Département à Mr. le Prof. G. Gilson
Le 5 I 1903.
H. G.

EXPÉDITION ANTARCTIQUE BELGE

RÉSULTATS

DU

VOYAGE DU S. Y. BELGICA

EN 1897-1898-1899

SOUS LE COMMANDEMENT DE

A. DE GERLACHE DE GOMERY

RAPPORTS SCIENTIFIQUES

PUBLIÉS AUX FRAIS DU GOUVERNEMENT BELGE, SOUS LA DIRECTION

DE LA

COMMISSION DE LA BELGICA

MÉTÉOROLOGIE

LA NEIGE ET LE GIVRE

PAR

A. DOBROWOLSKI

MEMBRE DU PERSONNEL SCIENTIFIQUE DE L'EXPÉDITION

ANVERS

IMPRIMERIE J.-E. BUSCHMANN

REMPART DE LA PORTE DU RHIN

1903

Eigendom van het Westvlaams Ekonomisch Studiebureau Brugge Reeks / Boek

Instituut voor Zeewetenschappelijk onderzoek
8401 Bredene - Belgium - Tel. 059/80 37 15

LA NEIGE ET LE GIVRE

PAR

A. DOBROWOLSKI

MEMBRE DU PERSONNEL SCIENTIFIQUE DE L'EXPÉDITION

59923

Sorti des presses de J.-E. BUSCHMANN, Anvers
le 15 Août 1903

LA NEIGE ET LE GIVRE

PAR

A. DOBROWOLSKI

MEMBRE DU PERSONNEL SCIENTIFIQUE DE L'EXPÉDITION

INTRODUCTION

Pendant l'hivernage de la BELGICA, en 1898/99, j'ai fait une série d'observations sur la forme et la structure du givre et surtout de la neige.

Je dois dire que les conditions dans lesquelles ces observations ont été faites n'étaient pas des meilleures. Ainsi, d'autres occupations m'empêchaient souvent d'étudier au microscope beaucoup de formes intéressantes, que je devais me contenter d'examiner à la loupe. Mais le plus grand inconvénient était le manque d'appareil microphotographique, absolument nécessaire pour fixer des formes essentiellement fugaces de par la rapidité de la fonte et de l'évaporation ; j'ai dû, par conséquent, me borner à des dessins, voire même à des descriptions. Mes dessins, inévitablement plus ou moins inexacts, ne reproduisent souvent que de simples fragments des formes observées, ou bien ne font ressortir que certains caractères de celles-ci, ou enfin, dans le cas de figures trop compliquées, deviennent schématiques. De plus, dans ce domaine, la photographie seule permet des mensurations précises. A défaut d'un moyen si essentiel, mon travail constituerait un véritable anachronisme, si les recherches systématiques basées sur cette méthode n'étaient pas si récentes, et si les procédés primitifs, tout défectueux qu'ils soient, ne pouvaient encore fournir quelques données nouvelles sur les nombreuses lacunes de nos connaissances sur ce sujet, ou tout au moins aboutir à la confirmation de certains faits admis.

Des malentendus possibles nécessitent encore une dernière remarque. La question peut-être la plus importante dans toute étude cristallographique, est de savoir si la forme observée est un individu unique ou bien un groupement cristallin. Souvent la simple observation peut induire en erreur ; seule l'étude des propriétés physiques, et tout particulièrement des phénomènes optiques, est capable d'y répondre. Or, n'ayant pas fait ces recherches, je ne saurais évidemment me prononcer dans les cas douteux. Par conséquent, partout où, malgré l'incertitude, j'envisage une forme donnée comme individu unique ou comme groupement, il ne faut voir qu'une présomption, ou même une simple commodité de description.

Enfin, je me permets de remercier ici MM. A. Lancaster, directeur du Service météorologique de l'Observatoire royal d'Uccle, et F. Stöber, chargé de cours de minéralogie à l'Université de Gand, de l'intérêt qu'ils ont témoigné à mon travail, et de leurs conseils concernant la rédaction et la publication de celui-ci.

PREMIÈRE PARTIE

LA NEIGE

L'examen de la neige fut fait en général à l'occasion de la prise des notations météorologiques horaires. Assez souvent les observations eurent lieu dans l'intervalle, et parfois même furent poursuivies d'une façon continue afin de se rendre compte de la succession des formes.

Dans trois cents cas environ, j'utilisai la loupe et le microscope ; dans les autres, la loupe seulement.

Les mensurations ont été presque exclusivement faites à la loupe et ne peuvent donc prétendre à une grande précision. L'échelle dont je me servais n'ayant été graduée qu'au demi-millimètre, j'ai dû estimer approximativement les grandeurs d'ordre inférieur. Les erreurs possibles ont été, évidemment, d'autant plus sensibles que les formes observées étaient plus petites.

PRINCIPAUX TYPES

Toutes les formes observées ont pu être ramenées aux deux grands types des investigateurs modernes (G. Hellmann, G. Nordenskjöld, W. A. Bentley) : *type lamellaire* (longueur de l'axe principal très petite relativement à celle des axes secondaires (1)) et *type en bâtonnet* (longueur de l'axe principal ordinairement plus grande, rarement un peu plus petite).

Bien fréquemment, il est vrai, il tombait des éléments le plus souvent informes et d'aspect grenu, qui semblaient s'écarter de ces types. Mais, en revanche et plus souvent encore, j'en observais de tout à fait analogues que je pouvais distinctement rattacher aux cristaux types, soit qu'ils en fussent des agrégats, des débris, ou des déformations par dépôt de givre. Or, quand, chose assez fréquente, ces deux catégories tombaient simultanément ou successivement dans la même chute, on pouvait suivre une série de transitions bien nettes. Il en résulte, et cela confirme l'opinion des observateurs modernes, qu'il serait bien difficile de conclure à des formes s'écartant des deux grands types.

Quant à la fréquence relative des deux types, le lamellaire était prédominant :

Nombre d'observations où la forme de la neige a été déterminée : 708 ;

» » » le type lamellaire a été distingué : 454 ou 64 °/₀ ;

» » » le type en bâtonnet a été distingué : 419 ou 59 °/₀.

---

(1) *Axe principal* = l'axe vertical ; *axes secondaires* = les trois axes horizontaux.

Cela concorde, d'une façon générale, avec les résultats des autres observateurs ; mais dans nos parages la prépondérance du type lamellaire s'est montrée moindre (1).

Ces deux types fondamentaux étaient en général très bien tranchés, et les formes de transition (lamelles trop épaisses, bâtonnets trop courts), difficiles à y rattacher, étaient très rares.

Pourquoi la neige prend-elle tantôt l'un, tantôt l'autre habitus ? Quelles sont les conditions qui font ses cristaux s'accroître de préférence suivant certains axes ? Moins encore que pour les autres substances à habitus variable, on ne saurait ici rien répondre de positif à cette question primordiale (2).

TYPE LAMELLAIRE

Forme

Le caractère saillant de ce type est l'extrême diversité des formes.

Cela tient, avant tout, à ce qu'ici les cristaux sont le plus souvent *incomplets :* on a des cristaux plus ou moins déchiquetés, squelettes cristallins (3), au lieu de la lamelle hexagonale pleine. Or, le degré et la modalité de cette défectuosité peuvent être a priori très variables ; c'est là d'ailleurs un fait connu pour d'autres substances qui, d'habitude ou dans certaines conditions, cristallisent incomplètement. En outre, ces squelettes cristallins retrouvant des conditions de croissance normale, tendent à se compléter ; et ici également, le degré et la modalité du phénomène peuvent varier. Enfin, une lamelle, complète à son origine, peut s'accroître, dans la suite, d'après le type squelettaire.

Outre ce facteur, il en est d'autres. Tout d'abord les lamelles, complètes ou déchiquetées, sont bien souvent hémiédriques, et la différence, quantitative et qualitative, entre deux sextants (4) voisins, peut être très variable. Ensuite, ces cristaux sont loin d'être toujours d'une régularité, d'une symétrie parfaites, et le degré et la modalité de leur irrégularité, de leur asymétrie peuvent encore être très divers. De plus, ils peuvent, sur tout leur pourtour ou par endroits seulement, présenter des courbures variables (bords concaves, angles émoussés). Enfin, une nouvelle congélation succédant à une fonte partielle est encore une source de variabilité des formes.

Des nombreuses formes que j'ai vues et de celles publiées par les auteurs, il n'en est pas une qui trancherait plus ou moins nettement sur l'ensemble : il paraît possible de toujours passer d'une variété donnée à une autre, par une série progressive et serrée de formes de

(1) G. Hellmann, tablant sur ses propres observations et sur celles de Scoresby et de Rohrer, estime à environ 75 % la part du type lamellaire (Schneekrystalle. Berlin, 1893 ; p. 39). Les méthodes du calcul sont différentes : tandis que mes chiffres ne donnent que la fréquence proprement dite, c'est-à-dire le % d'*observations* où l'on a trouvé les cristaux de l'un ou de l'autre type, Hellmann donne le % de *spécimens* lamellaires observés.

Je fais rentrer dans le type en bâtonnet les combinaisons du prisme avec une ou deux lamelles.

(2) On suppose que l'état électrique de l'atmosphère, positif ou négatif, serait peut-être un facteur de cette diversité. (W. A. Bentley, Twenty years' study of snow crystals. *Monthly Weather Review*, May, 1901, p. 214.)

(3) Comme on trouve dans d'autres substances assez bien de formes d'accroissement analogues aux figures de la neige lamellaire, il est permis, surtout depuis les expériences bien connues de Dogiel, de considérer celles-ci comme différentes formes d'accroissement d'un cristal lamellaire hexagonal, ce qui n'élimine pas l'existence possible, parmi ces figures, de groupements cristallins imitant la forme d'un cristal unique.

(4) Par « sextant » j'entends ici et dans la suite l'espace délimité par l'intersection de deux axes voisins (axes des rayons dans le cas d'étoiles, diagonales passant par le centre dans le cas de tablettes).

transition. Cette continuité de forme s'observait bien souvent aussi parmi les différentes variétés tombant, lors d'une même chute, simultanément ou successivement. Il n'en résulte point qu'on pourrait arranger toutes les variétés de la neige lamellaire en une seule série. En effet, partant de la même variété, on pouvait souvent aboutir, par des séries de formes de transition différentes, à plusieurs variétés distinctes ; d'un autre côté, entre deux formes données il pouvait exister plusieurs séries de transition différentes. La continuité de forme devrait donc ici être figurée par un réseau complexe plutôt que par une ligne.

Le fait que les différentes formes observées semblent, souvent dans la même chute, reliées entre elles par des formes de transition, fait qui n'était que le résultat d'une pure comparaison, ne permet évidemment encore d'en tirer aucune conclusion légitime quant aux différentes phases du développement d'un cristal. Ce n'est qu'en s'aidant de l'étude de la structure intime que l'on peut aborder l'histoire de ces cristaux.

Quelque grand que soit le nombre des variétés lamellaires, il me semble pourtant montrer des limites. Presque toutes les formes observées se répétèrent au moins une fois, sinon absolument identiques, du moins avec des variantes insignifiantes ; très rares sont les formes que je n'ai notées qu'une fois. D'un autre côté, m'étant procuré une collection assez riche de la neige dessinée et photographiée (1), j'ai été frappé par la ressemblance plus qu'essentielle de ces figures avec les formes que j'ai observées : j'en ai vu fort peu dont je n'aie pu trouver de très analogues parmi mes dessins de la neige lamellaire, dessins dont je ne donne guère ici que les schémas, non à cause de cette ressemblance, mais parce qu'ils ne peuvent être comparés aux belles et si exactes microphotographies des auteurs modernes.

Principales variétés du type lamellaire

Il est ici fait abstraction des phénomènes d'hémiédrie, d'asymétrie, de contours courbes, etc.

Une classification grossière, mais naturelle et assez commode, peut être basée sur le degré de défectuosité ; elle donne comme formes extrêmes : lamelle hexagonale simple (cristal complet), étoile sans champ central, à six rayons simples (cristal le moins complet).

A. *Étoiles sans champ central.*

I. *Rayons très étroits relativement à leur longueur.*

Les rayons se présentent sous deux aspects principaux :

a) L'aspect typique est en aiguille aplatie (fig. 1, schéma A^I) dont la pointe proximale (2) contribue à former le centre de l'étoile. Assez souvent le rayon semblait composé de deux ou plusieurs aiguilles alignées bout à bout suivant une même droite (schéma A^{II}).

b) Très fréquemment pourtant l'extrémité distale, au lieu de s'effiler, présentait un contour semi-hexagonal (schéma B^I), ou même un hexagone allongé incomplet dépassant légèrement la largeur du reste du rayon (schéma B^{II}).

L'extrémité proximale pouvait parfois, elle aussi, perdre tout caractère d'acuité

(1) De la célèbre collection de microphotographies offerte par W. A. Bentley au Harvard Mineralogical Museum, je n'ai eu l'occasion de voir que des reproductions publiées dans *Monthly Weather Review,* May, 1901.

(2) J'emploie le terme « proximal » dans le sens de « tourné vers le centre »; le terme « distal » signifie : « tourné vers la périphérie ».

(schéma B^{III}). Donc, un rayon entier pouvait figurer une lamelle semi-hexagonale énormément allongée.

Lorsque les deux aspects, *a* et *b*, se présentaient simultanément ou successivement dans une même chute, ou, mieux encore, sur une même étoile, les rayons d'aspect *b* paraissaient généralement plus larges.

Les bords latéraux du rayon (abstraction faite des appendices possibles) étaient unis ou bien montraient des incisures, des échancrures, etc.

Les rayons dépourvus d'*appendices latéraux* étaient relativement rares. L'abondance relative des appendices variait de la simple paire à la série très serrée. Leur répartition le long du rayon était aussi variable : elle pouvait être uniforme ou non, et dans ce dernier cas, le plus ordinaire, être plus ou moins déterminée (par exemple, appendices intéressant seulement la moitié ou l'extrémité distales du bras) ou tout à fait indéfinie ; assez souvent on avait affaire à un trèfle terminal composé d'une paire d'appendices et de la portion distale du rayon égale, ou à peu près, à la longueur de ceux-ci, ce trèfle représentant donc le squelette d'un semi-hexagone terminal (fig. 1, schéma *C*). Quant à la forme, un appendice pouvait, lui aussi, ou bien être aciculaire ou bien figurer, par son ensemble ou à son extrémité distale seulement, un hexagone allongé incomplet ; bien souvent pourtant ils s'étalaient en larges pétales (*Stella pennata* de G. Hellmann), mais alors leur longueur, beaucoup moindre en moyenne, n'atteignait jamais la longueur maximale des précédents.

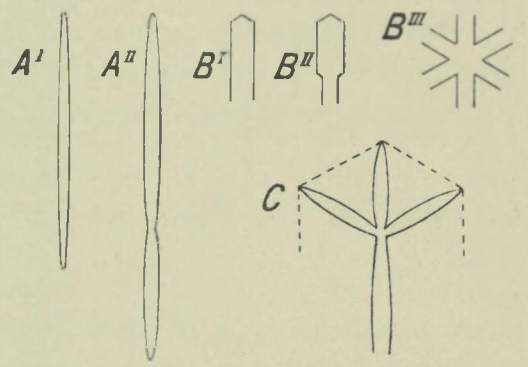


Fig. 1

Supposant, pour la clarté de l'exposé, les étoiles symétriquement développées, la longueur moyenne des appendices variait d'une étoile à l'autre, depuis la simple ébauche jusqu'à un maximum permis par le diamètre de l'étoile. Sur un même rayon, lorsque les appendices de la région proximale étaient suffisamment serrés, ils devaient naturellement se raccourcir progressivement, depuis un certain point vers le centre de l'étoile ; un phénomène analogue, mais à marche inverse, s'observait généralement aussi à l'extrémité distale du bras. Ailleurs la longueur pouvait varier d'une façon quelconque, mais le plus souvent on pouvait discerner un certain ordre, lequel, joint à une répartition plus ou moins déterminée des appendices, faisait que le pourtour de l'étoile considéré globalement dessinait une forme définie, analogue à des lamelles plus complètes. En voici quelques types dans les diagrammes A^I—F de la figure 2, que l'on pourrait encore compléter par des formes de

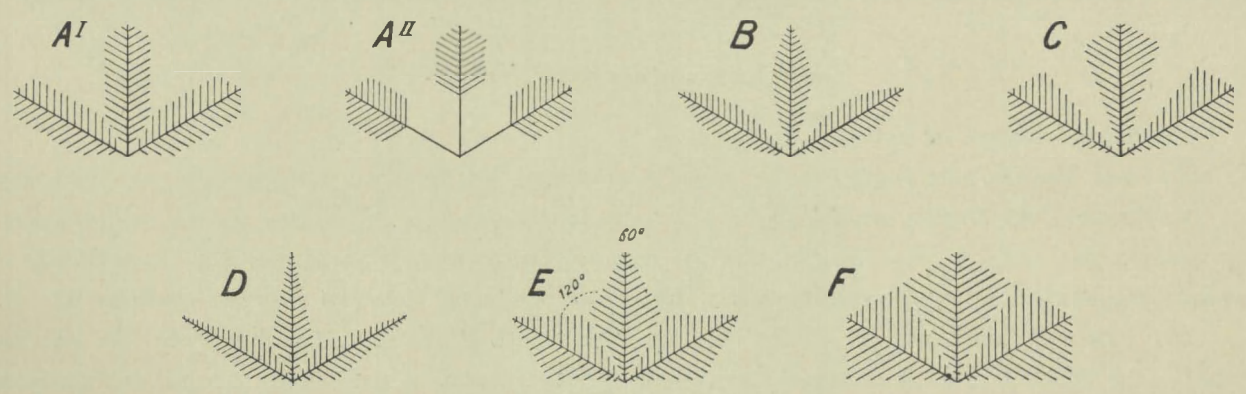


Fig. 2

transition. Ces différentes modalités de variation de la longueur des appendices pouvaient être aussi combinées sur un même rayon.

