux de carbonate, ordinairement terminés même dans les parties étirées, sans les broyer et sans se broyer lui-même.

Quant à la remarquable constance d'orientation des deux minéraux, elle me rappelle de trop près la disposition, en files parallèles, des cristaux inclinés de calcite dans la cavité interne des oursins tertiaires et d'autres fossiles, ainsi que les fibres courbes du quartz des filonnets des roches anciennes, pour que je ne tente pas de rattacher le phénomène à une simple action de cristallisation, dépendante de la nature particulière de la roche du Rôthi. Pour préciser ma comparaison, je mentionnerai encore les cristallisations orientées fréquentes dans nos spirifères carbonifériens. J'en possède un exemplaire dont les cônes spiralés internes sont couverts de rhomboèdres de calcite, qui pointent tous vers la droite pour les spires de droite, et vers la gauche, pour celles de gauche. On sait d'ailleurs combien facilement l'orientation des cristaux peut être influencée par celle de leur support, ce qui autoriserait encore la supposition que les fibrilles micacées, que l'on voit souvent dépasser les petites strates schisteuses, seraient intervenues dans la disposition des cristaux de quartz.

L'alternance de feuillets schisto-siliceux avec des feuillets dolomitiques a fait que chacun des deux minéraux, quartz et dolomie, s'est fixé sur le substratum capable d'amorcer sa cristallisation.

La roche ne peut donc avoir « coulé », ce qui semble d'ailleurs être l'avis des deux auteurs qui nous occupent, car ils mettent sa déformabilité sous la dépendance de la mobilité de ses constituants. Dans son premier mémoire, Heim s'étendait déjà sur les cassures radiales de la dolomie (pp. 49-50) et sur la façon dont le tissu des petites strates se relâche dans le voisinage des fissures; toutefois, ces gerçures lui semblaient insuffisantes pour expliquer les ondulations qu'on constate, car la plupart des strates ne sont pas traversées complètement par ces ruptures.

Cette dernière remarque nécessite un correctif. Les gerçures de la dolomie sont, en effet, souvent alternantes; ce sont des crevasses de déchirure, de traction, en tous points comparables à l'exemple suivant, que je choisis dans mes notes :

L'argile à briques contient parfois des parties de composition et de consistance différentes, qui prennent une autre couleur à la cuisson. J'en ai trouvé un échantillon, collé à la surface d'une brique gris foncé, sur laquelle il se détache, en rouge clair, sous l'aspect de la figure 24. On y voit, de façon précise, que le petit ruban clair a été déchiré par étirement, lorsque l'ouvrier a jeté violemment la masse argileuse dans le moule en bois, pour qu'elle s'y étalât. La partie composée d'une pâte plus « courte » s'est crevassée en zigzags, sans qu'il y ait solution de continuité; grâce à sa fissuration partielle, elle a pu se ployer et suivre les mouvements de l'argile dans laquelle elle est partiellement enchâssée. De pareils crevassements s'observent aussi sur des barres carrées d'acier que l'on ploie.

On retrouvera cette structure dans le coticule de Vielsalm, et c'est elle aussi qui intervient partiellement dans la déformabilité de la roche du Röthi. M. Allenspach dit même (p. 250) que sa partie dolomitique est constituée par des « granules qui ne sont pas engrenés les uns dans les autres, comme dans le calcaire cristallin grenu; ils ne se touchent que par de petites surfaces. La texture est lâche, saccharoïde. Cette structure saccharoïde est de grande importance dans le présent cas; elle donne une certaine déformabilité à la dolomie. Ainsi une certaine déformation devient possible sans rupture visible. »

En voilà plus qu'il n'en faut pour expliquer les ondulations constatées! Je ne vois de « ployées sans rupture » dans la roche du Röthi, que les portions de strates micacées comprises entre deux petites

failles successives, où elles sont onduleuses ou courbées en S. Abstraction faite de l'état initial de la masse, que nous ne connaissons pas, les innombrables solutions de continuité, établies dans ce qui précède, lui donnèrent une infinité d'articulations et de plans de glissement, qui lui permirent de s'accommoder à l'espace que la compression lui assignait. Elle s'est comportée microscopiquement de façon analogue — je ne dis pas semblable — à celle dont s'est comportée macroscopiquement une autre roche stratifiée, sur laquelle il importe de jeter également un coup d'œil avant d'examiner les roches du pays.

Je dois cet échantillon, qui a été rapporté de l'Afrique par Holub, à mon collègue M. Ch. Bommer. L'étiquette porte : « Tanda-ma-panka, petite rivière, dans la partie septentrionale du pays des Bamangwerto Est ». C'est un grès, à éléments roulés de grosseur variable, allant jusque 0^{mm}15, mélangés à des débris de feldspaths, de micas, de minéraux colorés et de granules de roches étrangères. L'ensemble a une teinte vert brunâtre, rappelant celle de la malachite de ces régions. La silice calcédonieuse cimente les grains quartzeux; elle a aussi cristallisé dans tous les vides (fig. 25) en petits prismes de quartz (en blanc sur le dessin), partout normalement fixés sur leur support, mais ne remplissant qu'imparfaitement les cavités les plus grandes.

La roche, soumise au ploiement et ne pouvant s'adapter à une courbure accusée, s'est séparée en une série de lames pouvant supporter partiellement l'effort. Puis, ces lames se sont brisées et décollées à leur tour, comme le montre le dessin, où les principales strates sont numérotées de 1 à 5.

Or, une pièce plate, que l'on courbe, travaille à l'extension sur la face externe et à la compression sur la face interne; la limite d'élasticité atteinte, la pièce va donc se fissurer à l'extérieur et se plisser, au contraire, à l'intérieur. C'est, en effet, ce que l'on observe pour les roches relativement déformables; mais cela n'a pu se produire pour la roche africaine, très peu malléable, où le ploiement devait aboutir à des ruptures et à des chevauchements. En effet, la couche 2, qui paraît peu crevassée sur la surface externe soumise à l'extension, n'a pu suivre le mouvement de compression sur la face interne, et une couche 2a s'en est détachée; puis, le raccourcissement que cette dernière subissait l'a brisée en tronçons, partiellement ployés, qui ont été poussés les uns contre les autres, et même les uns sur les autres.

La couche 3 a mieux résisté, tout en se courbant un peu. Sa flèche est de 5^{mm}3 pour une corde de 91 millimètres, dans la partie restée apparemment sans fractures. Elle paraît donc s'être comportée comme

ces plaques de revêtement en marbre, qui ploient, sans se rompre, lorsqu'elles sont soumises au tassement d'une construction; conclure de là à l'«*écoulement du marbre*» ou à celui de notre grès, me paraît prématuré. Si les couches de la roche africaine avaient eu la minceur des strates dolomitiques de la roche du Röthi, elles eussent évidemment supporté une flexion plus accentuée sans autant de ruptures visibles. Du reste, on va voir qu'elles sont encore plus morcelées qu'on ne pense.

Quoique peu épais (41 millimètres), l'échantillon montre une disposition différente des brisures sur son autre face. Celle-ci, projetée sur la première, a l'aspect de la figure 25*a* et permet de reconnaître les nombreuses cassures de la couche 2. Il en est de même pour la couche 3, dont un morceau reste adhérent à 2*a*, etc. Enfin, les lames minces permettent de voir des petites failles, à faibles rejets, remplies de silice, qui tronçonnent les strates en tous sens. Pour permettre le plôiment, les fêlures n'atteignent donc pas, en direction, une grande longueur sur la crête des plis, mais elles alternent et se relaient, comme cela se voit dans toutes les pièces soumises à des déformations de ce genre.

Dans un autre échantillon analogue, sans lieu d'origine, provenant d'une ancienne collection d'agates, les strates de 1 à 2 millimètres d'épaisseur sont totalement concassées dans le sommet d'un pli aigu et les morceaux sont engrenés les uns dans les autres. Nelson Dale, dans ses études sur les roches des Green Mountains (fig. 99), et Van Hise, dans ses descriptions des jaspilites de Jasper Bluff (pl. CXIV), figurent des spécimens remarquables, qui sont également à citer ici.

Étudions maintenant le coticule, et nous y rencontrerons la plupart des structures qui viennent d'être discutées.

Grâce à la famille Jacques, qui exploite les carrières de pierres à rasoir de Salm-Château et des environs, j'ai pu obtenir tous les échantillons nécessaires à ma recherche et faire abattre ceux que je rencontrais dans les galeries. M. Victor Jacques a bien voulu en faire scier et polir un grand nombre dans ses ateliers, ce qui m'a permis de choisir et de repérer les fragments nécessaires à l'examen pétrographique. M. Deladrier a également enrichi ma série de quelques pièces intéressantes. A tous j'exprime ma sincère gratitude.

La description détaillée des phyllades à coticule a été faite à diverses reprises et de façon parfaite, notamment par Renard, Gosselet et De Windt. Quoique le sujet ne soit pas épuisé, il me suffira d'y revenir d'une façon générale dans ces notes, où les questions pétrographiques proprement dites sont reléguées à l'arrière-plan.

Suivant la Carte géologique (feuilles de Vielsalm, Lierneux, etc., levées par MM. Lohest et Forir), les bandes de coticule appartiennent au Cambrien (étage salmien supérieur).

Le coticule, ou pierre à rasoir, forme des couches de quelques millimètres à plusieurs centimètres d'épaisseur, jaune clair, mastic, parfois de coloration verdâtre ou violâtre, d'apparence talqueuse, un peu plus dures que le phyllade oligistifère violet qui les contient. Au microscope, la masse principale est surtout constituée d'un mica sériciteux, associé à du quartz et à une masse de granules de grenat spessartine; ces derniers ont $0^{\text{mm}}005$ et même moins, rarement le double. Le rutile abonde aussi, sous forme de petites aiguilles maclées habituelles, et encore, mais rarement, sous celle de macles en pointe de flèche. Enfin, on reconnaît de la tourmaline et de l'apatite.