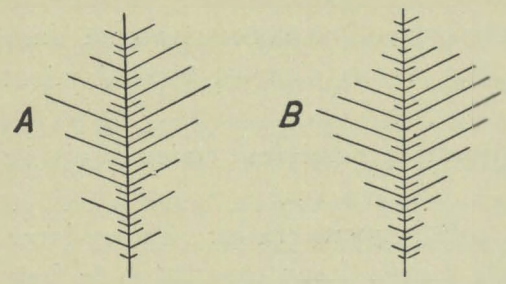


Fig. 3

Parfois les appendices relativement longs pouvaient alterner régulièrement avec des appendices courts (fig. 3, schémas *A* et *B*).

Les appendices primaires pouvaient porter des appendices secondaires, ceux-ci des appendices de troisième ordre, etc. ; ce que nous avons dit plus haut des appendices primaires, trouve place ici aussi, *mutatis mutandis*.

II. *Rayons plus ou moins fortement élargis.*

Cet élargissement pouvait n'intéresser que la partie tout à fait distale du rayon. Alors celui-ci se terminait en large hexagone incomplet, régulier ou bien étiré suivant la longueur ou la largeur (fig. 4, schémas A^I, A^{II}, A^{III}). Le rayon pouvait aussi se présenter en rhomboïde à angle distal de 120° (schéma *B*), ou en feuille pointue aux deux extrémités (schéma *C*). (Les rayons élargis plus ou moins uniformément ou vers l'extrémité proximale forment déjà, évidemment, des étoiles à champ central.) Ces différentes formes pouvaient aussi se combiner et donner, par exemple, un rayon s'élargissant en escalier vers son extrémité distale (schéma *D*).

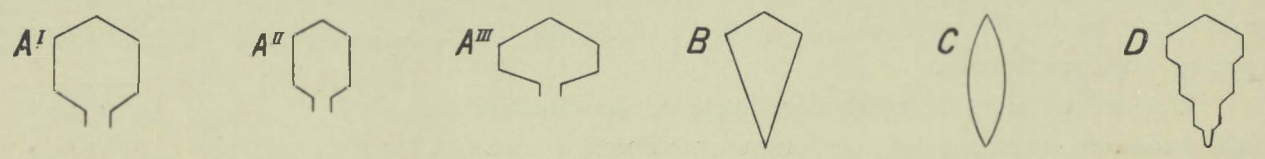


Fig. 4

Dans cette seconde classe, chose à prévoir, le développement des appendices est beaucoup plus faible ; très souvent ils faisaient défaut, et s'ils étaient même nombreux, ils restaient rudimentaires.

L'élargissement des rayons pouvant s'accuser à des degrés variables, on pouvait passer de cette classe à la précédente par tous les stades de transition ; ceux-ci se trouvaient parfois réalisés dans une même chute, simultanément ou successivement. D'un autre côté, si l'on suppose les appendices du schéma *C* de la figure 1 et des schémas *B* et *C* de la figure 2 s'élargissant jusqu'à soudure complète, on a une nouvelle espèce de séries de transition entre les deux classes d'étoiles sans champ central, séries qui, parfois, se réalisèrent aussi dans une même chute.

B. *Étoiles à champ central.*

I. *Champ central en lamelle hexagonale.*

Rayons insérés aux angles de la lamelle centrale, sur le prolongement de ses trois axes.

a) Rayons très étroits, analogues à ceux de la classe A, I. Comme ils ne convergent plus en un point, quelques dispositions nouvelles des appendices sont possibles (fig. 5, schémas A^I-*C* ; comparer respectivement aux schémas A^I, A^{II}, *D*, *E* de la fig. 2 et au schéma *C* de la fig. 1).

Des transitions vers la classe A, I (diminution graduelle du diamètre de la tablette centrale) ont parfois été observées dans une même chute, simultanément ou successivement.

b) Rayons élargis. Comme ils ne convergent plus en un point, l'élargissement peut intéresser aussi la portion proximale du rayon. D'où nouvelles formes possibles :

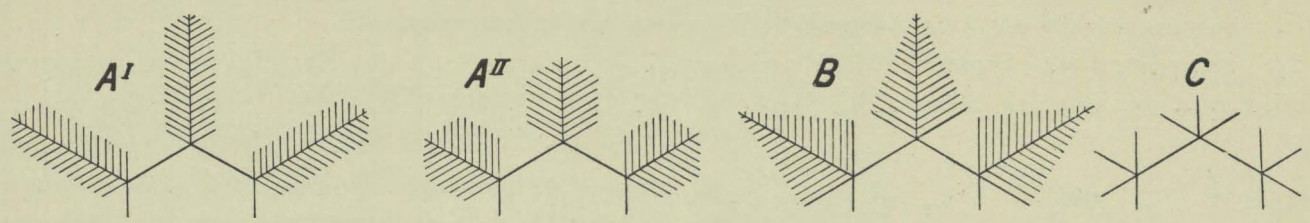


Fig. 5

1. Rayons élargis uniformément suivant toute la longueur : lamelles semi-hexagonales étirées (fig. 6, schéma *A*) ou en hexagone presque complet (schéma B^I). La diminution de la longueur des rayons en hexagone allongé (schéma B^I) peut conduire à des rayons-hexagones réguliers (schéma B^{II}).

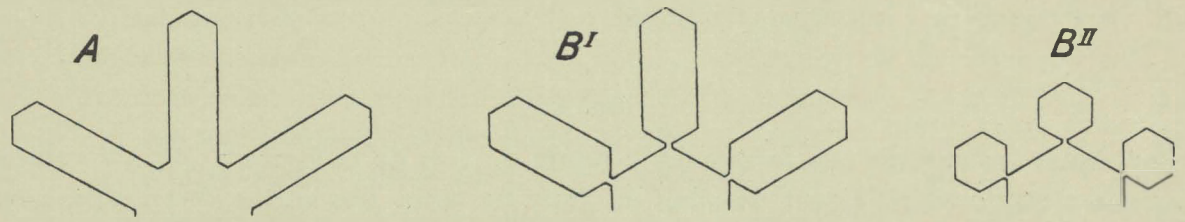


Fig. 6

Deux sortes de séries de transition rattachent l'espèce précédente (B, I, *a*) à celle-ci : l'une se faisant par élargissement progressif et uniforme des rayons, l'autre par élargissement et soudure éventuelle des appendices (sous ce dernier rapport, comparer la fig. 6, B^I, B^{II} à la fig. 5, A^I, A^{II} ; la fig. 6, B^{II} à la fig. 5, *C*). Ces transitions ont été parfois observées dans une même chute, simultanément ou successivement.

2. Rayons s'élargissant vers l'extrémité proximale. Figure 7 (on voit que la forme du rayon des schémas B^I et B^{II} est inverse de celle réalisée dans les schémas *B* et *D* de la fig. 4).

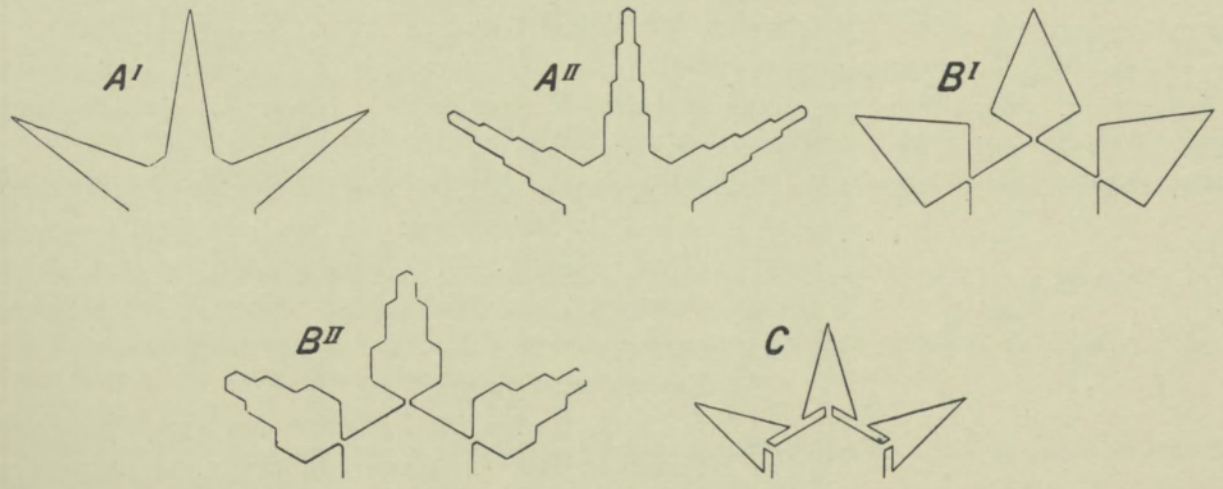


Fig. 7

Supposant les appendices du schéma *B* de la figure 5 s'élargissant jusqu'à la fusion, on obtiendra une série de transition entre celui-ci et le schéma B^I de la figure 7, réalisée parfois dans une même chute, simultanément ou successivement.

Remarque générale à la classe B, I.

Supposant les rayons réduits de plus en plus, on arrivera à des lamelles ne montrant aux angles que de simples pointes ou boutons (fig. 8, schémas *A*, *B*, *C*), et éventuellement à de simples lamelles hexagonales complètes. Des séries de transition de ce genre ont été souvent observées dans une même chute, simultanément ou successivement.

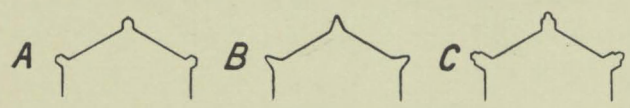


FIG. 8

II. *Champ central formé simplement par les bases des rayons* tels qu'en montrent la figure 6, *A* et la figure 7, A^I, A^{II} (fig. 9).

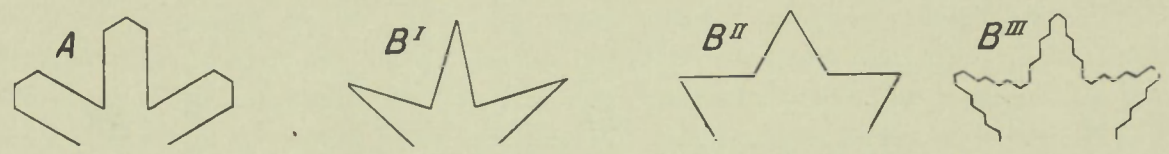


FIG. 9

Supposant les rayons des formes de la figure 6, *A* et de la figure 7, A^I, A^{II} s'élargissant, ou la lamelle centrale se réduisant de plus en plus, on aura des séries de transition réalisées assez souvent, dans une même chute de neige, simultanément ou successivement. D'un autre côté, on a trouvé, dans une même chute de neige également, des transitions entre les formes de cette classe et celles de la classe A, I (élargissement progressif des appendices jusqu'à soudure ; comparer la fig. 9, *A*, B^I, B^{II} à la fig. 2, A^I, *D*, *E*). Enfin, supposant les rayons des formes de la figure 9 s'élargissant de plus en plus, on arrivera à de simples lamelles hexagonales complètes; des transitions de ce genre ont été, souvent aussi, observées dans une même chute de neige.

REMARQUES GÉNÉRALES.

1. Dans cet exposé nous n'avons pas voulu épuiser toutes les complications observées, mais en donner simplement les éléments. Différentes formes des rayons que nous avons décrites isolément, pouvaient être différemment combinées dans un même rayon. L'absence ou la présence des appendices primaires, secondaires, etc., leur forme, leur longueur, leur abondance, leur répartition, variables autant dans la classe B que dans la classe A, sont de multiples facteurs de la diversité des étoiles de neige.

2. Les hexagones incomplets terminaux des rayons (et même des appendices) pouvaient, quand ils étaient assez larges, être munis eux aussi, à l'instar des lamelles hexagonales centrales, de rayons en général peu développés, occupant ordinairement un ou trois angles distaux, voire même les cinq angles. Exemples : figure 10.

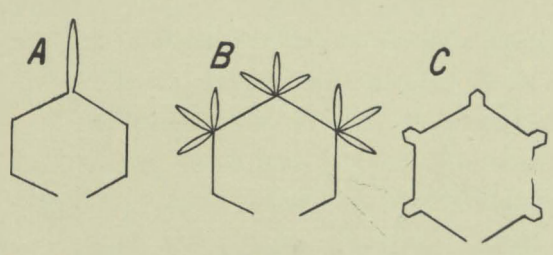


FIG. 10

3. La faculté d'émettre des appendices semblait diminuer avec la largeur du rayon, et augmenter avec sa longueur.

4. On remarquait généralement une certaine relation, mais inverse, entre la longueur des appendices (aussi bien que des rayons) et leur largeur.

Rapport entre la forme et le diamètre.

Ce rapport était en général bien marqué.
Voici les résultats de mes observations à ce sujet (1) :

Catégorie-classe-espèce-variété.	*N.*	*D. moy.*	*D. max.*	*D. min.*
Première catégorie : Étoiles les moins complètes — pas de champ central, rayons très étroits relativement à leur longueur (classe A, I). . . .	114	**3.1**mm	—	—
1. Appendices relativement longs	—	**3.8**mm	—	—
a) Appendices serrés	90	4.0mm	10.0mm (2)	2.0mm
b) Appendices rares (jusqu'à une seule paire)	21	3.4mm	5.0mm	2.0mm
2. Appendices moyens..... courts..... rudimentaires..... nuls	—	**2.0**mm	—	—
a) Appendices moyens	11	2.6mm	4.0mm	1.0mm
b) Appendices courts :				
α) plus ou moins serrés	7	3.0mm	4.0mm	2.0mm
β) une seule paire (vers l'extrémité distale)	18	2.1mm	4.0mm	0.7mm
c) Appendices rudimentaires et nuls . . .	—	1.7mm	—	—
α) rudimentaires, fins, fortement serrés .	15	1.4mm	2.0mm	0.3mm
β) nuls	27	1.9mm	4.0mm	0.5mm
Deuxième catégorie, intermédiaire	60	**1.9** mm	—	—
1. Étoiles sans champ central, à rayons élargis vers leur milieu ou vers l'extrémité distale seulement.	—	1.9mm	—	—
a) Sans appendices	22	2.0mm	4.5mm (3)	0.7mm
b) Avec appendices (faiblement développés).	11	1.6mm	3.5mm	1.0mm
2. Étoiles à champ central hexagonal ou bien formé par les bases des rayons, petit par rapport à la longueur de ceux-ci.	—	1.9mm	5.0mm (4)	0.3mm
Troisième catégorie	108	**1.4** mm	—	—
1. Lamelles étoilées à champ central relativement grand par rapport aux rayons. . . .	—	1.5mm	4.5mm (5)	0.3mm
2. Lamelles hexagonales simples.	—	1.3mm	3.0mm	0.3mm

On voit qu'en général les cristaux lamellaires sont d'autant plus grands qu'ils sont moins complets : les plus grands sont des étoiles sans champ central, à rayons relativement très étroits ;

---

(1) *N* = nombre d'observations où la catégorie-classe-espèce-variété donnée a été notée et mesurée ; *D. moy.* = diamètre moyen ; *D. max.* = diamètre maximal ; *D. min.* = diamètre minimal.

(2) Ce maximum fut observé deux fois ; parmi les diamètres dépassant 5.0mm, ceux allant jusqu'à 6.0mm furent notés sept fois ; à 8.0mm, une fois ; à 9.0mm, une fois.

(3) Observé une fois seulement.

(4) Rayons fortement dendritiques ; en général, les plus grandes dimensions (3.0mm, 4.0mm) se rencontraient dans les étoiles à rayons dendritiques.

(5) Rayons dendritiques ; les lamelles à rayons dendritiques étaient en général les plus grandes.

les plus petits sont des lamelles hexagonales simples. Ce résultat concorde avec celui des autres observateurs (1). Pourtant cette règle ne va pas sans restriction, ou plutôt sans complément ; car il en résulterait que le plus grand diamètre moyen devrait caractériser des étoiles sans champ central à six rayons étroits *simples*. Or, l'observation montre que dans la *première catégorie* le diamètre moyen est d'autant plus grand que les appendices sont plus développés (2) ; parmi les étoiles à champ central, les plus grands exemplaires étaient aussi ceux dont les rayons étaient dendritiques. On dirait qu'une forme lamellaire donnée peut avoir un diamètre d'autant plus considérable que l'étendue de ses contours est plus grande par rapport aux contours de cette même forme complétée en lamelle hexagonale simple. A mon avis, ce fait n'est pas nécessairement en contradiction avec la règle qui est naturelle et à prévoir a priori (3), mais en constitue plutôt un complément particulier ; il signifierait seulement que les rayons simples et à ramifications faibles ne peuvent rester tels que pour autant que l'étoile ne dépasse pas un certain diamètre.

Le diamètre des différentes formes lamellaires montre certaines limites. Ainsi, dans mes observations, il n'y a pas de lamelles hexagonales simples dépassant 3.0^{mm} ; au-dessus de 5.0^{mm}, il n'y avait que des étoiles sans champ central à appendices fortement développés, lesquelles n'existaient pas au-dessous de 2.0^{mm}.

Lorsque les différentes formes lamellaires tombaient, simultanément ou successivement, dans une même chute, on constatait très souvent, parfois même jusque dans les détails et dans des spécimens très voisins, cette relation entre le diamètre et la forme.

Formation des facettes.

Une lamelle ne montrant que par hasard ses faces latérales et celles-ci étant très étroites, il est difficile de constater les modifications des arêtes et moins aisé encore de les déterminer quantitativement. G. Hellmann (4) a eu deux fois l'occasion d'en constater directement la troncature. Quant à moi, il ne m'est arrivé de conclure à ce phénomène, si important pour la théorie des halos, qu'indirectement, d'après les bordures foncées plus ou moins distinctes, donc probablement dans des lamelles d'une certaine épaisseur seulement ; ces bordures, je les constatai assez souvent.

---

(1) G. Hellmann (Schneekrystalle, p. 34) donne les chiffres suivants :

	Strahlige Sterne	Str. Sterne mit plättchenartiger Verbreiterung der Spitze	Plättchen
Zahl der Fälle.	22	10	22
Mittlerer Durchmesser	2.35^{mm}	1.57^{mm}	1.32^{mm}

Le chiffre donné par l'auteur pour les *Strahlige Sterne,* c'est-à-dire pour notre *première catégorie* (2.35^{mm}), est de beaucoup inférieur au nôtre (3.1^{mm}), chose qui pourrait peut-être s'expliquer par cette circonstance que chez nous le nombre prédominant d'observations de cette catégorie portait sur des étoiles fortement ramifiées, de diamètre très considérable (3.8^{mm} en moyenne).

(2) G. Hellmann (Ibid., p. 40) constate aussi que ce sont les formes *ramifiées* de cette première catégorie qui donnent les plus grands diamètres.

(3) En supposant que les différents cristaux de neige se forment, *ceteris paribus*, aux dépens des mêmes quantités de vapeur d'eau, il est clair que les cristaux plus ou moins complets seront plus petits que les plus ou moins déchiquetés. G. Hellmann, qui fait cette remarque, la confirme par un calcul abstrait, très simple (Ibid., pp. 61-62).

(4) Ibid., pp. 31-32.

Hémiédrie.

L'inégalité alternante de la longueur des côtés et, en général, la variation alternante de l'aspect extérieur des sextants (1) étaient bien communes dans les lamelles simples et les étoiles à champ central. Sans appareil microphotographique, je ne pouvais constater ce phénomène que lorsqu'il était bien apparent ; je ne saurais par conséquent dire rien de positif sur la relation entre la fréquence de l'hémiédrie et la forme extérieure du cristal (2). Les lamelles presque triangulaires ont été observées assez rarement ; les lamelles complètement triangulaires, jamais, les sommets du triangle étant toujours plus ou moins tronqués.

Irrégularités.

(ANOMALIES DE LA SYMÉTRIE EXTÉRIEURE) (3).

A. *Lamelles simples.*

a) Côtés inégaux, mais gardant leur parallélisme. Symétrie normale réduite à une symétrie bilatérale par rapport à deux axes perpendiculaires l'un à l'autre (fig. 11, A^I,A^{II}) ou par rapport à un seul axe (fig. 11, B^I, B^{II}) ou à une asymétrie (fig. 11, *C*).

b) Anomalies des angles (liées éventuellement à l'inégalité des côtés). Symétrie généralement bilatérale par rapport à un seul axe. Exemples : figure 11, *D*, *E*.

c) Lamelles pentagonales. Je n'ai observé de cette forme qu'un exemplaire représenté par le schéma *F* de la figure 11, où la pointe *p* ne montrait aucune troncature visible au grossissement moyen. Symétrie bilatérale par rapport à un seul axe. Comparer aux schémas *B* et *E* de la même figure 11.

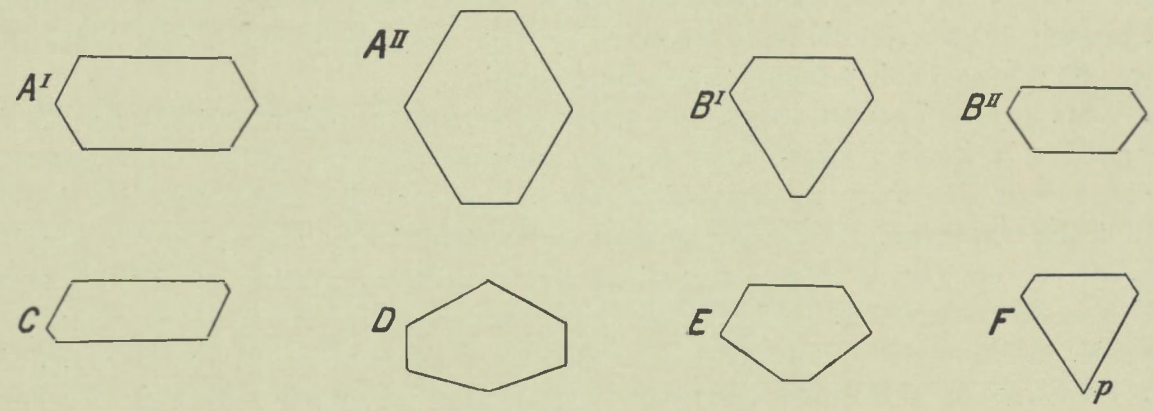


FIG. 11

(1) Voir remarque au bas de la page 5.

(2) D'après G. NORDENSKJÖLD (Communication préliminaire sur une étude des cristaux de neige. Chapitres : Tables hexagonales, Cristaux étoilés. *Bulletin de la Société française de Minéralogie*, tome 16), les lamelles simples seraient rarement holoédriques, tandis que les lamelles étoilées présenteraient rarement un développement hémiédrique bien prononcé.

(3) Le manque d'appareil microphotographique a fait que les déterminations quantitatives de ces anomalies n'ont pas été faites et que seules des anomalies frappantes furent notées.

Les formes lamellaires étant généralement très minces et leurs faces latérales difficiles à étudier, la description se rapporte exclusivement à leurs faces basales.

d) Lamelles hexagonales paraissant composées de deux fragments lamellaires. Exemples : figure 12, *D, E ;* voir aussi, parmi les figures de G. Nordenskjöld (Communication préliminaire, etc.), le numéro 25 ; parmi celles de Hellmann (Schneekrystalle), la lamelle droite et inférieure du numéro 3 ; Bentley en mentionne aussi. Expliquer ce phénomène comme une concrescence de deux débris d'étoiles cassées ou partiellement fondues, serait d'autant plus problématique que de telles formations se rencontrent aussi dans le givre fraîchement formé.

B. *Étoiles.*

a) Anomalies du champ central hexagonal. Elles sont analogues à celles des lamelles simples. Je n'en ai observé que de comparables à celles représentées dans les schémas *A*, B^I et *D* de la figure 11.

b) Lamelles hexagonales déchiquetées par endroits seulement. Exemples : figure 12, *A, B, C.* Des transitions vers les lamelles complètes d'une part, vers les lamelles à six rayons individualisés au même degré de l'autre, ont été observées simultanément dans une même chute de neige.

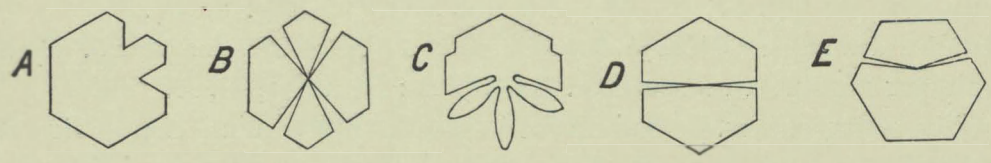


Fig. 12

c) Inégalité de la longueur des rayons.

Les étoiles à six rayons sensiblement égaux étaient relativement peu fréquentes. Cette inégalité pouvait être accusée de façon très variable et à des degrés très divers. Nous décrirons certains cas où elle semblait présenter un ordre déterminé.

1. Deux rayons opposés longs, les autres relativement rudimentaires (fig. 13, A^I, A^{II}). Cette tendance à la forme allongée était surtout marquée dans les étoiles sans champ central. Lorsque les rayons plus courts ne dépassaient pas la longueur des appendices des deux rayons longs, la limite extérieure de l'étoile pouvait se rapprocher du contour de la lamelle de la figure 11, A^I, et les rayons réduits pouvaient être considérés comme de simples appendices basaux des rayons longs (fig. 13, A^I). Une figure relative à ce phénomène se trouve parmi les photographies de Bentley reproduites dans la *Monthly Weather Review,* May, 1890 (fig. 23).

2. Très souvent la longueur des rayons diminuait d'une extrémité de l'étoile à l'extrémité opposée (fig. 13, B^I, B^{II}). L'étoile présentait alors une portion à rayons relativement longs, l'autre à rayons réduits. Lorsque tous les rayons d'une étoile étaient sensiblement inégaux, je remarquais assez souvent que si r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6 représentaient des rayons de longueur progressivement croissante, r_1 et r_6, r_2 et r_5, r_3 et r_4 étaient opposés, comme s'il y avait tendance à égaliser les trois diamètres de l'étoile; le même fait s'observait souvent aussi dans le givre. Je ne sais s'il faut voir là autre chose qu'un pur accident.

3. Dans les étoiles à champ central anormal, on pouvait remarquer parfois, dans la variation de la longueur des rayons, une tendance à corriger cette anomalie. Exemple : dessin *C* de la figure 13 (un peu schématisé).

4. La réduction de la longueur des rayons pouvait aller, surtout dans les étoiles sans

champ central, jusqu'à leur effacement complet : *étoiles fragmentaires,* à cinq, quatre, trois, deux rayons. Dans mes observations, les rayons voisins seuls s'effaçaient ou persistaient. Les étoiles à trois rayons, c'est-à-dire les demi-étoiles, étaient les plus communes. Les étoiles fragmentaires sans champ central hexagonal pouvaient se terminer, du côté des rayons absents, en simple pointe (fig. 13, D^I); mais, assez souvent, à la place de ceux-ci on avait une petite lamelle en hexagone incomplet; cet hexagone basal pouvait être orienté de deux façons, l'une différant de l'autre de 30° et cela indépendamment du nombre des rayons (fig. 13, D^{II} et D^{III}; comparer au schéma *C* de la fig. 12).

5. On trouvait, enfin, de vrais *rayons isolés*, dont l'extrémité proximale se présentait en pointe, simple ou semi-hexagonale, ou bien en petite lamelle analogue à celle décrite dans les étoiles fragmentaires. Il se peut que ces rayons isolés, ainsi que les étoiles fragmentaires, n'étaient parfois que de simples débris d'étoiles complètes qui se seraient brisées dans la chute. Mais comme des formations analogues se rencontrent dans d'autres substances (1) et ont été souvent observées dans le givre, on doit admettre l'existence, comme formes particulières, des étoiles fragmentaires, éventuellement des rayons isolés.

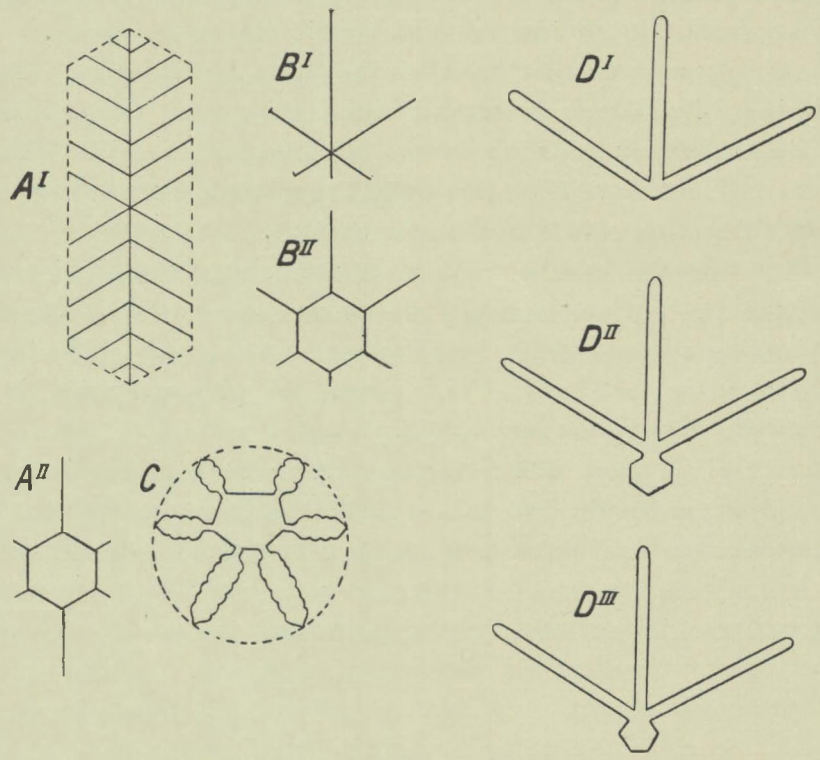


FIG. 13

d) Je n'ai jamais trouvé une seule étoile dont tous les rayons eussent un aspect absolument identique ; même dans les formes les plus régulières, on pouvait toujours constater une différence, en vérité parfois insignifiante.

e) Si l'on envisage isolément un rayon muni d'appendices, on est loin d'y constater toujours une symétrie parfaite. Celle-ci était si rare qu'on devrait ici parler plutôt d'une tendance à la symétrie. Les appendices étaient bien rarement tout à fait égaux et se correspondant exactement des deux côtés du rayon. Un appendice quelconque pouvait s'allonger énormément, devenir même plus long que les rayons, et cela, évidemment, au détriment des

(1) Déjà BEHRENS a, en ces termes, attiré l'attention sur le phénomène de la réduction des rayons : « Das Axenskelett, welches die erste Anlage eines Krystalles darstellt, ist nicht immer gleichmässig ausgebildet; an den Krystalliten des Brechweinsteins ist oftmals einer der drei Hauptstrahlen nur durch einen kleinen Sporn angedeutet, mitunter ist sogar nur *ein Strahl* zur Entwickelung gekommen ; an den Krystalliten des im regulären System krystallisierenden salpetersauren Bleioxyds sollten alle Hauptstrahlen gleich lang sein, statt dessen sieht man sehr häufig je zwei, derselben Axe angehörige, verkürzt und die Verkürzung kann so weit gehen, dass kaum noch eine Spur der zweiten Axe zu erkennen ist.... » (Die Krystalliten. Mikroskopische Studien über verzögerte Krystallbildung. Kiel, 1874; p. 112).

appendices du rayon voisin et même de ce dernier. Parfois une couple de tels appendices anormaux se correspondant des deux côtés du rayon, se trouvait associée à une autre couple d'appendices inclinés de 120° sur le rayon et fixés au même point, ceux-ci pouvant être considérés comme les appendices basaux de la première couple ; on avait alors, à l'extrémité du rayon, une vraie étoile secondaire.

Contours courbes (1).

Les contours courbes étaient presque généralement de règle, sinon sur tout le pourtour du cristal, du moins sur une partie de ce pourtour.

Les côtés des lamelles hexagonales simples, des lamelles hexagonales centrales des étoiles, des lamelles hexagonales incomplètes terminales des rayons et des appendices, pouvaient devenir plus ou moins concaves, d'où saillie relative des angles sortants.

D'un autre côté, les angles pouvaient s'arrondir plus ou moins, d'où convexité apparente des côtés dans le cas d'angle sortant.

Un de ces phénomènes et même leur combinaison pouvaient caractériser tout l'individu donné ou y être localisés de façon très variable. Assez fréquemment j'avais affaire à des lamelles souvent très compliquées, entièrement délimitées par des lignes courbes, sans trace de contour rectiligne. Voir, parmi les photographies de G. Nordenskjöld, les numéros 21, 24, 43, 54, 59 et surtout 61.

Il se peut que l'émoussement des angles soit simplement la conséquence d'une fonte ou d'une évaporation, dont les effets se font sentir tout d'abord aux saillies du cristal. Mais comme des courbures analogues caractérisent souvent des formes de givre fraîchement formé, comme, d'un autre côté, elles se retrouvent dans des cristaux d'autres substances, elles peuvent constituer ici un phénomène primaire.

Remarques.

Nous avons vu :

1° Qu'un hexagone incomplet terminal d'un rayon, et même d'un appendice, pouvait se développer en véritable individu lamellaire secondaire, rattaché seulement par un de ses angles à l'individu primaire et pouvant même porter des rayons ramifiés ;

2° Que l'extrémité d'un rayon dendritique pouvait former une véritable étoile secondaire ;

3° Qu'un des rayons pouvait se développer au point de faire considérer les autres comme constituant ses appendices ;

4° Qu'on trouvait des rayons isolés.

Donc, d'un côté on rencontrait des individus isolés, en tous points semblables à des

(1) Une courbure n'ayant rien de commun avec celles dont il s'agit ici, est celle du *plan* même de l'étoile. Le 6 octobre, entre 6^h et 7^h, tombèrent des étoiles sans champ central, fortement dendritiques, de diamètre atteignant jusqu'à 5.0mm, à côté d'autres plus petites, à rayons légèrement élargis, surtout vers l'extrémité, et dépourvues d'appendices. Or, parmi les plus grandes des premières, j'en remarquai quelques-unes légèrement concave-convexes. Malheureusement, j'ai négligé de noter à quelle face, supérieure ou inférieure par rapport à la chute, correspondait la concavité.

membres d'individus ; d'un autre côté, certaines portions, surtout distales, pouvaient se développer au point de simuler complètement de vrais individus (1).