En lumière polarisée, des plages isotropes, circulaires, anguleuses dans certains cas, de $0^{\text{mm}}2$ et $0^{\text{mm}}3$, se mettent en évidence dans plusieurs variétés; ce sont les « nœuds » de divers observateurs, les « noyaux » de Gosselet. Ce dernier les considère comme une forme particulière d'ottrélite. Conservons-leur le nom de noyaux, sans discuter leur nature minéralogique.

Ces roches sont remarquablement homogènes; on peut en tailler des douzaines de préparations, en examiner des centaines d'échantillons, sans y rencontrer d'autres défauts et inclusions que des fissures et des infiltrations de manganèse.

Par suite de sa coloration claire, le coticule se détache vivement sur le phyllade sombre qui l'enclave; aussi les échantillons avec ploiments et plissements présentent une netteté particulière, surtout que les deux roches prennent un poli parfait, permettant de lire déjà bien des particularités structurales sur les pièces simplement doucies. Les plaques minces, enfin, ne nécessitent aucun effort d'interprétation, tant elles sont démonstratives.

Les plissements de moyenne dimension sont assez nombreux dans certaines carrières; les coupes accompagnant les mémoires de Baur (fig. 3 et 4) et de Dumont (p. 137) sur ces gisements en représentent des exemples. D'autres contournements sont de bien moindre étendue, ce qui en facilite l'étude d'ensemble. Je m'en tiendrai à ceux-ci, car les conclusions qui leur sont applicables le sont, à fortiori, aux ondulations à grands rayons de courbure.

Plusieurs de ces plissements sont représentés en grandeur naturelle planche XIV, dont les croquis sont calqués sur les pièces mêmes, et hachurés conventionnellement pour rester aussi schématiques que les originaux.

Généralement, la schistosité est très dérangée dans le voisinage de ces plissements, ainsi qu'en témoignent le contour des échantillons et l'arrangement des fissures que l'on devine sur les faces polies normalement au feuilletage. Afin de poursuivre le parcours de ces fissures, on humecte légèrement les pièces dressées et doucies; l'eau, séjournant plus longtemps dans les joints, les décèle, et il n'y a plus qu'à les souligner au crayon blanc, puis les calquer. Ces joints ne traversent pas le coticule, ainsi que Dumont l'avait déjà noté (p. 136); il y a pourtant des exceptions.

Orientons-nous d'abord par l'examen macroscopique de quelques échantillons extraits des carrières de Salm-Château (fig. 26, 27 et 28). Ils frappent surtout par l'égalité d'épaisseur que conserve la mince couche de coticule (en pointillé), malgré les contournements qu'elle subit. Son homogénéité est parfaite; on croit voir un trait de pinceau, jaune clair, souvent bordé de rouge, sur un fond bleu-noir. Les courbes sont d'ordinaire si brusques, qu'elles ne semblent conciliables qu'avec une déformabilité considérable de la matière jaune. Cette supposition est corroborée par l'aspect des coupes successives, normales aux plis, d'un même échantillon (voir figures), car elles présentent de rapides changements dans l'allure des contournements. Quelles que soient les causes de cette plasticité apparente, elle ne saurait pourtant dépendre d'un flux, puisque des brisures nombreuses articulent les plis. Elles se reconnaissent sur toutes les pièces, quoique les rejets soient peu accusés, même nuls. (Voir compléments à l'explication de la planche.)

Prenons comme exemple la coupe médiane de l'échantillon représenté figure 27, où le coticule mérite d'être étudié dans la partie rompue. En lumière réfléchi, le microscope révèle en ce point (fig. 27c) plusieurs fissures recoupant un coude brusque. L'extrémité relevée est élargie par friction et paraît s'être étirée en une fine trainée, qui relie les deux bouts de la couche. Il sera question de ce filament lorsqu'on le retrouvera dans les lames minces, où il est possible de l'analyser en détail. L'ensemble de la structure démontre que la couche jaune était plus résistante, au moment du ploiement, que la substance violette qui l'entoure. Le contraste entre la façon dont la compression a affecté le coticule et la manière dont elle a agi sur les liserés rouges qui le bordent souvent, confirme cette hypothèse. Ces liserés ont subi les déformations d'une masse réellement pâteuse: ils sont étirés dans les parties externes des plis et épaissis, au contraire, dans les parties internes de ceux-ci. Lorsque la couche de coticule est rompue, son bord tranchant les refoule, ou y pénètre, sans s'émousser lui-même,

mais aussi sans les briser. Le petit échantillon de la figure 30 est instructif à cet égard ; la deuxième coupe (fig. 30a) qui l'accompagne, quoique prise à 1 centimètre seulement en avant, accuse pourtant une différence notable dans l'allure du plissement. Intéressante est l'inversion de la petite faille sur cette courte distance.

La plasticité plus grande de la masse violette, du phyllade proprement dit, se manifeste, de son côté, par les ondulations grisâtres (hachurées sur les dessins) qui suivent plus ou moins celles du coticule. Ces bandes grises tendent à devenir parallèles, déjà à quelques centimètres au-dessus et au-dessous des couches de coticule ; bref, le phyllade présente les caractères d'une pâte « courte » qui s'est laissée refouler, sans plissements accusés, dans les parties homogènes, mais qui a subi des mouvements, allant jusqu'aux ruptures répétées, dans les parties les plus écrasées, c'est-à-dire entre les jambages des plis du coticule. En ces points, le schiste violet, fortement pincé, est souvent séparé par un joint, qui ne traverse pas toujours le coticule. Ce joint est visible sur la plupart des pièces, grandes ou petites, le schiste ayant une tendance à se fendre en cet endroit (fig. 26) ; dans les coupes microscopiques, on reconnaît un rejet qui s'arrête contre le coticule (fig. 33).

Ces échantillons représentent donc, dans leur ensemble, les structures produites dans les laboratoires par la compression latérale de lames d'une substance assez dure, intercalées entre des lits de matières ayant plus de plasticité, telles que nous les montrent les expériences de Reyer (expérience 292, fig. 7 à 9 et autres) et celles de Bailey Willis (notamment pl. LXXVI).

La dureté plus grande du coticule de certains gisements au moment du plissement, son indépendance du phyllade qui le contient, sont encore attestées par la façon dont les couches jaunes se détachent de la roche violette en grandes pièces (plusieurs décimètres) demi-cylindriques, à surface finement ridée. Leurs bords, régulièrement dentelés, rappellent les cassures d'une lame de verre tordue de la classique expérience de Daubrée. L'analogie est ordinairement complétée par l'apparition d'un réseau de fractures, parfois imprégné de manganèse, remarquablement précis, qui partage la pièce en losanges de toutes dimensions, dont quelques-uns sont encore clivables en débris réguliers plus petits. Ces gouttières sont ainsi divisées en un damier, de sorte qu'en numérotant les rhombes, avant de les détacher, on peut reconstituer des échantillons tels que celui de la figure 31, qui est réduit de moitié (les coupes en pointillé).

Les résultats de l'examen macroscopique conduisent à la conclusion que le phyllade de Salm a été déformé par une pression énergique, alors qu'il était plastique à des degrés divers.

Les couches de coticule intercalées, plus résistantes, n'ont suivi que partiellement cette déformation. Elles se sont courbées en se couvrant d'un réseau de fissures, ou en se brisant avec déplacement des tronçons; le refoulement a fait pénétrer les parties séparées dans la masse enveloppante, plus molle.

Pourtant, ces solutions de continuité sont, en général, trop peu nombreuses et trop bien jointes pour qu'elles puissent expliquer les ploiements accusés dont il est question ici. Recourons donc à l'examen microscopique avant de conclure définitivement.

En lames minces, le coticule plissé accuse une fissuration intime, normale à la couche, souvent visible seulement en lumière polarisée, grâce à la mosaïque brillante de quartz secondaire, comblant les gerçures de la couche jaune isotrope.

Quand le plissement a été accompagné d'une traction, le coticule est déchiré en zigzags, qui reproduisent microscopiquement la structure décrite antérieurement (fig. 32). Alors le travail de déplacement est si intense, que partout les lamelles sériciteuses sont disposées parallèlement aux surfaces de la couche déformée, sollicitant le quartz, qui a cristallisé ensuite entre elles, à prendre la même orientation (fig. 32a). Dans le sommet des plis aigus, les fissures sont volontiers radiales. Lorsqu'elles sont invisibles, ce qui arrive même pour des plis très brusques, en V, on constate que l'accumulation de grenats se relâche dans la partie externe de la courbe, tandis qu'elle se resserre tellement dans la partie interne, qu'elle en devient presque opaque.

La disposition radiale peut également affecter les grenats du liseré rouge qui borde extérieurement la couche de coticule; le liseré interne est alors froncé en petites ondulations, qui se brisent dans l'intérieur de la courbe. Enfin, le reste de la masse violette entourante, écrasé dans le pli, est coupé en deux par la fissure médiane déjà signalée sur les pièces plus volumineuses. Ce joint (0^{mm}06 et moins) est souvent comblé par de la matière micacée et du quartz; il a été dit qu'il ne traverse ordinairement pas le coticule et qu'on constate, au microscope, la présence du rejet causé par le glissement d'une partie de la masse violette, qui se cisailait pour se coincer dans le pli, tout en facilitant sa formation (fig. 33).

Ces refoulements furent, on l'a vu, accompagnés de nombreuses fissures dans le coticule, qui n'a cédé — le microscope le montre —

qu'après avoir été littéralement déchiré. Dans la plupart des déplacements, et surtout des chevauchements, on trouve le filament reconnu antérieurement sur les grands échantillons (fig. 27 et 27c). Lorsqu'on examine ce filament sous une suffisante amplification, on le trouve constitué par des lamelles de mica, arrachées surtout aux parties les plus retroussées du schiste violet, et écrasées sur le plan de glissement (fig. 54); de petites trainées de grenats, avec particules d'ilménite, s'y voient aussi. Dans l'exemple figuré, l'extrémité la plus exposée à la friction de la couche de coticule a également abandonné une petite bavure de granules de spessartine. Le quartz s'est logé entre les mailles de ce réseau, y formant souvent des grains allongés; l'ensemble simule ainsi une structure que certains observateurs attribueraient probablement à un laminage du quartz.

L'effort mécanique ayant été porté à son maximum dans les parties qu'on vient de décrire, les liserés différemment colorés, bordant le coticule, y sont refoulés de maintes façons: les uns se séparent de la couche jaune, se retroussent, ou sont complètement pétris dans le phyllade violet; d'autres s'étirent et se rompent.

L'examen microscopique confirme donc la conclusion déjà énoncée et la complète, car il montre comment les couches jaunes tronçonnées s'articulent par déchirures, de manière à pouvoir se courber sans trop de ruptures complètes. Les grenats arrondis ou fusiformes, enrobés dans la séricite, en roulant les uns sur les autres, facilitent encore le ploiement.

L'imprégnation siliceuse ultérieure a enlevé à ces roches leur déformabilité première; certaines en ont pourtant conservé des traces, permettant leur séparation en feuillets, par enfoncement progressif d'un outil.

Ces descriptions rappellent, peut-être insuffisamment, que les diverses couches de phyllades à coticule sont, en somme, de même composition. Les granules de spessartine sont bien de grosseur différente et en quantité variable dans les diverses strates, mais ils constituent partout, avec le mica et plus ou moins de rutile, les éléments principaux de ces dépôts, quelles qu'en soient la coloration et la consistance. Ces roches résultent donc de réactions et de dépôts variables dans de faibles limites seulement; on ne saurait attribuer leur composition actuelle à une action métamorphique postérieure à leur formation.

A la façon dont les minéraux constituants se déplacent dans les parties dont la structure est tourmentée par la pression, on voit que les actions mécaniques n'ont fait qu'orienter des corpuscules préexistants;

elles ne sont pour rien dans leur genèse. J'en arrive ainsi, par une autre voie, à confirmer l'opinion antérieurement formulée par Renard (p. 38).

Le même savant a aussi reconnu exactement (note, p. 39) l'origine des veines jaunâtres, parfois ramifiées, que l'on voit dans le phyllade oligistifère violet et qu'on pourrait prendre pour une infiltration du coticule. Ces veines sont le produit d'une décoloration du phyllade le long de fissures; je les ai reproduites par l'action d'un acide. Mais on observe encore sur certaines pièces déjà débitées et doucies, des apparences analogues, qui ont une tout autre origine. On y voit, sur la tranche de la pierre, au joint entre le phyllade violet et le coticule normal, que ce dernier envoie des prolongements, en forme de coins très aigus, de 1 à 2 millimètres, dans la roche foncée. Au microscope, on reconnaît l'existence de petits rejets, qui se suivent parfois très régulièrement et n'entament qu'une partie moins résistante du coticule, la partie plus dure de celui-ci ayant servi de plan de glissement aux petites failles (voir fig. 55 et explication des planches).

D'autres gisements de la région, celui d'Ottré notamment, possèdent des phyllades dans lesquels l'allure des couches jaunes diffère de celle qui vient d'être décrite. Sur plusieurs pièces dressées et polies, on retrouve bien des ploiements et plissements analogues aux autres, mais le coticule s'y montre d'épaisseur irrégulière. Dans les courbes, il se sépare en feuillets délicats, ondulés ou déchirés. Les bandes de coloration verdâtre (mica prédominant), parfois gris-bleu, qui l'accompagnent correspondent aussi à de très fines strates, de quelques centièmes de millimètre d'épaisseur, plus ou moins riches en pigment noir (oligiste, manganèse, ilménite), dont chacune est susceptible de se contourner différemment. Ces chiffonnements microscopiques sont accompagnés d'une microscliosité, discernable seulement en lumière polarisée. Les tronçonnements, les brisures avec rejets, du coticule, ont disparu, pour faire place aux étirements et aux renflements exigés par une matière très plastique, refoulée (fig. 56). Certaines parties sont peut-être un peu moins déformables que d'autres, quoiqu'elles soient aussi affectées par les chiffonnements et accusent de la microscliosité. Les joints les traversent souvent; lorsqu'il y a des déchirures, elles se relaient en S très allongés. Elles ne font donc que confirmer la plasticité de la substance.

La composition minéralogique de ces variétés de coticule est analogue à celle des autres, avec cette différence que de fines strates, fort riches en mica (en lamelles jusque $0^{mm}2$ sur $0^{mm}4$), alternent avec

des feuillettes de quelques centièmes de millimètre à plusieurs millimètres, où le grenat domine. On comprend que les feuillettes hétérogènes de ces couches aient glissé et se soient décollés pour se plisser isolément, ainsi qu'on le constate dans les coupes, où l'on trouve les pellicules grenatiformes contournées, comme flottantes dans le quartz secondaire qui les maintient. La silice constitue le remplissage principal ; elle est à grains volumineux entre les strates séparées. Étant la dernière venue, il faut bien admettre que la compression a eu lieu lorsque la roche était encore plastique.

Le grenat de ces coticules très peu résistants se comporte encore comme un minéral primaire ; son origine ne saurait être attribuée aux réactions dépendantes de la pression. Par contre, il y a, dans ces roches, des petites accumulations de ce minéral qu'il me reste à mentionner et qu'on pourrait éventuellement mettre en relation avec le dynamométamorphisme.

Ce sont de minuscules cavités (moins de 1 millimètre) entre les décollements des feuillettes du coticule, tapissées de granules jaunes de grenat ayant les caractères de ceux de la roche, mais de cinq à dix fois plus volumineux (fig. 29). Ils sont accompagnés d'un peu de rutil et entourés de quartz à gros grains. Exceptionnellement, un échantillon montra quelques vides allongés, de 2 à 3 millimètres, entre les membranes de coticule, où ce remplissage manquait totalement.

Le grenat secondaire, désignons-le ainsi, paraît s'être formé dans tous les gisements de ces phyllades. A Vielsalm, j'en ai recueilli, près des ardoisières, un spécimen typique sous forme d'une lentille schisteuse, dont la description complète m'entraînerait trop loin. Je me borne à en dire ce qui intéresse mon sujet. C'est un débris plat, de 6 × 5 centimètres et 3 centimètres d'épaisseur, dont les surfaces portent les traces d'un écrasement marqué. La section présente deux systèmes de cassures, dont les unes — appelons-les horizontales — sont plus ou moins parallèles aux plats de la pièce, tandis que les autres sont généralement verticales. Ces dernières, surtout remplies de quartz, atteignent une largeur de 2 millimètres. Une tache irrégulière, jaune rougeâtre, ayant jusque 7 millimètres de largeur, allongée dans le sens des fissures horizontales, se détache sur le fond sombre de la section ; les veines quartzifères verticales la recoupent également.

Une lame mince établit que l'on a affaire à une partie lenticulaire écrasée d'un phyllade, tellement chargé de pigment noir, qu'on n'y voit guère que celui-ci, réuni en grumeaux très petits. Cette masse est littéralement effeuillée par les fissures dites horizontales et se présente,

en coupe, sous l'aspect de petites lignes noires, d'épaisseur variable, descendant jusqu'à un centième de millimètre. C'est sur les surfaces de ces membranes sans consistance que le grenat a cristallisé, sous forme de granules jaune-rouge, ayant de plusieurs centièmes jusqu'à un dixième de millimètre de diamètre; parfois, on croirait voir des perles irrégulières enfilées par des fils opaques (fig. 37). Mais ces fils ne sont jamais continus; ils sont tronçonnés par le deuxième groupe de fissures, qui en isolent des bouts de longueur variable. Ailleurs, le caractère filonien du grenat est si évident, que le dessin d'une de ces parties suffira à l'établir (fig. 38). Le grenat est accompagné de prismes courts, hexagonaux ($0^{\text{mm}}3$), d'apatite, minéral déjà signalé dans la région par M. L.-L. De Koninek, ainsi que d'ilménite en grillages plus volumineux encore (1 millimètre). Ce dernier minéral s'est formé en même temps que ce grenat, qu'il englobe partiellement (fig. 39). Le quartz, les lamelles d'un mica verdâtre peu pléochroïque, et des rosettes de chlorite, remplissent les vides.

La tache jaunâtre, mentionnée plus haut, est presque exclusivement composée de grenats, dont les dimensions dépassent considérablement celles des granules mentionnés dans ce qui précède ($0^{\text{mm}}25$). Ils forment un pavage, dont chaque élément est rempli de particules biréfringentes, souvent accumulées vers son centre. Cette partie ne semble pas avoir jamais eu une structure compacte; le sciage de la tranche destinée à la préparation microscopique y a décelé l'existence d'un petit vide, de près de 2 millimètres, tapissé de granules de spessartine, auquel le sondage, avec un crin, assigne une profondeur de 4 millimètres. Le métamorphisme n'aurait donc eu pour résultat dernier que le remplissage incomplet de veinules microscopiques, c'est-à-dire une influence nulle, surtout si l'on veut admettre que ces roches étaient déjà consolidées au moment où la pression les plissa ou les brisa.