STRUCTURE

I. — Fentes et trous.

Lorsqu'une étoile de neige trouve des conditions d'accroissement normal, elle tend à se compléter. Les appendices d'un même rayon s'élargissent jusqu'à se confondre et les rayons eux-mêmes tendent à se fusionner par réunion de leurs appendices. Ce phénomène se présentant à différents stades de son développement dans une même chute, voire sur un même spécimen, n'est généralement pas uniformément accusé dans les différents points d'un sextant (2), d'où la possibilité de lacunes à contour fermé, trous ou fentes.

Les contours des portions positives (3) d'un sextant présentant des formes caractéristiques, conformes aux lois cristallographiques et plus ou moins symétriquement disposées, il en est évidemment de même pour ses portions négatives, et le remplissage s'opérant de façon plus ou moins symétrique, il en résulte que les lacunes fermées jouissent de ces mêmes caractères. Les six sextants étant plus ou moins semblables (abstraction faite des phénomènes d'hémiédrie), les trous et les fentes s'y répéteront d'une façon plus ou moins analogue quant à leur forme, leur nombre, leur disposition.

Le fait que l'importance de la portion négative d'une lamelle augmente généralement vers la périphérie, conduirait à penser qu'il doit en être toujours de même pour les espaces négatifs fermés ; mais, d'un autre côté, les rayons et appendices étant souvent surtout développés vers leurs extrémités distales, l'étoile tend à s'y compléter plus rapidement. Il faut donc tenir compte de ces deux facteurs.

La forme et la disposition des espaces fermés doivent à priori être variables. Pourtant cette variabilité me semble assez limitée, car non seulement les mêmes figures se répétaient souvent au cours de mes observations, mais j'en ai retrouvé, parmi les microphotographies des auteurs, de tout à fait analogues, voire même identiques.

La ressemblance essentielle de ces lacunes fermées avec les *cavités internes* dont nous parlerons plus loin, m'a amené à les étudier de plus près. J'en ai pris un nombre de dessins plus ou moins schématiques (fig. 14). Comme elles ne sont, en somme, que les vestiges d'intervalles qui séparaient les rayons et les appendices, et comme leur forme dépend donc en tout premier lieu des contours de ces rayons et appendices, il conviendrait de

---

(1) Behrens a signalé des phénomènes plus ou moins analogues pour d'autres substances, comme l'indique la citation suivante : « Allgemeine Verkümmerung von Nebenstrahlen führt in letzter Consequenz zu blossen Axenkreuzen (Natronsalpeter), in weniger extremen Fällen zu dendritischen Krystallanlagen... und wenn diese ausgefüllt werden, zu kreuzförmigen Zwillingskrystallen (pikrins. Ammoniak, Alizarin, Indigoblau), deren Zwillingswinkel den Winkeln der Wachsthumsaxen von vollkommenen Krystallen der betreffenden Substanz gleich sind. Mann kann sagen, dass bei diesem Vorgang jeder Hauptstrahl (jede Halbaxe) des Krystalliten zur Grundlage für den Aufbau eines vollständigen Krystalls wird.... *Jeder Strahl eines Krystalliten, einerlei welcher Ordnung, kann bei genügender Verlängerung zu einem Hauptstrahl und damit zur Grundlage eines Krystalls werden, von dem er eine Wachtsthumaxe darstellt.* » (Die Krystalliten, p. 113.)

(2) Voir la remarque au bas de la page 5.

(3) Pour la commodité de la description, une lamelle squelettaire est considérée ici comme un hexagone de même diamètre, étant la somme de l'espace occupé par le corps du spécimen (portion positive) et des espaces vides (portions négatives), lesquels remplis le spécimen deviendrait une lamelle hexagonale complète.

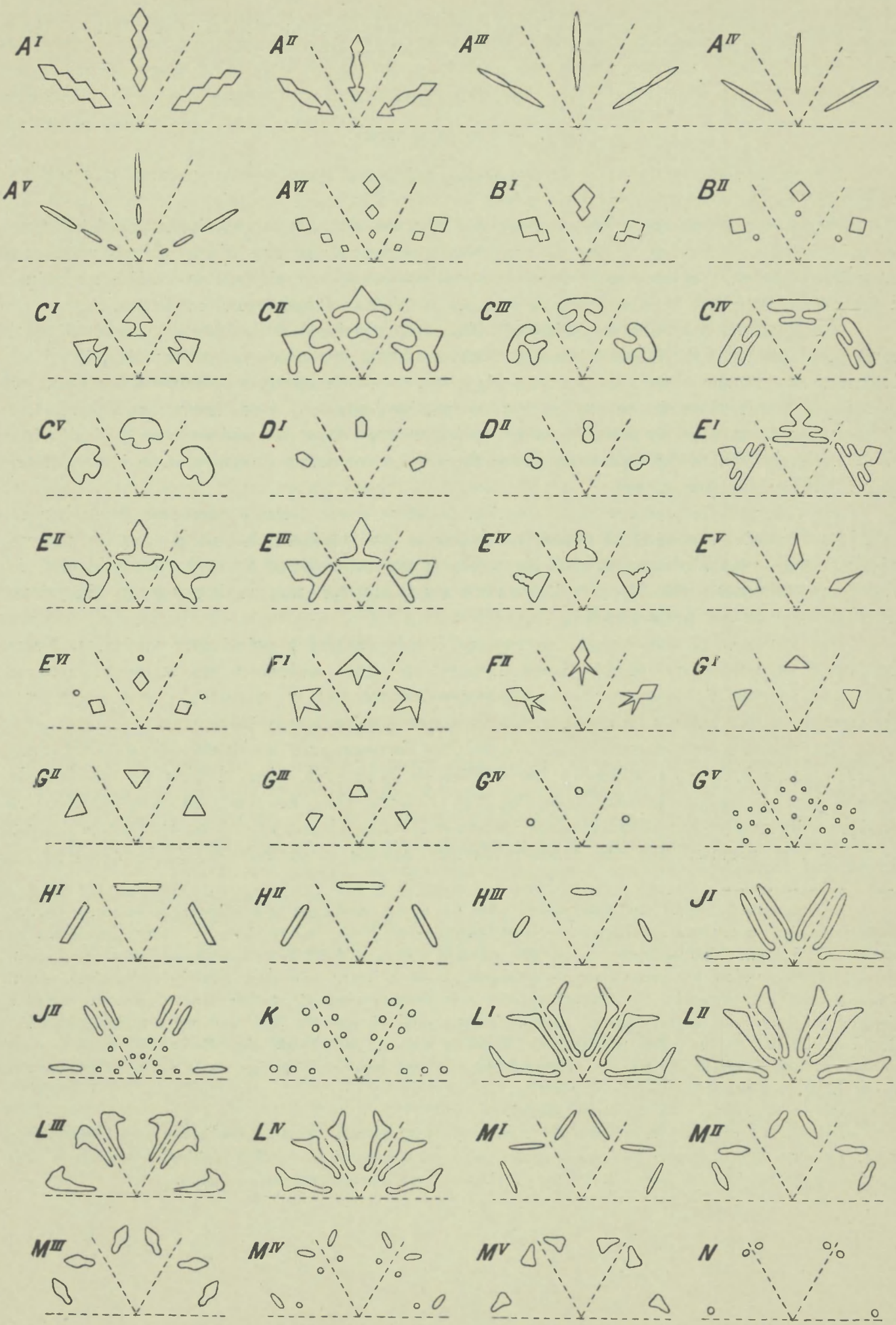

A I
A II
A III
A IV
A V
A VI
B I
B II
C I
C II
C III
C IV
C V
D I
D II
E I
E II
E III
E IV
E V
E VI
F I
F II
G I
G II
G III
G IV
G V
H I
H II
H III
J I
J II
K
L I
L II
L III
L IV
M I
M II
M III
M IV
M V
N

Fig. 14

reproduire également ceux-ci. Malheureusement, il m'était souvent difficile de dessiner plus ou moins exactement des formes trop compliquées ; c'est pourquoi je ne reproduis pas ici les trous et les fentes *in situ*, mais *isolés*, dans trois sextants voisins que je délimite par des lignes pointillées.

Ces espaces fermés peuvent être classés comme suit :

1. Espaces fermés représentant des vestiges d'intervalles séparant les rayons voisins, donc disposés suivant la bissectrice du sextant (1). Leurs contours, très variables, présentaient généralement une symétrie par rapport à cette ligne.

a) Fentes allongées dans le sens de la bissectrice du sextant ou fractionnées en trous disposés suivant cette ligne (fig. 14, schémas A^{I}—A^{VI}) ;

b) Fentes allongées perpendiculairement par rapport à la bissectrice du sextant (fig. 14, schémas H^{I}—H^{III}) ;

c) Formes combinées et formes de transition, ces dernières observées souvent dans une même chute, voire sur un même spécimen (fig. 14, schémas B^{I}—G^{V}).

2. Espaces fermés représentant les vestiges d'intervalles compris entre les appendices et leur support (rayon, ou appendice d'un ordre moins élevé), donc disposés plus ou moins symétriquement par rapport à celui-ci (fig. 14, schémas I^{I}—N).

a) Fentes parallèles au support préalable ;

b) Trous plus ou moins arrondis et alignés parallèlement au support ;

c) Fentes formant un angle généralement de 60° avec le support correspondant ;

d) Formes combinées et formes de transition, ces dernières observées souvent dans une même chute, voire sur un même spécimen.

3. Transitions entre les groupes 1 et 2.

Les contours des portions positives d'une étoile étant souvent courbes, il en était évidemment de même pour les portions négatives, donc pour les espaces fermés (2).

II. — Cavités internes (3).

(*Kapillare Hohlräume* de G. HELLMANN ; *cavités organoïdes* de G. NORDENSKJÖLD).

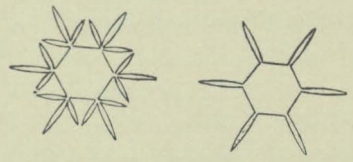
Ces cavités sont bien caractéristiques de la neige lamellaire, sans toutefois être constantes ;

---

(1) Cette expression abrégée signifie : « la bissectrice de l'angle formé par deux axes secondaires voisins ».

(2) On pourra voir beaucoup de ces formations *in situ* dans des photographies de G. NORDENSKJÖLD (n° 50, où elles sont comparables aux schémas C^{II} et L^{I} de notre figure 14), de G. HELLMANN (Taf. III, N° 3, un spécimen au centre, l'autre à droite et en bas, où elles sont comparables au schéma G^{I} de notre figure 14 ; N° 4, un spécimen inférieur, où elles sont comparables au schéma C^{V} de notre figure 14), de W. A. BENTLEY, publiées dans la *Monthly Weather Review*, May, 1901 (N^{os} 7, 8, 11, 12, 14, 24, où elles sont presque identiques à certaines de notre figure 14.)

Deux fois j'ai observé des lamelles étoilées avec un trou *central* hexagonal, comme le montrent les deux schémas ci-contre ; mais je me suis convaincu que c'était là un phénomène accidentel dû à la disparition, par fonte ou évaporation, de la partie centrale, très mince relativement aux portions périphériques ; car non seulement j'ai observé simultanément d'autres spécimens de cette même variété conservant leur portion centrale, mais aussi je les voyais se perforer sous mes yeux. Le même phénomène a été observé par ROHRER (*Wien. Akad. Ber.*, 1859, 35. Chapitre : *Eissterne*).



(3) D'après HELLMANN, ces cavités ont déjà été signalées par ROSSETTI (1681), sans pourtant être justement interprêtées. Que ces formations soient de véritables cavités, on peut s'en convaincre déjà d'après leur aspect.

j'ai, en effet, eu l'occasion d'observer des spécimens, assez rares, qui en étaient totalement dépourvus et qu'on retrouve d'ailleurs parmi les microphotographies des auteurs.

Les cavités internes se rencontrent aussi dans des formes d'eau cristallisée autres que la neige : elles sont assez communes dans la glace et j'en ai rencontré, quoique rarement, dans le *givre,* où elles ressemblaient, par leur aspect et leur arrangement symétrique, à celles de la neige ; elles caractérisaient aussi des lamelles de poudrin, formé en toute probabilité dans les couches les plus basses de l'atmosphère.

On sait que d'autres substances cristallines peuvent aussi montrer des cavités internes remplies de magma ou de gaz (1) et présentant parfois un aspect et un arrangement déterminés, conformes aux lois cristallographiques de la substance (2).

La forme et la disposition de ces cavités dans la neige lamellaire sont variables ; pourtant cette variabilité me semble assez limitée ; car non seulement des cas essentiellement ou identiquement les mêmes se sont répétés bien souvent au cours de mes observations, mais j'ai retrouvé, parmi les microphotographies des auteurs, des figures tout à fait analogues aux miennes, voire même identiques.

Abstraction faite des cas d'hémiédrie ou de symétrie réduite, elles se répétaient généralement, avec les mêmes dimensions, forme et arrangement, dans chacun des six sextants (3) de la lamelle. Pourtant, de même que les fentes et les trous dont nous avons parlé plus haut, elles pouvaient ne pas être identiquement les mêmes dans les six sextants des formes holoédriques : dans l'un d'eux, par exemple, elles pouvaient être plus ou moins effacées ou, au contraire, anormalement développées.

On peut dire d'une façon générale que les cavités internes se développent surtout vers les bords d'une lamelle, et, dans le cas de plusieurs rangées concentriques, elles s'accentuent ordinairement, mais pas toujours, dans le même sens.

Comme pour les intervalles fermés, leurs contours, projetés sur le plan basal, pouvaient être constitués par des droites, orientées conformément aux lois cristallographiques, ou bien par des courbes. Seulement, le dernier cas était ici habituel, le premier rare.

Ainsi que les fentes et les trous, les cavités internes peuvent être classées en deux groupes :

1) Cavités disposées suivant la bissectrice du sextant et à contours symétriques par rapport à celle-ci ;

D'ailleurs, G. Nordenskjöld semble être arrivé à la démonstration expérimentale de leur existence : « En observant sous le microscope et en photographiant ces cristaux dans un liquide bleu (huile d'aniline colorée de bleu de méthylène), j'ai pu constater qu'on avait ici affaire à de véritables cavités remplies de gaz lentement absorbable par l'huile colorée (oxygène ?). Le liquide bleu pénétrait dans les canaux ouverts en absorbant peu à peu le gaz qu'ils contenaient, jusqu'à ce qu'enfin tout le vide se trouvât rempli de liquide colorant. » (Note préliminaire, etc., in *Bull. de la Soc. franç. de Minér.*, t. 16.)

(1) Voir, par exemple, H. Behrens, Die Krystalliten (pp. 105-107) ; O. Lehmann, Molekularphysik (Skelettbildung, pp. 332, 342 ; Schichtkrystalle, p. 405, expérience de Klocke).

(2) Voir, par exemple, Bruno Doss (Künstliche Darstellung von Anatas und Rutil mittelst der Phosphorsalzperle. *N. Jahrb. f. Miner.*, 1894, Taf. II, Fig. 9, 10, 11, 12, 18, 26, 32, 39 (Rutil) ; 52 (Anatas) ; explications dans le texte, Glas- und Gaseinschlüsse : Rutil, p. 167 ; Anatas, p. 190).

(3) Voir la remarque au bas de la page 5.

2) Cavités disposées symétriquement des deux côtés des axes secondaires et à contours symétriques par rapport à ces axes.

Premier groupe.

1. Cavités en triangle isocèle à sommet proximal, de hauteur et de largeur relatives variables, intactes ou fractionnées perpendiculairement à la bissectrice du sextant en une rangée de deux ou de plusieurs cavités (fig. 15, A^{I}—B^{II}).

2. Canalicules allongés dans le sens perpendiculaire à la bissectrice du sextant, avec la limite distale ordinairement un peu plus large que la proximale (fig. 15, E^{I}—E^{XIII}).

3. Canalicules allongés dans le sens de la bissectrice du sextant, s'élargissant ordinairement vers l'extrémité distale, intacts ou fractionnés en une rangée de plusieurs vésicules (fig. 15, *H*, *J*).

4. Vésicules très réduites, rarement hexagonales, ordinairement rondes, ovalaires ou vaguement triangulaires (fig. 15, F^{I}—F^{IV}).

5. Différentes combinaisons, souvent bien compliquées, des formes pécédentes et de formes de transition, ces dernières observées parfois lors d'une même chute, voire sur un même spécimen.

Second groupe.

1. Canalicules allongés parallèlement à leur ligne de symétrie, de longueur variable, parfois fortement élargis à l'extrémité distale ; souvent disposés à plusieurs sur une même droite ; pouvant pousser des rameaux latéraux inclinés de 60° (le plus souvent) ou de 120° (plus rarement). Extrémité proximale le plus souvent effilée et fréquemment terminée en très petite ampoule (fig. 15, M^{I}—M^{IX}).

2. Vésicules très réduites, alignées parallèlement à leur ligne de symétrie (fig. 15, M^{IX}, *O*).

3. Canaux, ampoules, séries de vésicules, allongés dans le sens de lignes faisant un angle de 60° ou 120° sur leur ligne de symétrie ; ce dernier angle se rencontrait principalement tout près de la périphérie (c'est-à-dire des angles) des lamelles hexagonales simples, des lamelles constituant le champ central des étoiles et des rayons à terminaison distale en hexagone incomplet. (Fig. 15, schémas P^{I}—P^{X}).

4. Combinaisons et formes de transition, ces dernières observées parfois dans une même chute, voire sur un même spécimen.