Il y a plus : cet échantillon a subi une deuxième déformation, marquée par le système de fissures verticales, et, cette fois, la silice seule, avec un peu de chlorite, vint combler les espaces ainsi créés. Où chercher la différence radicale entre les deux espèces de remplissage, si ce n'est dans l'état même de la roche, qui était, au début de sa complète solidification, encore susceptible de fournir les éléments d'une génération de cristaux de spessartine, faculté qu'elle perdit ensuite complètement? En effet, les étapes dans la fissuration de cette pièce sont particulièrement concluantes. C'est ainsi que le filonnet représenté figure 38 montre, sous un plus fort grossissement que celui

du dessin, des interruptions dans la croûte de grenats de ses parois, à l'aboutissement de chacune des déchirures plus ou moins verticales. Ces déchirures ne traversent pas la masse chloriteuse qui remplit l'intérieur du petit filon, sa structure feutrée lui permettant de se prêter à ces minuscules déplacements. Mais aux points où les gerçures sont par trop larges, la chlorite s'étire et ses lamelles se rangent parallèlement; elles furent ensuite imprégnées de quartz. La précision et la délicatesse des mouvements qui affectèrent ces roches sont prouvées par ces détails structuraux et beaucoup d'autres; on se voit toujours ramené devant la nécessité d'écarter toute supposition de « flux », de déformation sans ruptures, lors de la première compression. On conçoit, en outre, qu'au moment de la deuxième compression, la roche devait encore avoir une certaine malléabilité, quoique étant déjà très consistante: l'argile presque sèche est cassante; pourtant elle conserve une plasticité suffisante pour recevoir et conserver des empreintes d'une grande finesse. Le fait est facile à vérifier avec l'argile à modeler; il sert de base au moulage de certains produits céramiques.

Actuellement, le phyllade violet de Salm a encore une certaine déformabilité permettant d'y imprimer une pièce de monnaie (nickel dur) sans produire trop de brisures.

Les dépôts qui nous occupent ont pu rester à l'état consistant, déformable, durant les temps géologiques, jusqu'au moment où la silicification fixa définitivement leur structure. Il est probable que cette imbibition ne s'est faite qu'à un moment donné de leur histoire; elle n'aura pas été continue, comme on est tenté de l'admettre. Weinschenk (I, pp. 115 et 134) réfute avec raison l'hypothèse de l'imprégnation constante des roches profondes; elle tombe devant les observations quotidiennes dans les travaux miniers.

La supposition que nos roches auraient été des masses micacées, profondes, relativement sèches, gardant une certaine malléabilité, n'exclut pas la nécessité de faire intervenir la puissance colossale des pressions orogéniques, pour les modifier jusque dans leur structure microscopique. Que ces pressions aient eu une part d'intervention dans les actions chimiques, qu'elles aient facilité la minime sécrétion de grenat secondaire dans les phyllades salmiens, qu'elles aient activé le remplissage des interstices de la roche du Röthi, tout cela est concevable sans qu'il faille en arriver à admettre des transformations radicales. Roth a dit, avec raison, que l'existence du métamorphisme demande non à être admise, mais à être prouvée.

Quelques renseignements de nature à nous éclairer sur l'état primitif des phyllades salmiens et autres, sont aussi à déduire des travaux de plusieurs savants qui se sont plus particulièrement livrés à l'étude de la schistosité, en évitant de se méprendre sur la portée de leurs résultats. Les prudentes applications expérimentales de Daubrée, notamment, devraient rester une des bases sur lesquelles il faudrait continuer à s'appuyer dans des recherches de ce genre. Ce savant a été frappé, comme d'autres observateurs, de certains faits qu'il importe de remettre en lumière. C'est d'abord le faible déplacement relatif des matériaux fractionnés, épars dans les roches schisteuses; puis la présence de vides laissés par le cheminement de ces débris. Les bélemnites tronçonnées des Alpes ne montrent qu'un allongement de 10 à 20 centimètres (HEIM, pl. XIV et XV), et les exemples abondent, de cristaux microscopiques brisés, ne subissant que d'infimes déplacements. Les petits feldspaths des roches porphyriques de l'Ardenne française sont fractionnés par des crevasses de moins de $\frac{1}{2}$ millimètre, remplies de quartz et de mica secondaires; les grands cristaux (jusque 10 centimètres) n'ont que des fissures de quelques millimètres, incomplètement remplies; comme pour les bélemnites, la pâte n'y pénètre que près des bords. Les divers schistes mentionnés ici, fourniraient des observations analogues. Ce qui prouve, dirai-je avec Daubrée, « que l'étirement a eu lieu lorsque les roches rendues, il est vrai, plastiques par l'énergie de la pression, étaient cependant à l'état solide. Les expériences montrent, en effet, que dans une substance pâteuse les vides se déforment et puis se combent, au moins partiellement. »

Pourtant la structure d'une foule de roches ne dépend pas d'un *écoulement*, d'un *boudinage*, d'un *laminage*, dans le sens habituel de ces termes, car alors les débris fossiles ou minéraux se seraient alignés sur des longueurs considérables, métriques pour le moins (expériences de Daubrée), et l'on devrait même en trouver d'étirés en fils d'une ténuité extraordinaire (expériences de Spring). Rien de semblable n'a été constaté, d'où cette autre remarque de Daubrée que « dans les expériences on voit... qu'il suffit que les particules subissent un déplacement très faible, de quelques centimètres à peine, pour qu'elles s'alignent et qu'un feuilleté très régulier en soit la conséquence ».

Ces faits constituent une barrière qui doit maintenir nos déductions dans de justes limites. Les théories ont une tendance à exagérer l'importance de la compression, alors qu'il est établi que si l'action mécanique s'est bien transmise aux moindres particules des roches, leur écrasement et leur orientation ont eu lieu presque sur place. Ce caractère des masses schisteuses est constant.

Quelles que soient les roches ployées que nous examinions, nous y trouvons également les déformations figées dans un stade qui n'est certes pas le maximum de ce que la compression pourrait produire. Ordinairement, les plissements n'excèdent guère la valeur moyenne établie par F.-M. Stapff, l'ingénieur-géologue du tunnel du Gothard. Ses observations et ses calculs lui montrèrent « que la moyenne de tous les angles possibles sous lesquels une droite peut se briser est 79° ; et la forme moyenne de tous les plissements simples est le demi-cercle, dont la longueur est au diamètre comme $0,6366 : 1$ ». La probabilité de réalisation de ces valeurs étant $0,477$, il est admissible que dans la moitié des cas on trouvera une réduction de $0,6$ dans la longueur des couches simplement courbées ou plissées. Il est, en effet, plus rare de voir les flancs des plis se toucher, s'écraser, se sectionner complètement (isoclinal; éventail; noyau d'étranglement de la nomenclature Heim-de Margerie). Un coup d'œil jeté sur les plissements figurés sur la planche XIV ci-jointe montre que, dans les phyllades à coticule, ils confirment la règle, quoique certains dépassent la valeur indiquée. J'ai observé sur place, à Vielsalm, des courbes plus exagérées encore, affectant presque la disposition d'un 8. Ce sont là des exceptions localisées déjà; car, en général bien entendu, on ne rencontre pas dans les montagnes, où abondent les plissements grands et petits, d'exemples de contournements sans rupture apparente, d'une même couche, atteignant le degré de ceux que l'on obtient industriellement ou expérimentalement.

Cet arrêt apparent dans l'action mécanique, au moment où elle doit pourtant avoir acquis une intensité considérable, attestée par les structures observées, me semble devoir être interprété de la façon suivante, en me basant sur une indication déjà donnée par Daubrée dans un paragraphe intitulé : *Mouvements brusques qui ont pu résulter des déformations lentes*, et sur ce que mes propres essais m'ont appris.

On doit évidemment admettre que la force capable d'agir sur la microstructure et la disposition de masses aussi épaisses que le sont les dépôts sédimentaires, fussent-ils à l'état d'argile encore plastique, quoique plus ou moins sèche, a dû être irrésistible.

Mais ces modifications intimes (orientation, schistosité, structure fluidale, ploiements, etc.) amenèrent des transformations physiques de ces dépôts, qui tendaient à devenir cassants. Des brisures de toutes dimensions ne tardèrent pas à les traverser dans leur épaisseur entière, et les blocs grands et petits, ainsi isolés, se déplacèrent d'une pièce. A ce moment, l'action sur les particules constitutives cessa brusquement

pour faire place à une fissuration non parallèle à la schistosité, au charriage, etc. L'action modificatrice de l'eau fut ensuite instituée, ou rendue plus facile.

Telle est du moins la marche des phénomènes qui se laisse déduire des expériences, même lorsqu'il s'agit de substances réellement plastiques. La présence de l'eau, dans celles-ci, ne fait que retarder l'apparition des brisures; elles finissent toujours par se produire. Kick et Polak ont établi qu'une différence en plus de quelques pour-cent d'eau, dans une terre à porcelaine, la rend coulante, de cassante qu'elle était; j'ai souvent eu l'occasion de vérifier ce résultat, dans la nature et dans le laboratoire.

Les conclusions exprimées à diverses reprises dans le cours de ce travail me permettent de m'en tenir, en le terminant, à quelques courtes remarques. L'antagonisme entre les partisans de la déformation sans ruptures et ceux qui défendent l'opinion inverse, est surtout entretenu par l'abus de termes tels que *plasticité*, *flux*, *écoulement des roches*, sans détermination exacte de leur portée; il est entretenu aussi par la généralisation d'expériences exécutées avec des matières cassantes sous certains efforts, mais plastiques sous d'autres, ou encore des essais faits avec des substances ayant la faculté de se déformer par glissement (expériences de Rinne sur le sel et le marbre). Ces malentendus tendent à se niveler devant l'accumulation croissante d'observations qui établissent le broyage préalable et le déplacement des éléments des roches soumises à une déformation. Les définitions transitoires, telles que celle qui admet que la *plasticité* serait un glissement des molécules d'un corps, résultant d'une infinité de *ruptures* infiniment petites, disparaîtront. Avec elles tomberont les raisonnements mal établis, basés à la fois sur les expériences de Tresca et de Spring, prouvant l'écoulement de certains solides, et celles de Forchheimer, montrant l'étirement de couches de sable. Quoique la section longitudinale du jet soit semblable dans les deux cas, il faut éviter de les confondre. L'étude de la structure intime, aussi complète que possible, s'impose dans ces recherches, si l'on veut éviter d'être victime d'analogies trompeuses.

Tous les minéraux constitutifs des roches sont déformables sans ruptures, ainsi que cela est établi par leurs propriétés mécaniques et optiques; mais la limite d'élasticité étant vite atteinte pour la plupart d'entre eux, ils se brisent en fragments d'autant plus abondants et plus petits que les déformations de la masse qui les contient sont plus grandes. L'ensemble est ainsi concassé en éléments suffisamment

réduits et recoupé de fêlures suffisamment nombreuses pour que la masse suive les mouvements qui lui sont imposés. Lorsque les éléments sont primitivement assez minces pour qu'ils puissent, soit se déformer chacun réellement sans ruptures, soit glisser les uns sur les autres, la roche s'articule, pour ainsi dire, lentement et les déformations sont encore possibles sans brisures étendues et répétées. La présence de minéraux intercalaires, tels que le mica, le graphite et d'autres, facilite considérablement ces changements de forme, ainsi que la plupart des spécialistes l'ont reconnu.

La savante précision avec laquelle plusieurs auteurs ont décrit des minéraux, des roches, des fossiles présentant des apparences de déformations sans ruptures, permet de reconnaître, malgré des conclusions opposées, que les interprétations adoptées dans cette étude leur seraient applicables.

Addendum.

La première partie de ce travail était imprimée lorsque je reçus de M. l'ingénieur Ch. Lefebure un beau cube de pyrite des schistes de Rimogne, montrant les particularités décrites, mais de façon singulièrement accusée, par suite de la fraîcheur du cristal et de ses dimensions.

Il a la forme d'un prisme court à base rectangulaire; ses plus grandes arêtes ont 34 millimètres de long et il pèse 122 grammes environ. Dans l'ensemble, il paraît gauchi, deux des quatre faces visibles, polies, ayant la forme de losanges. Deux faces étaient cachées sous la matière schisteuse translucide, qui y adhérerait fortement par écrasement.

Le décroûtage a mis à nu leurs surfaces très inégales, creusées chacune d'une grande trémie, dont il sera question plus loin. L'une et l'autre ont, en outre, une arête arrondie comme par un coup de lime qui aurait abandonné des stries obliques. Une de ces arêtes arrondies forme l'angle (001) : (100); l'autre, l'angle (00 $\bar{1}$) : ($\bar{1}$ 00), si l'on oriente le cristal de manière à donner, à cette espèce de prisme, les deux faces creuses pour bases. Considérant la forme des faces, on a donc :

(100) rectangulaire	} Faces polies, avec stries d'accroissement.
(010) losange	
($\bar{1}$ 00) rectangulaire	
(0 $\bar{1}$ 0) losange	
(001) rectangulaire	} Faces inégales, ternes, avec grandes trémies.
(00 $\bar{1}$) rectangulaire	

Les mesures goniométriques, par réflexion, des faces de la zone verticale ont donné (angles normaux) :

$$(100) : (010) 89^{\circ}54'$$

$$(010) : (\bar{1}00) 90\ 00$$

$$(\bar{1}00) : (0\bar{1}0) 90\ 8$$

$$(0\bar{1}0) : (100) 90\ 2$$

Il n'y a par conséquent pas de déformation dans cette zone; l'apparence de gauchissement provient uniquement de la forme losangée des deux faces latérales (010) et (0 $\bar{1}$ 0). En effet, leurs angles *plans* sont environ :

$$\text{Face } (010). \quad . \quad . \quad . \quad \left\{ \begin{array}{l} (001) : (\bar{1}00) 85;0 \\ (001) : (100) 98\ 8 \\ (100) : (00\bar{1}) 86\ 0 \\ (00\bar{1}) : (\bar{1}00) 93\ 2 \end{array} \right.$$

Je remarquerai toutefois que le premier angle est sensiblement droit dans le voisinage de l'arête; c'est l'ensemble des défauts de (010) qui donne la valeur aberrante. Pour l'autre face on a :

$$\text{Face } (0\bar{1}0). \quad . \quad . \quad . \quad \left\{ \begin{array}{l} (001) : (\bar{1}00) 88;0 \\ (001) : (100) 88\ 0 \\ (100) : (00\bar{1}) 88\ 2 \\ (00\bar{1}) : (\bar{1}00) 92\ 0 \end{array} \right.$$

Ici, les deux premières valeurs mettent en évidence un faible angle rentrant, analogue à celui déjà constaté sur les cristaux de Houffalize (fig. 5, 8, 10 et 13); il n'occupe qu'une partie de la face (001), comme l'on voit. La dernière mesure paraît trop faible en comparaison de l'estimation à simple vue, parce qu'on a négligé la courbure prononcée de la face (00 $\bar{1}$) près de cet angle.

Si maintenant on passe à la mesure sommaire, par réflexion, d'une zone comprenant les deux faces rugueuses et creusées de trémies, en utilisant les plages réfléchissantes qu'elles possèdent néanmoins, on obtient les angles normaux approximatifs ci-après :

$$(100) : (001) 89^{\circ}55'$$

$$(001) : (\bar{1}00) 89\ 41$$

$$(\bar{1}00) : (00\bar{1}) 90\ 45$$

$$(00\bar{1}) : (100) 89\ 59$$

Ce résultat, quoique moins précis, pour des raisons faciles à comprendre, est comparable à celui qu'avait fourni la zone verticale, et la conclusion s'impose, que l'ensemble du cristal, malgré sa taille exceptionnelle, les fines fissures qui le sillonnent parallèlement aux arêtes, sa fragilité près des arêtes, son aspect gauchi, ses stries et l'effort de laminage intense indiqué par le schiste incrusté dans les trémies, n'a subi aucune déformation mécanique.

Il me reste à décrire rapidement les trémies. Celle qui occupe la face prise comme (001) a 10×22 millimètres et une profondeur de 3 millimètres; elle montre quelques gradins. Le fond, qui est plan, a les stries et cannelures habituelles de la pyrite. La cavité de (001) rappelle, par son petit prolongement, celles des cristaux de Houffalize (notamment fig. 8); elle présente également des gradins, mais avec facettes accessoires mesurables.

Par suite des cannelures et autres imperfections, ces facettes ont un développement inégal pouvant faire croire à l'existence d'une des formes compliquées de la pyrite; la mesure a établi qu'il s'agissait de simples faces d'octaèdre, car la plus grande d'entre elles a donné, par réflexion (angles normaux) :

$$\left. \begin{array}{l} (1\bar{1}1) : (001) \ 54^{\circ}45' \\ (1\bar{1}1) : (0\bar{1}0) \ 54 \ 38 \\ (1\bar{1}1) : (100) \ 54 \ 44 \end{array} \right\} \text{ au lieu de } 54^{\circ}44'8''$$

L'échantillon est donc normal dans son ensemble extérieur. Même si l'on voulait attribuer certaines de ses stries, ainsi que ses deux arêtes si fortement arrondies, à une usure par écrasement, cette action aurait été impuissante à amener une déformation reconnaissable du cristal.

Laboratoire de Géologie et de Minéralogie de l'Université de Bruxe les.
Juin 1904-Juillet 1905.