On trouvait aussi des *transitions entre les deux groupes.*

La particularité du *second groupe* était qu'une couple de cavités se correspondant des deux côtés de leur ligne de symétrie, pouvaient prendre communication en un point de cette ligne, laquelle alors subissait, en ce point et dans le plan des cavités, une *solution de continuité* (exemples : fig. 15, schémas P^{VI}, P^{VII}).

Les cavités internes étant un phénomène si commun dans la neige lamellaire qu'elles en constituent un des caractères saillants, il serait très intéressant de se rendre compte du mécanisme de leur formation. N'ayant jamais eu l'occasion de suivre le développement d'un cristal d'eau (1), j'ai dû me contenter d'une méthode comparative, en cherchant des analogies et des formes de transition.

---

(1) C'est pourtant tout à fait possible dans le *givre*. Ainsi, parmi le givre déposé à la face intérieure de la fenêtre de la chambre tout à fait close du compas, j'ai observé une fois de vraies étoiles de neige, avec belles cavités internes visibles à l'œil nu (voir fig. 32). Pour profiter de telles occasions, il faudrait installer commodément le microscope,

Un système de cavités internes d'une forme lamellaire se trouvant sensiblement dans un même plan parallèle au plan basal, l'imagination peut décomposer un tel cristal en une *couche lamellaire interne,* occupant le niveau des cavités et d'épaisseur égale à l'épaisseur de celles-ci,

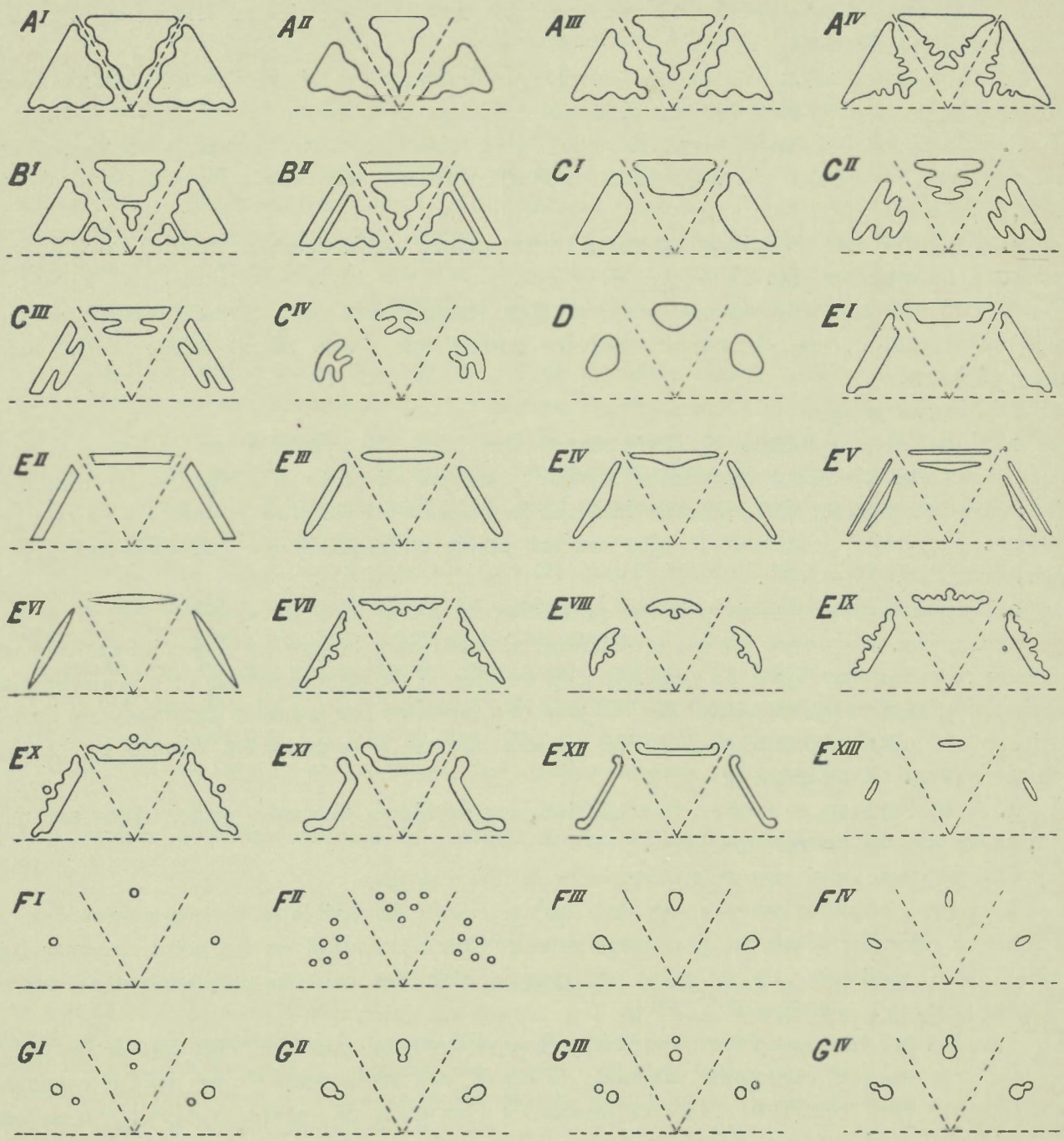


FIG. 15

attendre l'apparition de la précipitation et en suivre le développement, chose à laquelle il ne m'était pas même possible de penser. La méthode d'observation directe du développement, qui seule peut donner des résultats certains, ne présentant point ici de difficultés techniques insurmontables, est à recommander vivement à tout observateur du givre.

et deux *couches lamellaires externes*, couvrant chacune une de ses faces. Les choses se passent comme si le cristal était constitué par une lamelle incomplètement développée, montrant des trous et des fentes d'aspect et de disposition conformes aux lois cristallographiques, lamelle recouverte sur chacune de ses faces par une lamelle complète.

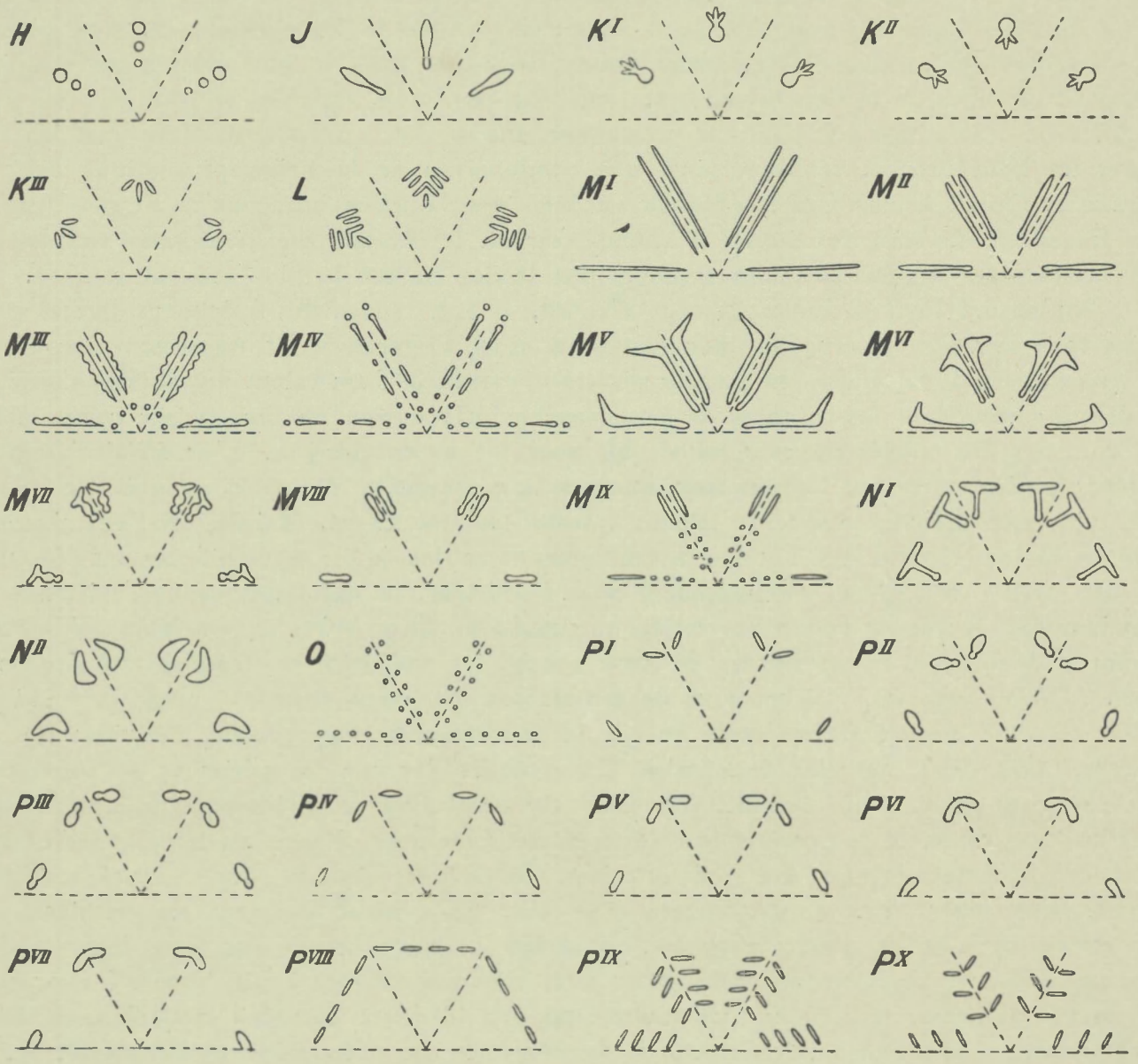


Fig. 15

Il est facile de se convaincre de la ressemblance essentielle, parfois même détaillée, qui existe entre la forme et la disposition des cavités internes et celles des fentes et des trous constatées dans les étoiles tendant à se compléter. Il suffit pour cela de comparer les schémas de la fig. 15 à ceux de la fig. 14. On dirait que la couche interne a essentiellement le même aspect qu'une étoile qui ne se serait complétée qu'imparfaitement, laissant des espaces fermés.

Pour développer cette analogie et lui donner des bases quelque peu positives, il nous faudra répondre à une série de questions de plus en plus spéciales.

Tout d'abord, la division du cristal en trois lamelles étant arbitraire, il faut se demander s'il est de règle de trouver, parmi la neige lamellaire, des spécimens se montrant comme la superposition de lamelles bien distinctes, différentes dans leurs contours, donc inégalement développées. L'observation montre que c'est là un phénomène très commun. Bien souvent on trouve une étoile, avec ou sans champ central, centrée d'une et parfois même de deux lamelles, orientées de la même façon que la lamelle-support. Les dimensions relatives de ces lamelles centrales étaient variables, mais le plus souvent de beaucoup inférieures à celles de la lamelle-support. Leur épaisseur, très variable, pouvait être des plus minimes ou s'accentuer au point de provoquer une saillie, qui pouvait dans certains cas figurer un beau prisme, réalisant ainsi une combinaison de la neige prismatique avec la lamellaire. Quant à leur forme, c'étaient ou bien des lamelles hexagonales simples (cas le plus fréquent), ou bien des étoiles à champ central, à rayons peu développés simples ou avec échancrures symétriques ; les contours des étoiles étaient le plus souvent courbes.

En second lieu, il faut voir, tout d'abord, si l'on trouve des spécimens formés d'au moins trois lamelles superposées bien distinctes, dont l'interne serait totalement recouverte par les externes, de façon que ses espaces négatifs (1) éventuels formeraient des cavités s'ouvrant au dehors ; ensuite, si les contours de cette couche interne sont en tous points comparables aux contours des cavités internes telles que nous les avons décrites. L'observation semble ici répondre également par l'affirmative, quoique la constatation directe et indubitable de ces faits soit assez difficile lorsque la lamelle interne est très mince. Maintes fois, examinant à la loupe le bord latéral des lamelles favorablement tombées, je l'ai vu manifestement dédoublé par une cavité très mince communiquant avec l'extérieur, ce qui impliquerait l'existence de deux lamelles réunies par une mince couche intermédiaire. Et en effet, en observant ces mêmes spécimens de face, j'ai vu les limites de cette couche intermédiaire se dessiner très distinctement. A deux reprises, j'ai retrouvé de semblables spécimens parmi la neige prismatique et j'ai constaté des transitions entre eux et la combinaison d'un prisme, d'environ 1^{mm} de hauteur, avec deux lamelles terminales. Le nombre des cas de spécimens se présentant par leur bord étant trop restreint, j'ai tenté de poursuivre ce phénomène intéressant des lamelles, apparemment composées, sur des spécimens observés de face, en décelant les limites d'une couche intermédiaire. La difficulté était de ne pas prendre pour celles-ci les *lignes d'accroissement latéral* dont nous parlerons plus loin. En général pourtant les premières me paraissaient plus belles, mieux marquées, conserver la même netteté sur toute leur étendue et ne pas présenter d'effacement local ; en un mot, elles avaient tout à fait l'aspect des contours des cavités internes. Il n'en est pas moins vrai que le doute persistait fréquemment, d'où l'impossibilité d'avoir une notion exacte de la fréquence du phénomène et de n'avoir qu'un nombre restreint des dessins s'y rapportant (fig. 16) (2).

---

(1) Voir remarque (3) au bas de la page 17.

(2) Lors de mes observations, je ne connaissais pas encore la courte, mais très riche *Note préliminaire sur une étude des cristaux de neige,* de G. Nordenskjöld *(Bull. de la Soc. franç. de Minér.*, t. 16, pp. 59-74), où, entre autres constatations importantes, l'auteur semble avoir remarqué des phénomènes analogues : « Le cristal fig. 16 montrait au microscope une belle étoile en son centre composée de deux ou de plusieurs lamelles superposées, ayant la même orientation. Les divers hexagones indiquent les limites extérieures de ces lames. *Deux d'entre elles étaient réunies par un col limité de la manière indiquée par l'étoile centrale.* Le cristal formait en dehors de cette étoile centrale deux lames séparées par une couche d'air. Le cristal fig. 14 est construit d'une manière analogue, quoique ici l'étoile

La diversité déjà considérable de quelques contours reproduits semble montrer que la variabilité de ces lamelles internes est presque aussi grande que pour les lamelles isolées. La plupart de leurs formes ont été d'ailleurs retrouvées en des spécimens isolés ; cependant

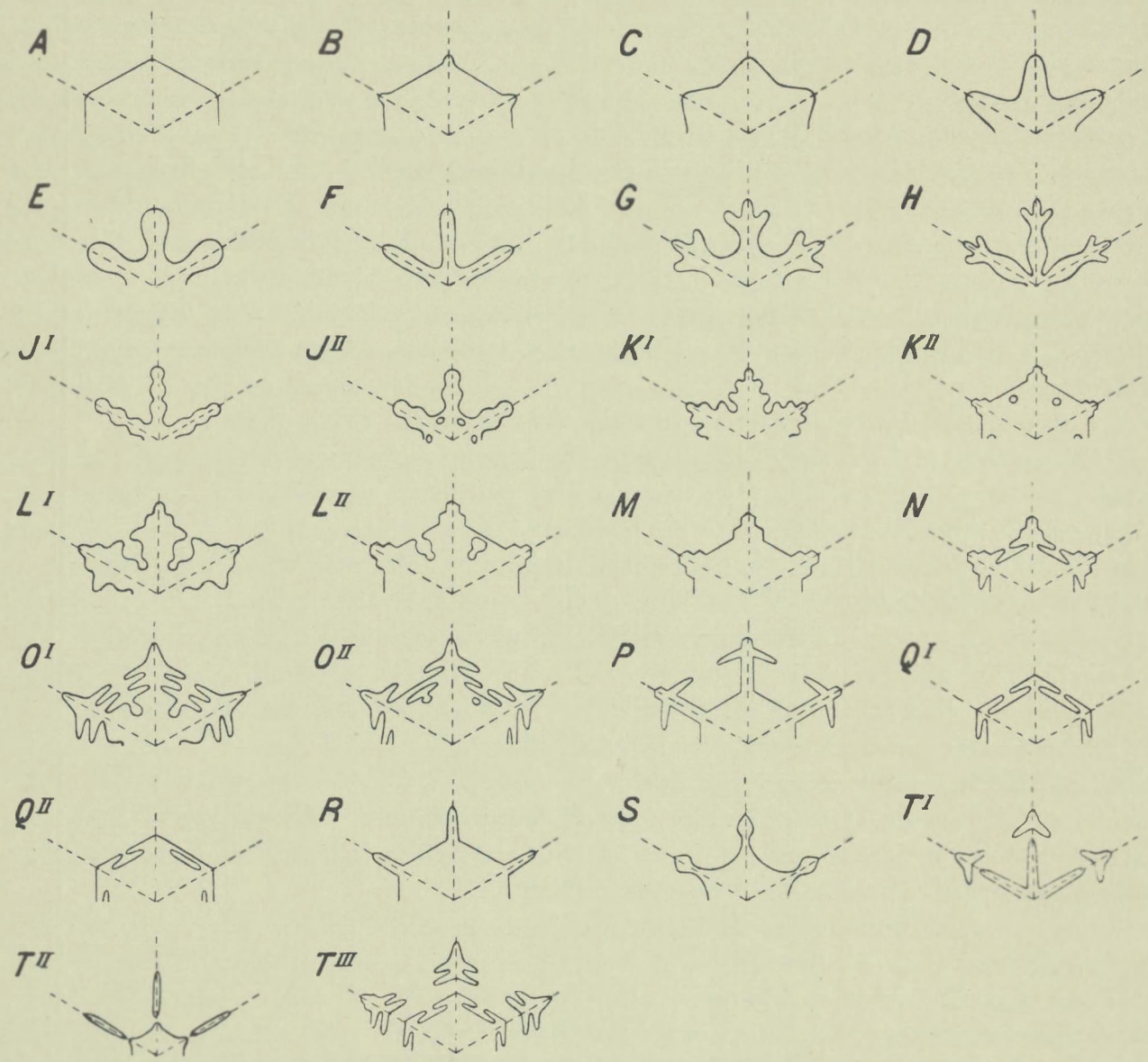


FIG. 16

elles présentaient une tendance plus marquée à la courbure et l'angle des appendices était le plus souvent de 120° au lieu de 60°.