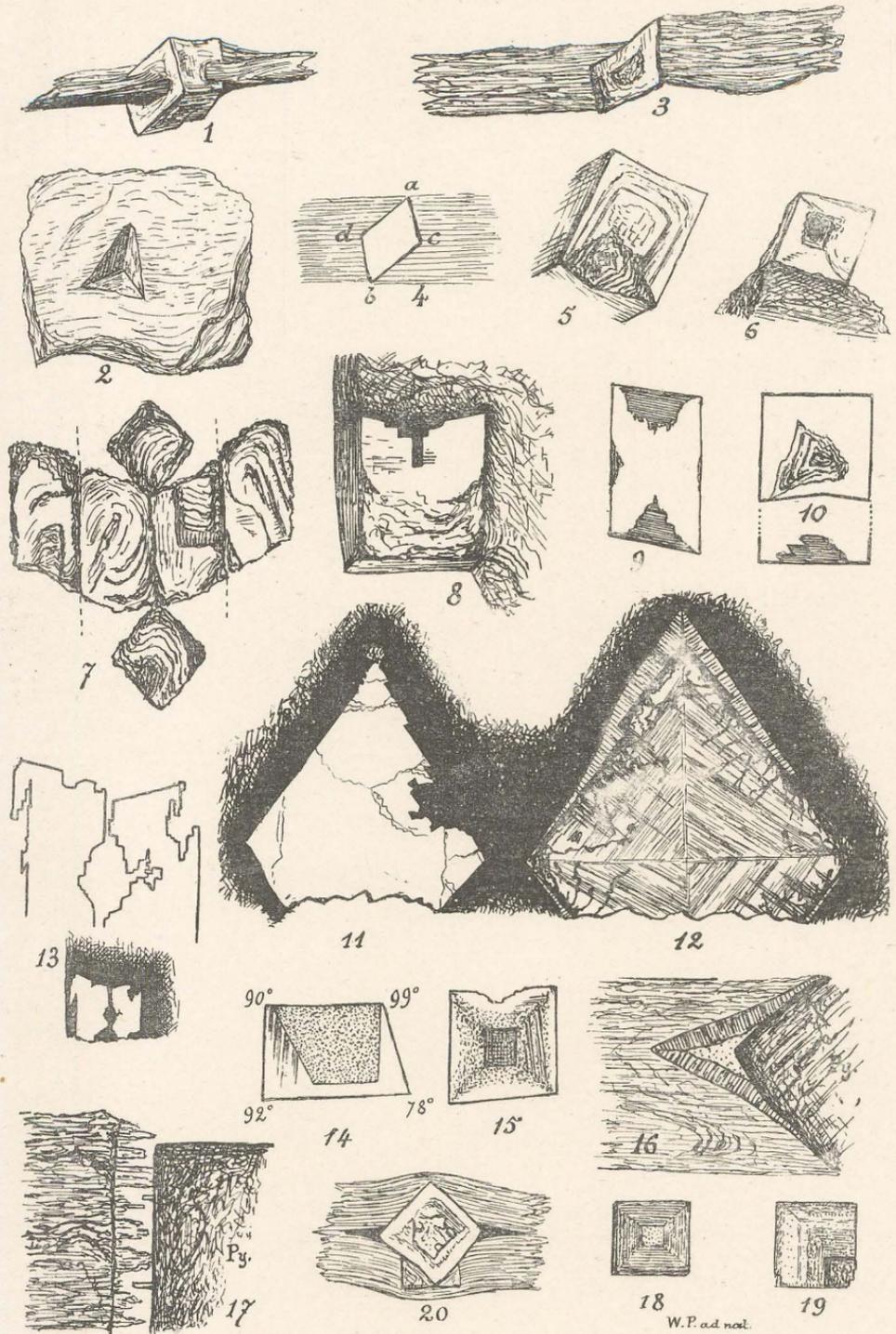
OUVRAGES CITÉS OU CONSULTÉS

- ALLENSPACH, G., Dünnschliffe von gefältelem Röthidolomit-Quartenschiefer am Piz Urlaun. (*Vierteljahrschr. d. Naturf. Gesell. Zurich*, t. XLV, 1900.)
- BAUR, Ueber die Lagerung der Dachschiefer, über Wetzschiefer und über die von der Schichtung abweichende Schieferung der Thonschiefer im nordwestlichen Theile des Dürener Bergamts-Bezirks. (*Archiv f. min. Geognosie, etc., de Karsten et v. Dechen*, t. XX, 1846.)
- BECKE, FRIED., Aetzversuche am Pyrit. (*Min. Mittheil. de Tschermak*, t. VIII, 1887.)
- BECKE, F., Ueber Mineralbestand und Struktur der kristallinischen Schiefer. (*Denkschr. d. Akad. d. Wiss. Wien*, t. LXXV, 1903.)
- BODMER-BEDER, A., Durch Gebirgsdruck gebogene Quartz-Kristalle. (*Centralblatt f. Min., Geol. und Paleont.*, n° 3, 1900.)
- DALE, NELSON, Structural details in the Green Mountain region. (*Sixteenth Ann. Rep. U. S. Geol. Survey*, 1894-1895.)
- DAUBRÉE, A., Géologie expérimentale, 1878.
- DE KONINCK, L.-L., Sur la présence de l'apatite cristallisée dans l'étage salmien. (*Bull. Acad. roy. de Belgique*, 2^e sér., t. XLIV, 1877.)
- DE WINDT, J., Sur les relations lithologiques entre les roches considérées comme cambriennes des massifs de Rocroi, du Brabant et de Stavelot. (*Mém. cour. Acad. roy. des Sc. de Belgique*, t. LVI, 1898.)
(La planche III doit être retournée pour correspondre au texte explicatif.)
- DORLODOT (DE), L., Quelques observations sur les cubes de pyrite des quartzites reviniens. (*Ann. Soc. géol. de Belgique*. [Liège], 1904.)
- DUMONT, ANDRÉ, Mémoire sur les terrains ardennais et rhénan, etc. (*Mém. Acad. roy. des Sc. de Belgique*, t. XX, 1833.)
- FORCHHEIMER, PH., Versuche über Gleitflächenbildung und Schichtenfaltung. (*Neues Jahrb. f. Min., etc.*, 1893.)
- FRAAS, EBERHARD, Scenerie der Alpen, 1892.
- GOSSELET, J., Études sur l'origine de l'ottrélite. (*Ann. Soc. géolog. du Nord*, t. XV, 1887-1888.)
- GRUBENMANN, U., Die kristallinen Schiefer (I, Allgemeiner Theil), 1904.
- HEIM, ALB., Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung, 1878.
- HEIM, A., et de MARGERIE, E., Les dislocations de l'écorce terrestre, 1888.
- HEIM, ALB., Gneissfältelung in alpinem Centralmassiv, ein Beitrag zur Kenntniss der Stauungsmetamorphose. (*Vierteljahrschr. d. Naturf. Gesell. Zurich*, t. XLV, 1900.)

- KICK, F., et POLAK, F., Sur la mécanique des corps mous. (*Revue univ. des mines, de la métallurgie, etc.*, 1878, 1879 et suiv.)
- LACROIX, A., Sur les déformations subies par les cristaux de quartz des filons de Pitourles-en-Lordat (Ariège). (*Bull. Soc. min. de France*, t. XIV, 1891.)
- LORETZ, H., Ueber Schieferung (*Jahresb. d. Senckenbergischen naturf. Ges.*, 1880.)
- MILCH, L., Ueber homogene Deformation von Quarz und Piëzo Krystallisation. (*Centralblatt f. Min., Geol. und Paleont.*, 1904.)
- RENARD, A., Sur la structure et la composition minéralogique du coticule. (*Mém. cour. Acad. roy. des Sciences de Belgique*, t. XLI, 1877.)
- RENARD, A., Recherches sur la composition et la structure des phyllades ardennais. (*Bull. Musée Hist. nat. de Belgique*, t. I, II et III, 1882-1884.)
- REYER, ED., Geologische und geographische Experimente, 1892.
- RINNE, F., Beitrag zur Kenntniss der Umformung von Kalkspathkrystallen und von Marmor unter allseitigem Druck. Plastische Umformung von Steinsalz und Sylvin unter allseitigem Druck. (*Neues Jahrb. f. Min., etc.*, 1903 et 1904.)
- ROTH, J., Allgemeine und chemische Geologie (première partie du t. III), 1890.
- SPRING, W., Sur l'origine de la fissilité des phyllades et des schistes. (*Bull. Acad. roy. de Belgique* [3], t. XXXV, 1898.)
- SPRING, W., La plasticité des corps solides et ses rapports avec la formation des roches. (*Bull. Acad. roy. de Belgique* [3], t. XXXVI, 1899.)
- SPRING, W., Sur les conditions dans lesquelles certains corps prennent la texture schisteuse. (*Ann. Soc. géolog. de Belgique* (Liège), t. XXIX, 1902.)
- Tous les travaux de ce savant sur la compression des corps solides sont d'importance capitale pour les questions traitées ici. On les trouvera surtout dans les *Bulletins* de l'Académie royale de Belgique.
- STAPFF, F.-M., Zur Mechanik der Schichtenfaltungen. (*Neues Jahrb. f. Min., etc.*, 1879 et 1881.)
- SUËSS, E., La Face de la Terre, traduction Em. de Margerie, t. I, 1897.
- TRESCA, H., Mémoires sur l'écoulement des solides, publiés dans les *Comptes rendus de l'Académie de Paris et Mémoires des Savants étrangers*, 1868 à 1873.
- VAN HISE, CH., Principles of North American Pre-Cambrian Geology. (*Sixteenth Ann. Rep. U. S. Geol. Survey*. Part I, 1894-1895.)
- WEINSCHENK, E., Grundzüge der Gesteinskunde, I, 1902; II, 1905.
- WILLIS, BAILEY, The Mechanics of Appalachian Structure. (*Thirteenth Ann. Rep. U. S. Geol. Survey*, 1891-1892.)

- FIG. 1. — Cube de pyrite, arraché à la roche, auquel restent fixés des ailerons de phyllade (Houffalize; grandeur naturelle).
- FIG. 2. — Débris de phyllade percé par l'angle d'un cube de pyrite. La schistosité n'est pas dérangée dans le voisinage du cristal (Houffalize; grandeur naturelle).
- FIG. 3. — Cassure transversale du phyllade de Houffalize. Apparence de flexure causée par un cube très déformé ayant l'orientation habituelle; en réalité, la schistosité est peu dérangée en ce point (grandeur naturelle).
- FIG. 4. — Schéma de la disposition fréquente des cubes de pyrite dans ces phyllades. Les angles *a* et *b* semblent plus aigus que *c* et *d*.
- FIG. 5. — Cube avec apparence de face défoncée. Une arête voisine de la trémie, au bas du dessin, a un angle rentrant (Houffalize; $\times 1 \frac{1}{2}$).
- FIG. 6. — Cube avec petite trémie très profonde (Houffalize; $\times 1 \frac{1}{2}$).
- FIG. 7. — Développement d'un cube de pyrite altéré en limonite, ayant l'aspect d'un prisme oblique. Des enfoncements excentriques, à gradins, sont reconnaissables sur toutes les faces (Houffalize; $\times 1 \frac{1}{2}$).
- FIG. 8. — Grand cube dont une face est entamée par une trémie à gradins bien marqués (Houffalize; $\times 1 \frac{1}{2}$).
- FIG. 9. — Coupe du vide abandonné, dans le schiste, par la disparition d'un cube déformé de pyrite. Celui-ci a fourni un moulage des trémies sous forme de petites pyramides de quartz fibreux. Un cinquième côté, non représenté, formant le fond de la cavité, a également une pyramide assez élevée (Houffalize; $\times 1 \frac{1}{2}$).
- FIG. 10. — Moulage en relief, par la matière schisteuse, de la trémie d'un cristal de pyrite, vu du dessus. Un des côtés du vide présente un faible angle rentrant. Le plan est accompagné d'une coupe verticale montrant l'obliquité des gradins de la trémie (Houffalize; $\times 1 \frac{1}{2}$).
- FIG. 11. — Partie d'une coupe oblique polie d'un cube de pyrite fissuré, en place dans le phyllade, pour montrer les faces à gradins et une trémie (Houffalize; $\times 1 \frac{1}{2}$).
- FIG. 12. — Échantillon analogue au précédent. La pyrite est légèrement altérée : des veines limoniteuses se propagent vers le centre du cristal. Ce dernier est entouré de quartz, dont les fibres restent parallèles entre elles, même au delà de la pyrite. La coupe a été faiblement corrodée à l'acide azotique pour mettre la structure interne en évidence (Houffalize; $\times 5$).

- FIG. 13. — Coupe polie d'un fragment de cube en place dans la roche (grandeur naturelle). La structure squelettique est rendue plus évidente par le contour figuré au-dessus sous un agrandissement de trois fois (Houffalize).
- FIG. 14. — Coupe polie et corrodée à l'acide azotique, prise un peu obliquement près d'une face d'un cube déformé, pour mettre en évidence la forme totalement différente de l'intérieur du cristal. Les angles plans du noyau, dans le bas du dessin, sont : 121° et 92° environ (Houffalize; $\times 2$).
- FIG. 15. — Échantillon corrodé, analogue au précédent. La coupe passe près du centre du cube (Houffalize; $\times 2$).
- FIG. 16. — Cassure transversale du phyllade avec cube de pyrite en place. Il reste un vide dans la roche (pointillé) que le quartz ne remplit pas. Les fibres de ce minéral sont à peu près normales à la roche et non au cube. Si l'enduit avait été décollé après coup, par glissement et pincement, il se serait certainement broyé près du joint, dans l'angle aigu (Houffalize; $\times 8$).
- FIG. 17. — Cassure de phyllade avec cube en place. Remplissage imparfait par du quartz fibreux, surtout implanté sur la paroi de la roche (Houffalize; $\times 8$).
- FIG. 18 et 19. — Faces naturelles de cubes de pyrite des schistes aimantifères de Deville, montrant une striation analogue à celle que l'on obtient par corrosion sur les cristaux de Houffalize (grandeur naturelle).
- FIG. 20. — Profil d'un groupe de cubes déformés de pyrite, en place dans une cassure transversale du schiste de Vielsalm. Les cristaux, d'un beau poli, ont des trémies marquées. La roche était si peu plastique, qu'elle a laissé des vides allongés (en noir) des deux côtés des cubes; les deux faces de chacun de ces vides sont polies et striées dans le sens de l'écrasement. Ici la masse schisteuse se ploie autour des cristaux, tandis qu'à Houffalize le feuilletage n'est ordinairement pas dérangé. La roche de cette dernière localité était donc plus plastique dans des cas tels que figures 2, 3, 11 et 13, ou bien la compression fut plus énergique.



W.P. ad nat.

CUBES DE PYRITE CRISTALLOGRAPHIQUEMENT DÉFORMÉS.

PLANCHE XIV

FIG. 21. — Coupe, en lame mince, montrant quelques strates ployées de la roche dolomitique du Rõthi, sous un faible grossissement ($\times 15$). Les parties schisteuses (*sch.*) sont ondulées et recoupées de petites failles, entre lesquelles les feuillets micacés sont ployés en ∞ . Les strates dolomitiques (*dol.*), plus cassantes, sont crevassées, par déchirement, en zigzags analogues à ceux de la figure 24, mais moins réguliers. Le remplissage entre les décollements des couches *dol* et *sch.* est constitué de cristaux de dolomie et de quartz orientés de façon alternante, comme le montre le détail, figure 21a, sous une amplification double (*d* cristaux de dolomie; *q* cristaux de quartz). — $\times 30$.

FIG. 22. — Couches ployées et brisées de dolomie de la roche du Rõthi.

FIG. 23. — Couche de dolomie (*dol.*) de la roche du Rõthi, brisée au sommet d'un petit pli. Les cristaux de quartz (*q*) sont alternativement courbés dans un sens et dans l'autre. Les cristaux de dolomie (*d*) se sont formés après l'accident, car sous un grossissement suffisant, on en trouve sur les surfaces de la brisure. — $\times 30$.

FIG. 24. — Débris argileux, moins plastique que l'argile à briques qui l'englobe partiellement; il a été étiré et s'est fissuré en zigzags réguliers. La partie représentée n'offre nulle part de solution de continuité complète. — Agrandi au double.

FIG. 25. — Coupe normale à la stratification, d'un grès imprégné de silice, de l'Afrique équatoriale. Les différentes couches se sont décollées et brisées. Le quartz remplit les vides; ses cristaux sont partout normaux aux surfaces. Entre les couches 3 et 4, l'espace n'est pas comblé, le revêtement siliceux conservant son épaisseur. Sur la seconde face de cet échantillon, qui a la forme d'une plaque de 11 millimètres d'épaisseur, les cassures ont une autre disposition (fig. 25a). Enfin, l'examen microscopique établit l'existence d'un grand nombre de fêlures, à faibles rejets, imprégnées de silice; elles sont invisibles à l'œil nu. L'ensemble de cette fissuration (partiellement représentée) a facilité le ploiement de la roche. — Grand. nat.

FIG. 26. — Bloc de phyllade violet de Salm-Château, scié et poli, montrant en grandeur naturelle, le plissement d'une mince couche de coticule jaune clair (pointillé). Les lisérés ont été omis. Deux des brisures de la couche, celle qui coupe le jambage de gauche du pli et celle qui est près du bord à gauche, montrent de petits déplacements. Au sommet du pli est une rupture, en forme de V, qu'on retrouvera sur la figure ci-après. Les zones plus claires du phyllade (hachurées) indiquent les mouvements de la pâte entourant le coticule. Les principales fissures ont été tracées d'après la méthode indiquée dans le texte. Plusieurs convergent vers un joint passant dans l'axe du pli. Ces fissures représentent l'allure de la schistosité dans cette partie de la roche. Le plus souvent leur direction est indépendante de celle des zones claires.

Le rapide changement dans la forme des plis est indiqué par la figure 26a qui donne la coupe de la couche de coticule du même bloc, prise à 7 centimètres en arrière de la précédente.

Ce même échantillon nous fournit l'occasion de constater le degré de plasticité relative des diverses parties de ces roches reconnaissables sur la figure complémentaire ci-contre (26b), qui n'a pu trouver place sur la planche XIV. L'amplification, au double, du pli de la figure 26 permet de voir les deux lisérés bordant le coticule : l'interne R_1 , constitué par plusieurs fines couches rigoureusement parallèles, et l'externe R , qui est simple. Un pointillé les distingue des parties V et V_1 représentant le phyllade violet sombre. A l'extérieur de la couche de coticule proprement dit (*Col.*), entre celui-ci et le liséré R , se trouve encore

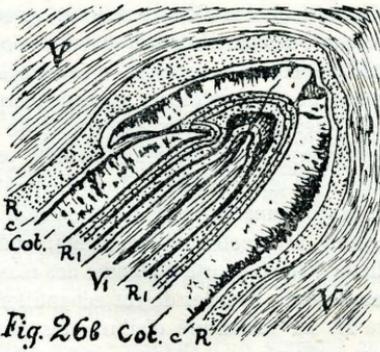


Fig. 26b Cot. c R

une fine couche jaunâtre, marquée *c*, qui accompagne la plupart des bandes de coticule d'un seul côté. Sous une certaine amplification elle

n'a pas, vers l'extérieur, la limite arrêtée qu'indique le dessin; son bord est flou et passe insensiblement au liséré suivant, R. C'est du coticule imparfait, car, en lame mince, on y retrouve les mêmes éléments, mais le grenat y est moins abondant, tandis que dans le coticule proprement dit, les granules de spessartine se touchent au point d'exiger un amincissement excessif des préparations microscopiques. A Vielsalm, il semble de règle que ce liséré pâle *c* soit du côté opposé à celui où les « noyaux » noirs s'approchent des couches minces de coticule. En somme, le liséré *c* fait partie du phyllade, auquel il reste adhérer lorsque l'échantillon se fend près du coticule (voir explic. fig. 28). Il est remarquable de voir que jamais les infiltrations de manganèse (en noir), qui soulignent souvent si bien les gerçures radiales du coticule, n'entrent dans le liséré jaunâtre *c*. Au microscope, la séparation reste nette, à part un peu d'infiltration brunâtre, par places.

La plasticité plus grande, de la masse englobant le coticule, est évidente sur ce dessin (26 *b*). Il ne représente qu'imparfaitement l'original, où les contournements de la pâte refoulée sont, comme sur tous ces échantillons, d'une remarquable délicatesse. La dureté plus grande de la couche *Cot.* est établie par les brisures déjà mentionnées et aussi par la rupture qui sépare le sommet du pli. Cet accident a créé un petit espace triangulaire, rempli de silice, vers lequel les lisérés, *c* et R se sont infléchis.

Ce qui rend ces échantillons particulièrement démonstratifs, c'est que toutes ces couches, discernables par leurs colorations, sont de composition identique, d'une homogénéité et d'une finesse de grain étonnantes, de sorte qu'il est inadmissible que la force capable de faire « couler » la masse appelée phyllade ait été impuissante à pétrir des feuillets de 2 ou 3 millimètres d'épaisseur, désignés sous le nom de coticule, qui y sont intercalés. La seule interprétation possible est que, si la consistance un peu supérieure du coticule a suffi à empêcher qu'il soit malaxé entre les autres couches, ces dernières devaient être plastiques sous des efforts relativement faibles, donc être assez molles.

Fig. 27. — Autre échantillon de phyllade de Salm-Château, préparé comme le précédent et représenté en grandeur naturelle. Les lisérés ont été omis. Il est intéressant à cause du déplacement qu'ont subi les deux extrémités de la couche de coticule, après rupture. Cette partie est agrandie au double, figure 27*c*, où l'on retrouve les particularités décrites pour l'échantillon précédent. La couche de coticule imparfait *c* semble ici un peu plus résistante; néanmoins c'est elle qui fournit la partie élargie, effeuillée et étirée en un filament, joignant les deux extrémités de la couche *Cot.* brisée. La bande *c* est composée de plusieurs feuillets probablement de consistance différente; c'est elle qui a aussi donné le petit retroussement qui est au bout de la partie supérieure de la couche *Cot.* vers la droite. Le coticule est tronçonné, avec petits déplacements, tandis les lisérés R (pointillé) et le phyllade V se comportent comme des masses pâteuses.

La disposition des fissures courbes de cet échantillon est curieuse à suivre sur la figure 27. La variabilité d'allure des plissements, à de courtes distances, est indiquée par les deux coupes figures 27*a* et 27*b*, prises à 5 centimètres en avant et en arrière de celle qu'on vient de décrire.