Si l'on envisage les contours des cavités ouvertes, délimitées dans chaque sextant par l'espace entre les deux rayons d'un côté et les lamelles externes de l'autre, on remarque qu'ils ressemblent essentiellement, voire même jusque dans les détails, à ceux de beaucoup de cavités

---

limitant la surface de contact entre les deux lames est plus compliquée..... La fig. 16 montre le type le plus commun des flocons de neige cristallisés en tables hexagonales. Elles forment, comme je viens de le dire, *deux tables hexagonales réunies par une couche de glace étoilée* ».

closes de la fig. 15 (comparer, par exemple, les schémas *B, C, D, J*^{I}, *K*^{I}, *O*^{I}, *N, M, L*^{I} de la fig. 16 respectivement aux schémas *E*^{II} ou *E*^{III}, *E*^{IV}, *D, A*^{I}, *E*^{VII} ou *A*^{IV}, *C*^{II}, *C*^{III}, *E*^{I}, *G*^{II} de la fig. 15).

Un troisième point, avant de conclure à l'ouverture primitive des cavités internes et à leur fermeture ultérieure d'après le même principe que pour les espaces négatifs des lamelles isolées à fentes et à trous, est de voir si l'on rencontre des lamelles internes bien distinctes à espaces fermés et s'il existe des stades de transition entre celles-ci et les lamelles identiques encore dépourvues d'espaces fermés. Malgré le nombre restreint de lamelles internes indubitablement constatées, j'ai eu la chance d'observer ces transitions dans la même chute (comparer les schémas *J*^{I} et *J*^{II}, *K*^{I} et *K*^{II}, *L*^{I} et *L*^{II}, *O*^{I} et *O*^{II}, *Q*^{I} et *Q*^{II} de la fig. 16). Mieux encore, j'ai vu et dessiné trois cas (schémas *L*^{II}, *O*^{II}, *Q*^{II}) où, tout comme dans les spécimens isolés à fentes et à trous, les sextants *d'une même* lamelle interne étaient inégalement remplis, les uns ne présentant encore que des cavités ouvertes, les autres montrant déjà des cavités tout à fait fermées. Les dessins internes des fig. 16 et 38 de G. Nordenskjöld semblent montrer le même phénomène (1).

Les considérations précédentes peuvent être résumées comme suit :

Généralement, les lamelles de neige ne sont pas uniformément développées dans le sens vertical : les sections parallèles à la base ne sont pas toutes semblables ; autrement dit, les couches constitutives horizontales ne sont pas toutes également développées. Il arrive notamment qu'une de ces couches est développée faiblement quant au diamètre ou défectueusement quant à la forme, se différenciant par là des autres. Elle se présente ainsi en vrai individu lamellaire, comparable en tous points à des cristaux lamellaires proprement dits tombant isolément. Comme ceux-ci, elle peut affecter toutes les formes, depuis la lamelle hexagonale complète jusqu'à la lamelle plus ou moins déchiquetée, squelettaire ; je ne l'ai pourtant jamais constatée en étoile sans champ central. Comme de vrais cristaux lamellaires, les variétés plus ou moins squelettaires de cette couche peuvent se compléter à des degrés différents, laissant des trous et des fentes de forme et de disposition conformes aux lois cristallographiques. Dans le cas où cette couche n'est pas externe, mais interne, ces fentes et ces trous, chevauchés par des couches parallèles contingentes, deviennent des *cavités internes* du cristal.

Les cas bien communs où la limite distale de la cavité interne court parallèlement au bord correspondant du spécimen et tout près de celui-ci, semblent montrer que, lorsque la couche en question, devenue interne, c'est-à-dire recouverte par deux couches voisines plus développées, trouve des conditions pour se compléter, la région de prédilection de ce phénomène est l'espace tout à fait périphérique compris entre les bords des lamelles recouvrantes ; toute la portion négative de la couche interne étant ainsi fermée, il se forme une cavité à limite distale parallèle et tout proche du bord du spécimen, et le développement de la couche interne est arrêté.

Les faits observés ne préjugent évidemment rien au sujet de la question de savoir si un cristal à une couche interne distincte doit être considéré comme cristal unique, les lamelles constitutives ne représentant alors que des couches successives d'accroissement vertical, ou bien

(1) Dans l'ouvrage cité du Dr G. Nordenskjöld se trouve une observation qui se rapproche beaucoup des idées exposées dans ce chapitre : « La fig. 17 présente un type assez commun et différent de la (fig. 16) en ce que la couche centrale est plus développée. *Elle occupe tout l'intervalle entre les deux cristaux à l'exception des vésicules fermées* ».

comme agrégat régulier de cristaux lamellaires superposés. Ils ne disent rien non plus de la succession réelle des couches lamellaires distinctes, c'est-à-dire si la couche interne défectueuse se forme d'abord et est recouverte ultérieurement par d'autres plus développées ; ou bien si elle se développe sur une lamelle préexistante et est recouverte ensuite par une seconde ; ou, enfin, si ces deux cas peuvent se présenter. Certaines de mes observations me font supposer que le second processus est parfois réalisé. Ainsi il arrive assez souvent que deux cavités, symétriques par exemple par rapport à l'axe d'un rayon, prennent communication sur un point de cet axe ; comme je n'ai jamais observé de cristal isolé présentant des solutions de continuité sur les diagonales centrales d'une lamelle ou sur les axes d'un rayon ou d'un appendice, je crois peu probable ici l'existence préalable, comme lamelle indépendante, de la couche interne. D'autres observations, où je n'étais malheureusement pas assez certain d'avoir affaire à une couche interne, seraient encore plus concluantes. En effet, si les dessins T^{I}, T^{II}, T^{III} de la figure 16 représentaient réellement les limites d'une couche interne, celle-ci se montrerait désagrégée symétriquement en portions nettement séparées l'une de l'autre, ce qui écarterait la probabilité d'une existence indépendante à l'origine.

III. — **Lignes d'épaississement** (1).

Ce sont de légères saillies linéaires intéressant les faces basales des cristaux lamellaires.

Ces lignes, en général très communes, semblent, dans les étoiles sans champ central, un phénomène constant. Bien souvent aussi je les ai observées dans le givre lamellaire et on les a signalées dans d'autres substances de cristallisation analogue (2).

1. *Lignes d'épaississement axiales,* occupant les trois axes secondaires. Elles sont généralement longées des deux côtés par des cavités internes canaliculaires ou en série de vésicules. Considérés isolément, ces bourrelets constituent donc une étoile à rayons très minces, parfois épaissis près du centre (3), ou même partant des angles d'un épaississement hexagonal central, ou, au contraire, ne commençant qu'à une certaine distance du centre.

2. *Lignes d'épaississement latérales.*

a) Épaississements axiaux des appendices des rayons. Ils peuvent eux aussi être longés par des canaux ou séries de vésicules.

Les appendices, en s'élargissant, peuvent se fusionner des deux côtés de leur support, au point que les contours du cristal ne trahissent en rien leur existence. Mais leurs nervures axiales persistent et servent ainsi souvent de clef pour l'histoire du cristal donné (schémas A^{I}—A^{VIII} de la figure 17, où la striation représente des lignes d'épaississement). Ce phénomène est très bien visible sur les photographies des auteurs, par exemple sur la fig. 11 (étoile gauche) de G. Hellmann et surtout dans les figures de A. A. Sigson (4).

Les étoiles à rayons élargis ayant très communément présenté ce phénomène, il en

---

(1) *Rippen* de G. Hellmann ; *nervures* de G. Nordenskjöld.

(2) Voir, par exemple, Bruno Doss : Künstliche Darstellung von Anatas und Rutil mittelst der Phosphorsalzperle. *N. Jahrb. f. Miner.* 1894. Krystallskelette von Anatas : « Axialstrang..... welcher sich immer deutlich von seiner Nachbarschaft abhebt..... und dadurch hervorgerufen, dass längs seines Verlaufes die Dicke des Skelettes eine grössere ist als seitlich davon ».

(3) Comparer à l'observation analogue de G. Hellmann, l. c., p. 29 et Taf. II, nº 2, grande étoile.

(4) *Meteor. Zeitschrift,* 1894. Taf. III.

résulte qu'elles dérivaient ordinairement d'étoiles à rayons dendritiques. Fait curieux, ces épaississements bilatéraux faisaient assez souvent avec leur ligne de symétrie un angle de 120° au lieu de 60°, angle normal des appendices (figure 17, schémas A^{II}, A^{IV}, A^{VI}) ; or je n'ai jamais vu que cet angle fût caractéristique des étoiles isolées à appendices non fusionnés ; nous avons signalé cette même particularité à propos de la couche interne.

Les appendices courts en larges pétales *(stella pennata* de G. Hellmann) trahissaient souvent par la présence de nervures leur origine de la fusion des appendices secondaires (figure 17, schémas B^{I}, B^{II}).

Les larges hexagones incomplets terminaux des rayons ou des appendices présentaient constamment ces mêmes nervures, de même signification (figure 17, schémas C^{I}—D^{V}). Les types D^{I}—D^{V} de la figure 17 étaient les plus communs (comparer aux Taf. I et IV, n° 6 de G. Hellmann, figure 58 de G. Nordenskjöld, figure 10 de Bentley) ; ils présentent, outre la nervure médiane, une ou deux couples de nervures latérales ; toutes ces nervures, convergeant généralement vers un même point proximal, pouvaient former entre elles l'angle normal de 60° (schémas D^{I}, D^{II}), mais plus souvent, la couple latérale distale avec la nervure médiane, ou bien la couple latérale proximale avec la couple distale, semblaient former un angle de 30° environ (les mesures précises n'ont pas été prises ; schémas D^{III}, D^{IV}, D^{V}).

b) Épaississements concentriques des lamelles hexagonales et des hexagones incomplets terminaux des rayons et appendices (exemples : schémas D^{II}, E de la figure 17 ; la figure 47 des photographies de G. Nordenskjöld en donne un très bel exemple). Ils étaient bien fréquents, et l'on pourrait les considérer comme indices de la fusion d'appendices inclinés de 120° sur leur support, fusion qui aurait porté non seulement sur les appendices d'un même support, mais aussi sur les appendices opposés de deux supports voisins. Mais, je le répète, je n'ai jamais vu que l'angle de 120° fût caractéristique des étoiles isolées à appendices non fusionnés.

Il est à remarquer que dans les lamelles à symétrie réduite les nervures, tout comme les cavités internes, montraient aussi une disposition anormale, souvent analogue à celle mentionnée à propos des hexagones incomplets terminaux des rayons et appendices (schémas F^{I}, F^{II} de la figure 17).

VI. — Lignes d'accroissement latéral.

Fait très caractéristique, quoique inconstant, de la neige lamellaire, l'élargissement des lamelles hexagonales et des rayons se fait de façon que les limites des zones successives d'accroissement latéral restent marquées par un système de lignes concentriques, à l'instar de ce qui se passe dans un tronc d'arbre. Exemples : figure 18, schémas *A*—*G ;* ce phénomène est richement représenté sur les microphotographies des auteurs, surtout sur deux étoiles de G. Nordenskjöld faites, que je sache, au grossissement le plus fort que l'on ait réalisé (140/$_1$ à peu près) (1).

Le même phénomène s'observe dans le givre. Il se présente aussi dans d'autres substances à cristallisation analogue (2).

---

(1) *Geologiska För. i Stokh. Förh.* Band 20. Tvenne fotografier of snökristaller. Taf. 7 et 8.

(2) Voir, par exemple, H. Vogelsang, Krystalliten. Bonn, 1875. Taf. VII, IX, X, XI ; Otto Lehmann, Molekülarphysik, fig. 150, 155, etc. ; W. Florence, Darstellung mikroskopischer Krystalle in Lothrohrperlen. *N. Jahrb. f. Miner.* 1898. Chap. Zinkonerde. Taf. IX, N° 23, figures très compliquées, très ressemblantes à celles de la neige.

Ces lignes peuvent être très peu marquées, d'où la possibilité de leur effacement complet. Une ligne d'accroissement correspondant à un moment de l'histoire du cristal, peut ne pas être également nette dans tous les points ; des effacements locaux, allant jusqu'à la solution de continuité, se présentent souvent, leur distribution pouvant être régulière (fig. 18, schémas B^I, B^{II}) ou irrégulière (schéma C).

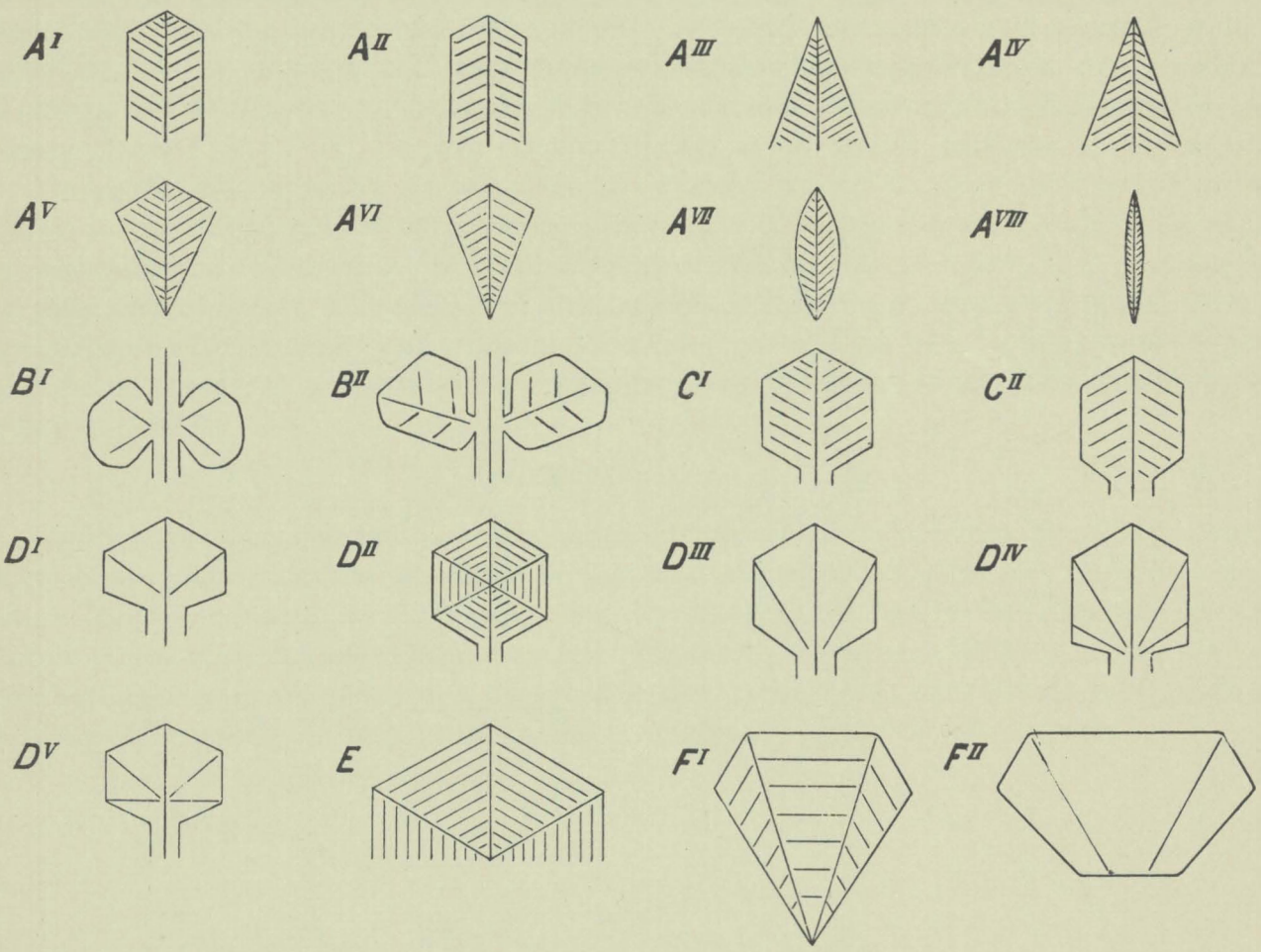


Fig. 17

La forme extérieure du cristal étant ainsi notée à différents moments de son élargissement, ces lignes, mieux encore que les lignes d'épaississement, que les solutions de continuité ou les cavités internes, permettent de lire, sur lui-même, l'histoire d'un cristal donné. Ainsi elles font bien souvent reconnaître le noyau primitif du cristal et les changements successifs de celui-ci.

Le noyau, pour autant que l'on puisse le déchiffrer, présente en général la forme typique des cristaux lamellaires observés, c'est-à-dire lamelle hexagonale complète ou plus ou moins squelettaire. Les épaississements prismatiques centraux qu'on trouve assez souvent, permettent de présumer un noyau prismatique, quoique un tel épaississement central puisse aussi bien être le fait d'un phénomène secondaire. Une forme spéciale est représentée par le noyau à contour circulaire ; il est très petit (parfois visible seulement au fort grossissement), le plus

souvent bombé ; il s'observe assez fréquemment, paraît être constant dans les étoiles sans champ central et semble représenter le stade le plus jeune des cristaux lamellaires (1).

Ces lignes montrent tantôt que le cristal s'est accru plus ou moins uniformément, tendant à conserver sa forme primitive (exemple : fig. 18, schéma *C*), tantôt qu'il a successivement acquis de nouvelles particularités de forme (schémas *A*, B^I, B^{II}), tantôt que le noyau, d'abord irrégulier, s'est régularisé dans la suite (schéma *D*) ou inversement (schéma *E*), tantôt enfin que son orientation s'est modifiée de 30°. Tous ces cas ont aussi été exposés par Bentley. Quant à la dernière transformation (schémas F^{III}, *G*), on peut parfois en supposer le mécanisme dans un développement spécial des appendices. Les schémas F^I, F^{II}, F^{III} de la figure 18 représentent trois stades observés de ce développement, enregistrés parfois par des particularités de structure intime de la lamelle transformée.

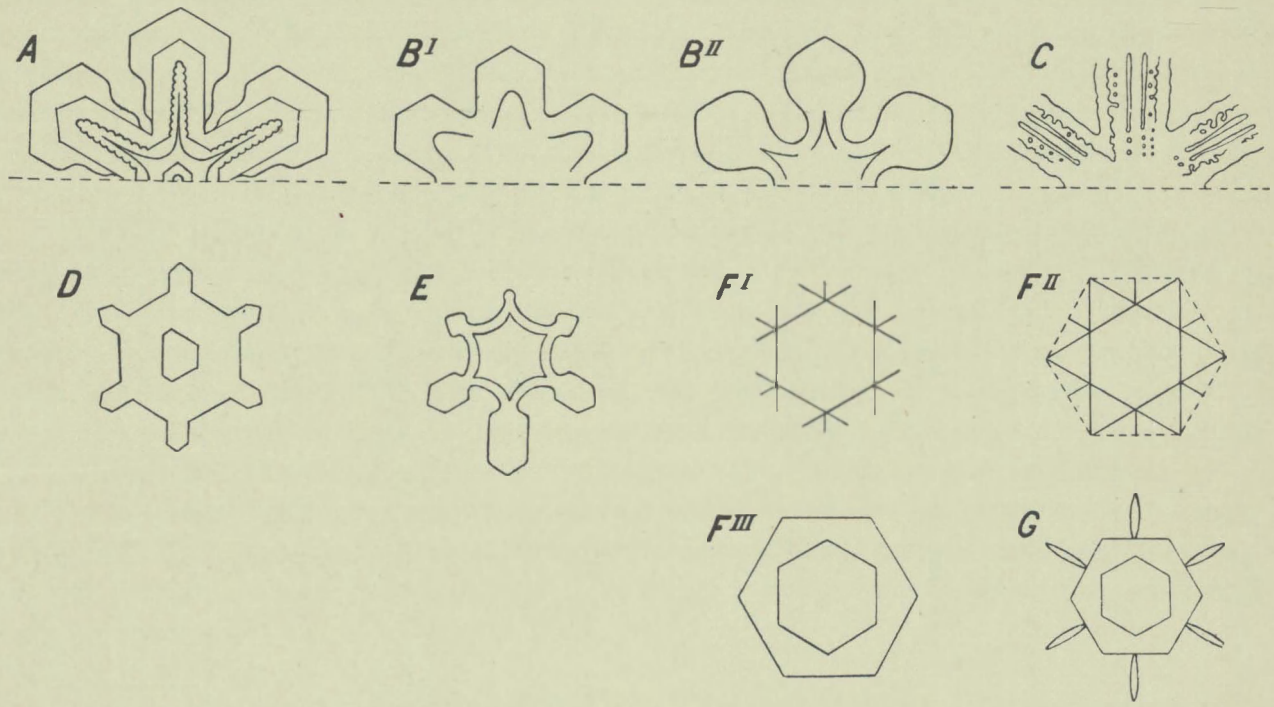


Fig. 18

La forme primitive des rayons étant très souvent totalement ou partiellement enregistrée par ces lignes, j'ai pu constater que les rayons, dans leur forme primitive, étaient presque toujours munis d'appendices rudimentaires. D'étoiles sans champ central, à rayons dépourvus d'appendices, je n'en ai observé au microscope que quelques-unes où ne se trouvait décelée leur ramification primitive, soit par des lignes d'accroissement latéral, soit par des nervures, soit par les unes et les autres. Il en résulterait que les rayons de la plupart, si non de toutes les étoiles, sont primitivement pourvus d'appendices qui se fusionnent ultérieurement.

Les lignes d'accroissement latéral doivent, sans doute, impliquer la diversité des conditions par lesquelles le cristal a successivement passé. Mais quelles étaient ces conditions,

(1) Voir les figures des tableaux I, II (n° 1), IV (n°s 5 et 6) de G. Hellmann ; les figures 46 et 51 de S. Nordenskjöld ; les figures 1 et 4 de Bentley. Cette forme du noyau se rencontre aussi dans des cristaux analogues d'autres substances (voir, par exemple, la fig. 146 dans la « Molekülarphysik » de O. Lehmann).

à quelles conditions nouvelles correspond une zone d'accroissement différente, ces hiéroglyphes ne nous en disent rien de plus ou moins précis. D'après W. A. Bentley, la plus grande autorité actuelle en matière d'étude de la neige, les conditions tendant à modifier la forme du cristal après la formation du noyau, sont diverses : « ..... the chief among them being the height, number and vertical depth of the cloud strata and the resultant variation in temperature, atmospheric pressure and humidity due to these ; the character of the storm, whether local or general, and the portion of the storm region from which the crystals come. To these must also be added the initial and subsequent movement of the crystals whithin the clouds..... That they (crystals) are greatly modified by these flights in the clouds, is clearly shown by the interior structure of many of the crystals outlining many of the transitory states » (1).

De semblables lignes se retrouvant aussi dans des formes du givre dont les conditions présidant à leur formation, n'ont apparemment pas subi de modifications appréciables, je pense qu'un infime changement de l'ambiance peut retentir sur la forme. La question me paraît donc très complexe, difficile à résoudre, et l'étude du givre et, mieux encore, la méthode expérimentale sont peut-être seules capables de jeter sur elle un peu de lumière et de nous fournir des données qui permettraient de déduire de la structure les conditions par lesquelles le cristal a passé.

Remarque générale.

Comme nous l'avons fait dans le chapitre précédent pour la forme, de même, dans le présent chapitre, nous n'avons pas voulu épuiser toutes les particularités et complexités de la structure et moins encore les expliquer, mais simplement en décrire les éléments les plus communs et les plus simples. Quant aux figures internes d'une complexité extrême, des plus énigmatiques, je n'en reproduis que quelques faibles exemples schématisés dans la figure 19, dont les trois premiers se retrouvent parmi les microphotographies des auteurs.

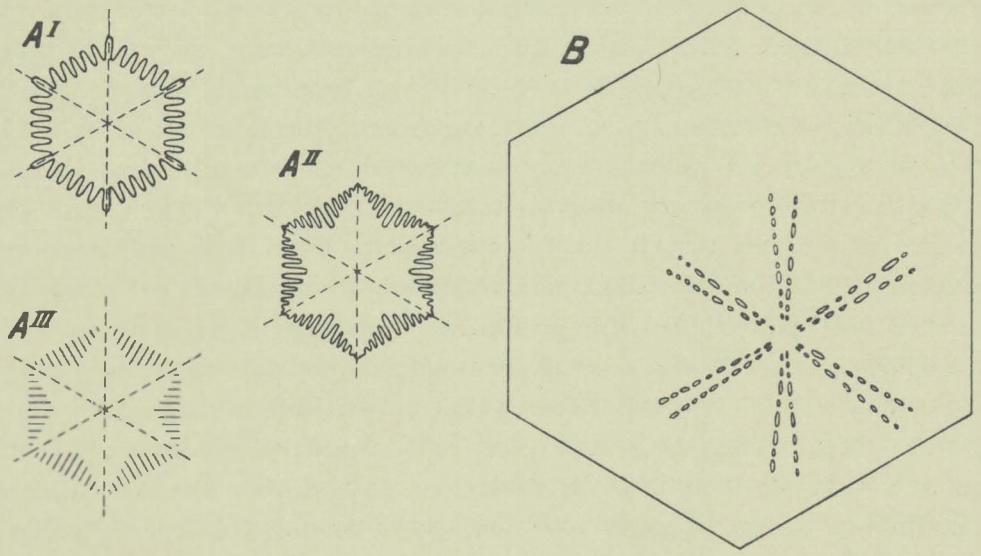


Fig. 19

(1) Waters a le premier, me semble-t-il, signalé ces lignes et essayé d'en tirer des conclusions en partie analogues à celles de Bentley (Certain lines in snow crystals, *Memoirs of the liter. and philosoph. Society of Manchester*, VI, 1875, p. 6-10).

NEIGE EN BÂTONNET

Elle comprend deux classes principales : neige prismatique et neige aciculaire.

Les deux s'observaient avec sensiblement la même fréquence :

Nombre d'observations où la forme { prismatique / aciculaire } a été remarquée : { 213, / 206, } soit { 30 % / 29 % } d'observations où la forme de la neige a été notée.

Les cas, où ces deux classes tombaient simultanément, étaient rares, celles-ci étant alors ordinairement bien tranchées, rarement réunies par des formes de transition.

NEIGE PRISMATIQUE

Forme

On trouve deux formes principales : prisme hexagonal à deux bases planes généralement parallèles (forme la moins fréquente), et prisme hexagonal à une extrémité plus ou moins pointue, donc probablement hémimorphe (forme la plus fréquente).

Deux tendances tout à fait caractéristiques s'accusent nettement :

1° Tendance des prismes hémimorphes à la formation d'*agrégats radiaires,* par union de leurs extrémités pointues. Les prismes pointus isolés étaient relativement rares, et il ne fut pas une seule chute de prismes où cette tendance ne se trouvât réalisée, à un moment donné tout au moins. Bien souvent, une chute présentait la succession suivante : prismes isolés exclusifs ou dominants..... prismes agrégés..... prismes isolés exclusifs ou dominants, succession en général parallèle à la variation de l'abondance.

Les prismes constitutifs d'un agrégat pouvaient être sensiblement de même grandeur ou de grandeur très diverse. Les angles qu'ils formaient entre eux n'ont pas été mesurés, mais simplement estimés ; les angles de 90°, de 60° et leurs multiples prédominaient ; parmi les autres, plus difficiles à estimer, j'ai cru remarquer l'angle rapproché de 30°.

A leur convergence, les pointes pouvaient rester distinctes à des degrès variables.

Un agrégat pouvait présenter deux points centraux (fig. 20, schéma A^{II}).

Le nombre de prismes variait de deux à sept autour d'un même point central.

Ils pouvaient être disposés dans un même plan ou dans des plans différents. Fait curieux, le nombre de prismes d'un même plan ne dépassait jamais quatre ; ainsi je ne suis jamais parvenu à découvrir d'étoile à six rayons représentés par six prismes agrégés dans un même plan. Par contre, j'ai observé assez souvent des étoiles à quatre rayons représentés par quatre prismes maclés dans un même plan et formant entre eux l'angle de 90° (fig. 20, schéma A^{I}), ou une sorte de double étoile formée autour de deux centres situés dans un même plan et sur une même droite (schéma A^{II}), ou, enfin, une étoile à six prismes agrégés dans deux plans perpendiculaires et formant entre eux l'angle de 90° et 180° (schéma A^{III}).

De tous ces agrégats, les plus intéressants, peut-être, sont ceux formés par deux prismes disposés sur une même droite, c'est-à-dire formant entre eux l'angle de 180°, une telle macle pouvant prendre l'aspect d'un prisme unique limité par deux bases planes. La

fusion des composants pouvant se faire à des degrés variables, on passait des macles où l'individualité des deux prismes était très distincte, par l'intermédiaire de celles qui ne montraient qu'une faible échancrure circulaire ou même n'intéressant qu'une seule face, jusqu'à des prismes d'aspect holoédrique, apparemment tout à fait unis, sans traces de leur composition, si ce n'était parfois une faible strie, circulaire ou partielle, ou bien l'implantation en son milieu d'un ou deux prismes pointus supplémentaires marquant ainsi le centre d'agrégation (fig. 20, schémas B^{I}-B^{VIII}). Il en résulte qu'il est difficile, voire même impossible, d'affirmer, d'après le simple aspect, si un prisme donné, limité par deux bases planes, est un cristal unique ou bien une macle. (On sait qu'il en est de même pour d'autres substances.)

Il est très probable qu'au moins une grande partie des prismes d'aspect holoédrique n'étaient que des macles. Ils s'observaient moins fréquemment et presque toujours à côté des prismes d'aspect hémimorphe. Dans une même chute, ils étaient ordinairement moins nombreux et apparaissaient le plus souvent aux moments où ces derniers se présentaient en macles bien distinctes ; on pouvait alors aisément constater toutes les transitions entre les prismes d'aspect parfaitement holoédrique et les macles manifestement composées de deux prismes hémimorphes. Leur longueur était en moyenne supérieure à celle des prismes hémimorphes, sans toutefois jamais atteindre 2 millimètres ; elle s'abaissait relativement rarement au-dessous de $0^{mm},5$, chose très fréquente pour les prismes hémimorphes qui dépassaient rarement 1 millimètre ; cette différence de longueur a été assez souvent constatée lors d'une même chute, où parfois, sans différence sensible d'épaisseur, les prismes d'aspect holoédrique étaient en moyenne à peu près une fois plus longs que les hémimorphes qui tombaient simultanément.

2° Tendance à former des *combinaisons avec les formes lamellaires,* les prismes hémimorphes avec une, les prismes d'aspect holoédrique avec deux lamelles. Celles-ci sont fixées à la base plane des prismes par leur face basale, dans une position centrale, exceptionnellement excentrique (exemple fig. 20, schéma D^{III}), et orientées conformément à l'orientation du prisme.

Ces formes combinées étaient plus fréquentes que les prismes simples. Elles se retrouvaient presque invariablement dans toutes les chutes de neige prismatique, tout au moins à un moment donné de celles-ci. Bien souvent, aux prismes simples du début d'une chute s'ajoutaient dans la suite des prismes lamellés, qui devenaient bientôt prépondérants, voire même exclusifs, pour céder de nouveau la place aux prismes simples, vers la fin de la chute ; simultanément ou même un peu avant l'arrivée des prismes lamellés, on constatait ordinairement l'apparition des lamelles isolées.

De diamètre très variable, quoique n'excédant jamais 2 millimètres, ces lamelles terminales surplombaient assez rarement le prisme de beaucoup, mais leur diamètre n'était jamais inférieur à celui du prisme. Ordinairement dans une même chute on assistait au développement ou à la régression de ces lamelles ; on pouvait ainsi avoir la succession ci-après : prismes simples — prismes à lamelles à peine distinctes — prismes à lamelles bien distinctes. Dans un agrégat radiaire, les diamètres des lamelles terminales pouvaient être sensiblement égaux ou très différents. Les mêmes rapports existaient pour les prismes d'aspect holoédrique : les deux lamelles pouvaient être de diamètre très différent (exemple fig. 20, schéma C^{III}), et même on ne distinguait parfois qu'une lamelle terminale. Assez souvent un prisme d'aspect holoédrique semblait combiné à trois lamelles, dont une plus ou moins au milieu (fig. 20, schémas C^{IV}, C^{V}), parfois même à quatre lamelles (schéma C^{VI}) ; on croirait dans ces cas avoir

affaire à deux ou trois prismes réunis entre eux par une ou deux lamelles ; très souvent on observait alors que les lamelles intermédiaires étaient plus petites que les lamelles terminales (schémas C^{V}, C^{VI}) ; parfois j'ai pu constater que la lamelle intermédiaire était nettement dédoublée, au point d'impliquer un trait d'union central (schéma C^{VII}). Nous avons déjà dit plus haut que parfois on trouvait toutes les transitions entre un prisme lamellé et deux lamelles réunies par une lamelle intermédiaire plus petite.

Quant à leur forme, les lamelles hexagonales simples étaient les plus fréquentes (fig. 20, schémas D^{I}, D^{III}) ; ou bien on avait des lamelles plus ou moins étoilées, mais à champ central toujours au moins égal au diamètre du prisme, à rayons généralement peu développés et faiblement ramifiés. Quand elles tombaient en même temps que les lamelles isolées, elles leur ressemblaient, mais n'en reproduisaient que les formes les moins compliquées et les moins ramifiées. Après la lamelle hexagonale simple, le type le plus commun était celui du schéma D^{II}, la ligne pointillée représentant le contour de la base du prisme vu par transparence. Toutes ces lamelles pouvaient présenter des irrégularités analogues à celles des lamelles isolées (schémas D^{IV}, D^{V}). Une fois se présenta une forme bien curieuse : c'était une lamelle dont la face externe semblait montrer un enfoncement central hexagonal de diamètre égal à celui du prisme (schéma D^{VI}).

Particularités de la forme.

1. *Formes supposées régulières.*

Il m'a semblé remarquer assez souvent une *hémiédrie* sur les prismes, toujours modérée, et on la retrouvait au même degré sur les lamelles agrégées.