FIG. 28. — Troisième échantillon des mêmes phyllades, représenté dans des conditions identiques, sauf qu'on a indiqué la couche *c*, afin de montrer que dans le milieu de la pièce elle a disparu avec le phyllade manquant à cette place (trait interrompu).

Par la coupe figure 28*a*, prise à 7 centimètres en avant, on reconnaît que les plis sont plus accusés encore en ce point, mais ils sont accompagnés de ruptures et de chevauchements.

FIG. 29. — Petit vide entre les feuillettes d'un coticule très chiffonné d'Ottre.

Il est comblé par de la silice et des grenats désignés comme secondaires dans le texte. Les petits points indiquent à peu près les dimensions des granules de spessartine de la roche. Ceux de la petite cavité sont donc environ dix fois plus gros. — $\times 30$.

On trouve ces minuscules géodes dans des échantillons tels que figure 36.

FIG. 30. — Échantillon de coticule de Salm-Château, avec brisure et chevauchement de la couche de coticule. Le bord supérieur, tranchant et très effilé, pénètre dans les lisérés et les refoule. A 1 centimètre en avant, le chevauchement change de sens, comme l'indique la coupe figure 30*a*. Grandeur naturelle.

FIG. 31. — Pièce de coticule de Salm Château, ayant 6 à 7 millimètres d'épaisseur, complètement isolée du phyllade. Elle est représentée en demi-grandeur. Sa forme, assez compliquée, est reconnaissable par quatre coupes indiquées en pointillé. L'échantillon rappelle les lames de verre brisées par torsion (Daubrée); le coticule devait donc avoir une certaine dureté pour se fissurer ainsi. Dans certaines pièces il existe un clivage latent qui ne se met en évidence qu'au moment où on cherche à les détacher; d'autres encore montrent nettement le réseau de fractures, grâce à des infiltrations de manganèse

FIG. 32. — Partie d'une couche de coticule déchirée et recoupée par des fissures en zigzag. Afin de mettre les fissures remplies de silice en évidence, on a employé la lumière polarisée; sous cet éclairage, la bande de coticule, surtout composée de grenats isotropes, paraît noire. — $\times 10$.

La figure 32*a* représente la partie supérieure de cette couche sous un grossissement plus considérable ($\times 100$) et en lumière ordinaire. La dilacération est évidente. L'enduit de manganèse (en noir) qui couvre souvent le coticule, est interrompu. Les lamelles de séricite sont toutes parallèles et relient les parois des déchirures; le quartz remplit les vides. Ces deux figures sont à comparer à la figure 24.

FIG. 33. — Lame mince dans un pli aigu du coticule de Vielsalm.

Vue d'ensemble sous un faible grossissement ($\times 4$), permettant de reconnaître les déchirures nombreuses de la couche *Cot*. La couche *c* montre des décollements en S et des chiffonnements, qui indiquent les glissements du phyllade V_1 pincé entre les jambages du pli; cette partie de phyllade est sectionnée par une fissure médiane et le rejet est sensible par le manque de concordance des couches R_1 . La fissure ne pénètre pas dans le coticule.

FIG. 34. — Détail microscopique d'un filament analogue à celui de la figure 27*c*, reliant deux parties d'une couche de coticule chevauchant l'une sur l'autre (Vielsalm). Grossissement moyen (env. $\times 20$). Le phyllade violet

(*phy.*), plus tendre, est courbé et dilacéré dans le sens de la friction. La partie la plus exposée du coticule a aussi fourni une petite trainée de grenats, interlamée dans la masse sériciteuse du filament. Le quartz de remplissage est souvent en grains allongés, situés entre les mailles du réseau micacé.

FIG. 35. — Lamé mince taillée dans une couche de coticule, dont la partie supérieure, en contact avec le phyllade V_1 , est unie. Dans la partie inférieure, au contraire, le phyllade en se déplaçant s'est faillé (rabotage), et les petites failles intéressent non seulement les lisérés rouges, mais encore une couche jaune de coticule imparfait. Le tout a glissé sur le plan ab formant la limite du coticule proprement dit, plus résistant. — $\times 2$ environ.

Comme ces détails disparaissent sur les pièces simplement dressées et polies, où le joint ab est invisible, on croit voir des prolongements épineux du coticule s'enfonçant dans le phyllade V_2 .

FIG. 36. — Échantillon poli de coticule d'Ottré, mettant en évidence la plasticité de cette variété; en effet, l'épaisseur de la couche jaune change dans les courbes. La tendance à se séparer du phyllade est peu marquée ou absente. Pas d'infiltrations de MnO_2 . Les lisérés sont larges; l'échantillon en montre un, gris-perle (g) et un autre, jaunâtre (j). Il en est qui sont constitués d'un grand nombre de fines strates de colorations très variées avec plissements microscopiques. Les zones claires du phyllade sont très nombreuses; elles indiquent une masse plastique. Les sommets des ondulations sont épaissis et montrent de la microsclistosité parallèle aux grands joints qui traversent l'échantillon. — Grand. nat.

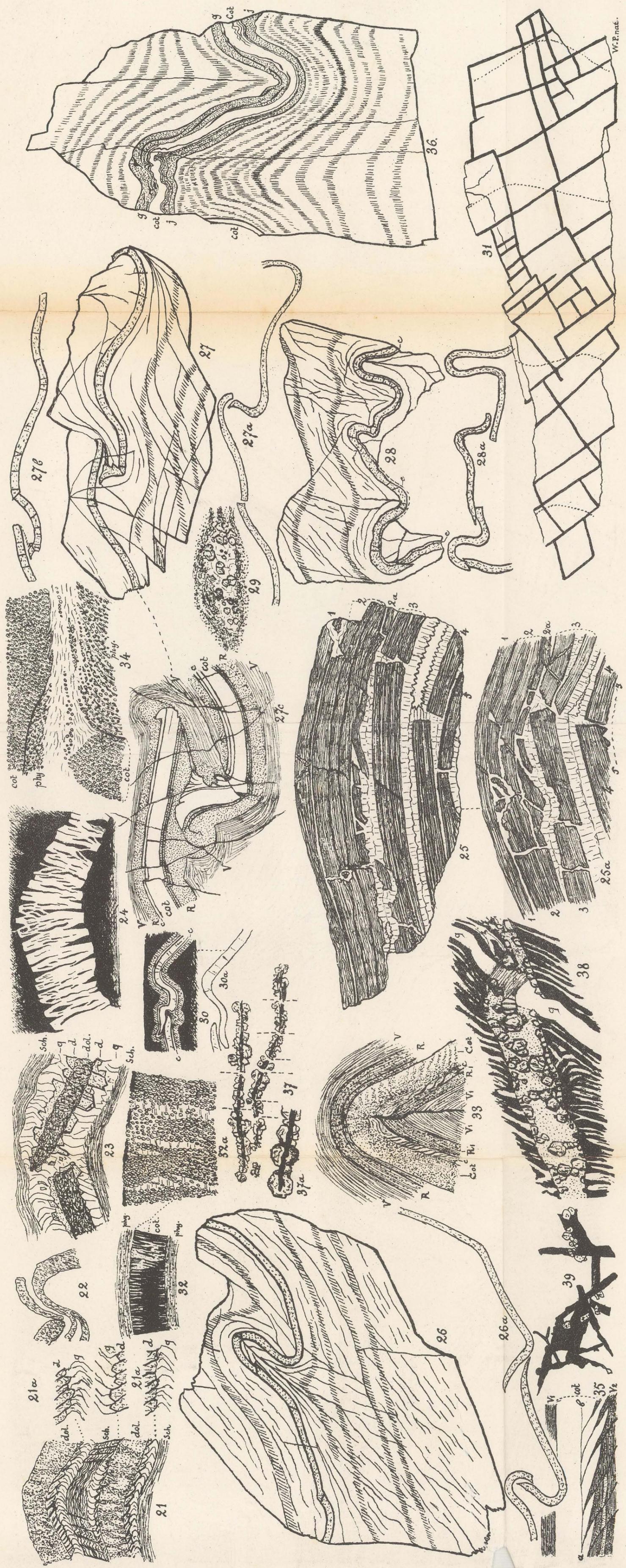
FIG. 37. — Dans une lentille de schiste noir de Vielsalm, les feuillettes de la roche ont été divisés au point de ne plus présenter, en coupe transversale, que des lignes onduleuses, même sous un grossissement moyen. Du grenat spessartine a cristallisé sur les deux surfaces de ces membranes, comme le dessin l'établit. ($\times 30$). Les traits verticaux indiquent un système de fissures recoupant celles qui séparent les feuillettes noirs.

Parfois, les deux moitiés d'un même grain de spessartine se trouvent des deux côtés de la membrane, ainsi que cela est visible sous une forte amplification, figure 37a. — $\times 70$.

FIG. 38. — Filonnet de grenat dans l'espace formé par le décollement des feuillettes de l'échantillon précédent. Les grains de spessartine tapissent les parois de la petite crevasse; d'autres sont en files qui s'étendent d'une paroi à l'autre. Sous un grossissement plus fort, on voit des interruptions dans ce revêtement, à tous les points où aboutissent les fissures plus ou moins verticales; celles-ci sont donc postérieures aux premières. Le remplissage (pointillé) est de la chlorite feutrée, qui a pu supporter ces minuscules tiraillements sans se déchirer, sauf lorsque les fissures transversales étaient trop considérables (à droite). Dans ce cas, la chlorite s'est étirée en fibres parallèles. — $\times 15$.

Tous les intervalles blancs sont comblés par du quartz.

FIG. 39. — Groupe de cristaux d'ilménite, tels qu'on en trouve dans les fissures de l'échantillon précédent, associés à des grains de spessartine qu'ils englobent partiellement. — $\times 40$.



Déformations avec ruptures du cotique salmien et d'autres roches.

W. P. nat.