Quant au *rapport de la longueur à l'épaisseur*, les prismes hémimorphes seuls peuvent fournir des données certainement comparables, ceux d'aspect holoédrique pouvant n'être que de simples macles. Faute de mesures précises, surtout pour l'épaisseur, je n'ai pu m'en rendre compte que par des estimations plus ou moins grossières. Ce rapport se rapprochait le plus souvent de 2 : 1 ; son minimum descendait au-dessous de 1 : 1 ; son maximum s'élevait jusqu'au-dessus de 5 : 1 ; les valeurs maximales et minimales étaient rarement réalisées ; elles étaient en outre vagues, vu qu'elles se trouvaient à la limite des transitions entre les prismes et lamelles d'un côté, entre la neige prismatique et aciculaire de l'autre, — transitions qui ont été rarement observées. Quant à savoir s'il y a une loi régissant ce rapport, j'ai dû me contenter d'une étude plutôt simplement qualitative. Dans certaines chutes, il semblait exister un rapport inverse entre la longueur et l'épaisseur (1), donc une tendance à conserver le même volume. Dans d'autres, au contraire, la longueur variait, même assez fortement, l'épaisseur restant sensiblement la même.

Il m'a été difficile de mesurer, dans les terminaisons pyramidales, l'angle de troncature ; il me semble que cet angle, par conséquent l'acuité de la pyramide, n'était pas constant.

A acuité égale, le rapport des longueurs des portions pyramidale et prismatique

(1) Fait observé par G. Hellmann : « Bei einem und demselben Schneefall pflegt das Verhältniss der Länge zur Dicke dasselbe zu bleiben. » (L. c., p. 35.)

changeait, naturellement, avec la longueur (et l'épaisseur) du cristal ; on arrivait ainsi à des spécimens à portion prismatique très réduite et, dans deux chutes où ils étaient combinés

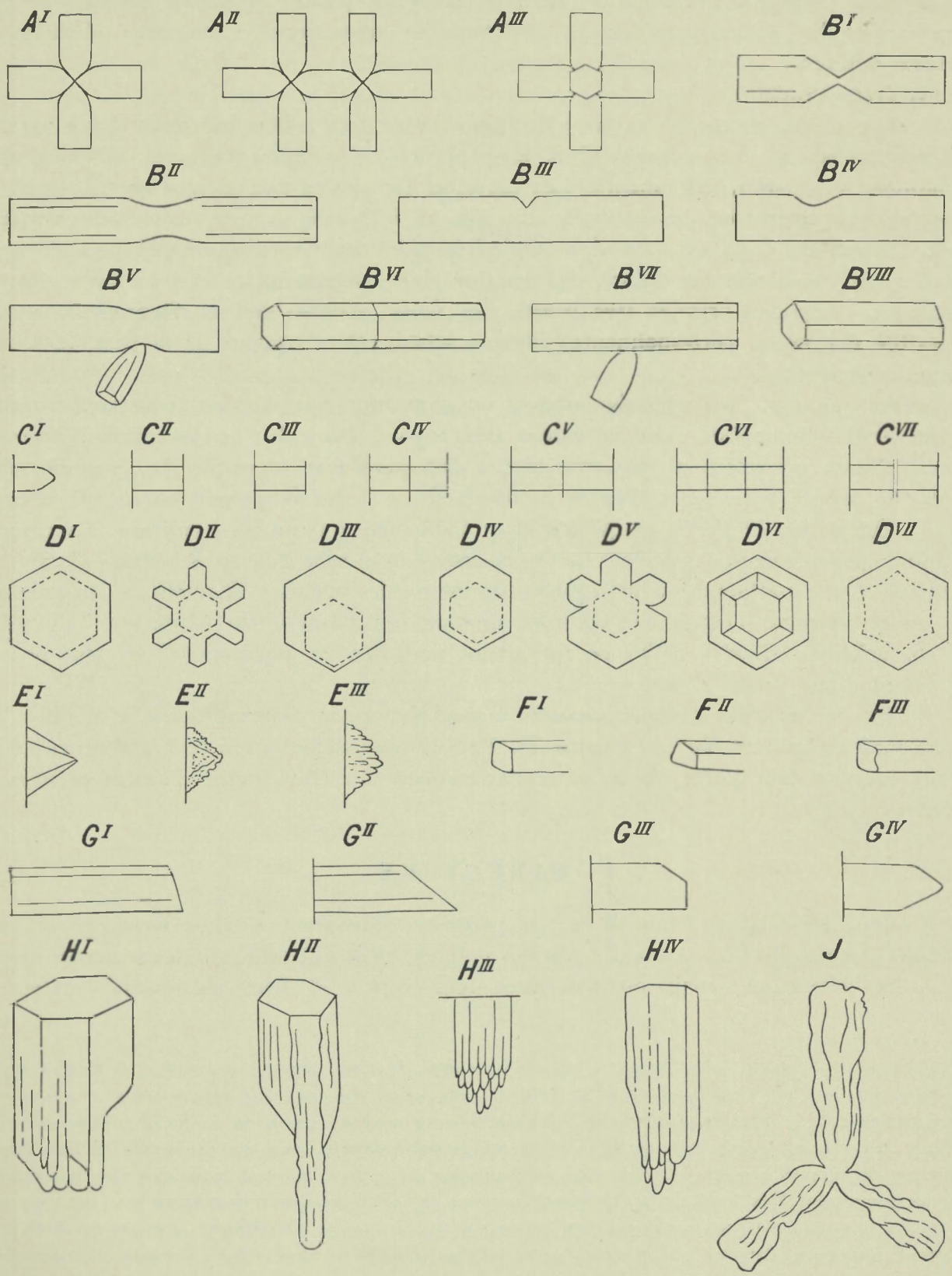


FIG. 20

aux lamelles, j'ai eu l'occasion d'observer de vraies pyramides simples (fig. 20, schémas E^{I}, E^{II}, E^{III}) (1).

Parfois la pointe pyramidale n'était qu'ébauchée par des troncatures plus ou moins distinctes sur les arêtes basales ; on observait les transitions entre cette ébauche et la pyramide pointue.

2. *Irrégularités.*

Les prismes bien réguliers, c'est-à-dire les holoédriques à deux bases tout à fait parallèles, les hémimorphes à portion pyramidale bien pointue et nettement tranchée de la portion prismatique, n'étaient pas fréquents. Les arêtes et les angles pouvaient être émoussés, donc les premières peu nettes, les seconds arrondis, d'où le vague bombement des extrémités planes, l'aspect en doigt de gant des extrémités pointues. Ces phénomènes pouvaient aussi, naturellement, ne constituer qu'une déformation due à l'évaporation et à la fonte. Rarement et seulement dans les prismes très courts, les faces latérales étaient légèrement concaves, d'où saillie des arêtes correspondantes (fig. 20, schéma D^{VII}, contour de la base vu à travers la lamelle combinée).

Ainsi que dans la neige lamellaire, on constatait parfois une irrégularité des faces latérales et des anomalies dans la valeur des angles. Dans les prismes à deux extrémités planes, celles-ci pouvaient ne pas être tout à fait parallèles (exemple fig. 20, schéma G^{I}). Parfois, du moins à en juger d'après la forme de la base, le prisme aurait été tétragonal (fig. 20, schémas F^{I}, F^{II}, F^{III}), ce qui n'était probablement qu'une malformation. La troncature pyramidale pouvait ne pas intéresser toutes les arêtes de la base (fig. 20, schémas G^{II}, G^{III}, G^{IV}) ; un exemple d'une malformation analogue est donné par les schémas H^{I} et H^{II} de la figure 20.

Assez souvent l'extrémité pointue simulait un faisceau de bâtonnets longitudinaux (fig. 20, schémas H^{I}-H^{IV}, E^{III}) ; ce fut même une fois un phénomène constant pour tous les prismes d'une même chute.

Enfin, les prismes avaient souvent l'aspect fortement déformé, sans la moindre limite plus ou moins régulière (fig. 20, schéma $\mathcal{J}$). Parfois cette déformation était accentuée au point de faire croire à tout autre chose, si concurremment il n'était tombé d'autres prismes, plus ou moins nets

STRUCTURE

Comme les cristaux lamellaires, les prismes contenaient aussi, presque généralement, des *cavités internes*. Parfois, dans des prismes pointus, ce semblaient être des vésicules disposées sans ordre déterminé ; mais ordinairement leur forme et leur localisation étaient bien

(1) Scoresby dit avoir, dans l'Arctique, par une forte brise du Nord, observé en grande quantité des pyramides hexagonales simples, non combinées à des lamelles, et parmi elles une pyramide apparemment trigonale (fig. 44 et 47 de ses dessins). Je ferai remarquer que j'ai observé assez souvent une sorte de grésil pyramidoïde, à base vaguement hexagonale, pentagonale, tétragonale ou tout à fait indéfinie, mais qui provenait d'un abondant dépôt de givre sur de simples lamelles ; souvent une augmentation de la force du vent annonçait ces chutes. Mais les pyramides proprement dites doivent être excessivement rares ; je n'en ai vu que trois exemplaires, comme réduction limite de la portion prismatique dans les prismes pointus ; ni Hellmann, ni Nordenskjöld, ni même Bentley n'en ont observé. Par contre, dans le givre granuleux, les formes purement pyramidales, de dimensions microscopiques, se rencontraient assez souvent.

caractéristiques et en tous points comparables à celles décrites et photographiées par les auteurs. Dans les cristaux hémimorphes, leur forme correspondait, *grosso modo*, à celle du cristal : on avait une *vésicule axiale,* élargie vers la base plane, et s'amincissant vers la pointe ; habituellement, surtout dans sa portion élargie, elle présentait des étranglements circulaires ou même semblait figurer les marches d'un escalier (fig. 21, schémas A^{I}-A^{V}). Une fois, j'ai vu comme deux cavités emboîtées, la base de la cavité interne se montrant par transparence sur la base du prisme (fig. 21, schéma *B*) ; je ne saurais me prononcer sur la signification de ces doubles lignes ; peut-être l'une d'elles, l'externe, ne représentait-elle que la surface d'accroissement du prisme, analogue aux lignes d'accroissement latéral des cristaux lamellaires. Dans les prismes d'aspect holoédrique, tout comme dans les macles de deux prismes hémimorphes, on avait deux cavités, orientées inversement (fig. 21, schémas C^{I}, C^{II}) ; le plus souvent ces deux cavités communiquaient entre elles par un fin canalicule, mais parfois elles restaient isolées ; j'ai observé aussi des cas où entre ces deux cavités, suivant le prolongement de leur axe, s'étendait un canalicule fin ou même une série de vésicules indépendantes. Outre ces cavités axiales, les prismes, aussi bien les hémimorphes que ceux d'aspect holoédrique, en montraient d'ordinaire d'autres encore, non axiales, sous forme de *canaux longitudinaux* (1).

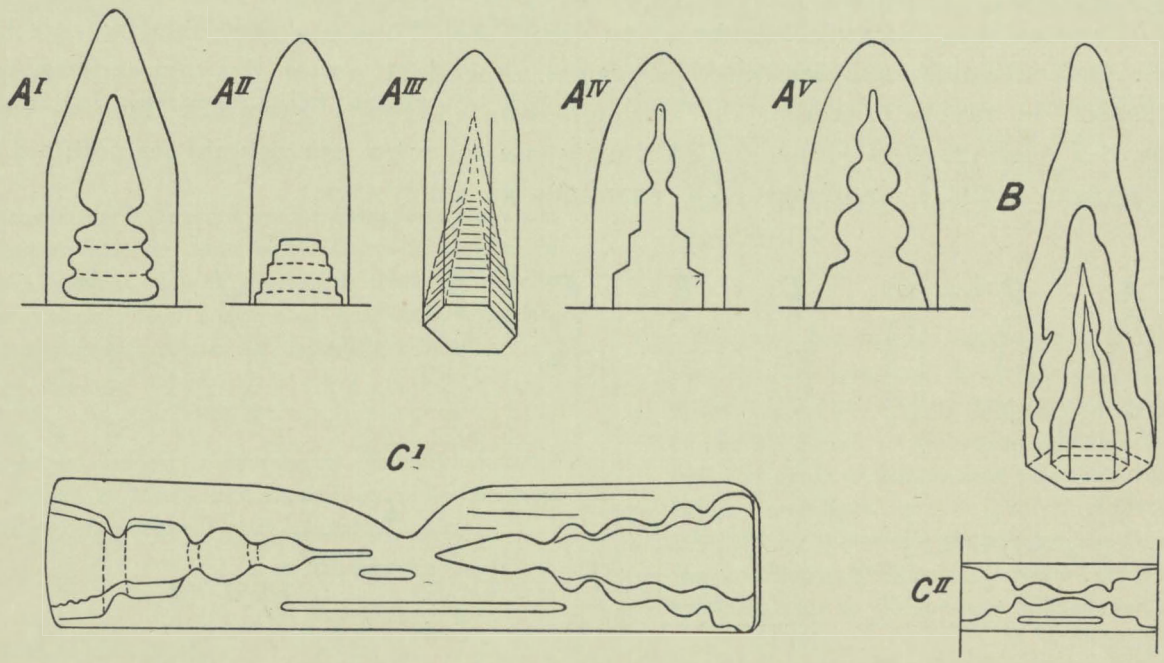


FIG. 21

(1) *Vésicules baculiformes* de G. NORDENSKJÖLD. D'après cet auteur, ces vésicules seraient au nombre de trois, symétriquement disposées dans trois sextants alternes (l. c., fig. 1). — NORDENSKJÖLD a fait cette constatation très curieuse que, dans certains cas au moins, les vésicules des prismes pointus contenaient de l'eau surfondue, vu que lors d'une chute de ces prismes, par une température de -8° à -12° et sous un ciel voilé, les toits des maisons montrèrent un écoulement ininterrompu ; il dit aussi avoir vu ces prismes se transformer, après leur chute, en lamelles hexagonales transparentes, sans lignes ou cavités internes. Je n'ai pas eu l'occasion d'observer tous ces phénomènes, lesquels peuvent m'avoir échappé. Quant à la question de la transformation des prismes, j'ai pu seulement constater, plusieurs fois, une liaison entre les prismes et certaines formations lamellaires particulières dont il sera parlé plus loin.

Les prismes montraient bien souvent des *rayures longitudinales* sur leurs faces latérales (1).

Outre les cas où elles marquaient plus ou moins le milieu d'un prisme d'aspect holoédrique, trahissant ainsi l'agrégation de deux prismes hémimorphes, on rencontrait assez rarement sur la surface des prismes des *stries transversales* circulaires ; elles représentaient peut-être des lignes d'accroissement vertical du prisme, analogues aux lignes d'accroissement latéral des cristaux lamellaires.

Formations lamellaires apparentées aux prismes.

Lors de maintes chutes de neige prismatique, j'ai observé des formations lamellaires particulières, semblant sous tous les rapports liées intimement aux prismes tombant simultanément. Elles se comportaient toujours absolument comme ces derniers : ceux-ci tombaient-ils isolés, agrégés radialement ou de façon irrégulière, elles se présentaient sous ces mêmes formes. Mieux encore, un même agrégat, radiaire ou irrégulier, pouvait, dans ces cas, être composé en partie de prismes, en partie de formations lamellaires.

Leurs dimensions, surtout la longueur, correspondaient généralement à celles des prismes concomitants.

En général, leur forme était hexagonale, parfois très bizarre ; elles étaient communément allongées et à symétrie bilatérale, ou composées d'une chaînette rectiligne de lamelles agrégées. Ordinairement simples, elles pouvaient cependant porter des appendices, prenant ainsi l'aspect de rayons d'étoile. On peut en voir différents exemples dans la figure 22 (schémas *A-J* observés à la loupe, les extrémités non achevées représentant les points d'attache sur un agrégat radiaire ; schémas *K-M* examinés au microscope).

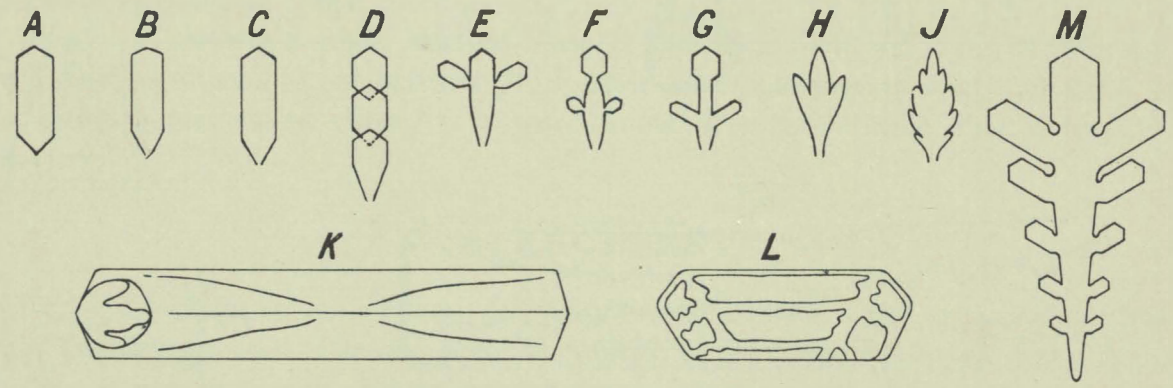


FIG. 22

Fait qui se produit invariablement chaque fois que, dans une même chute, il s'agit des formes de deux catégories distinctes, surtout voisines, on constatait entre les prismes et les formations lamellaires un certain antagonisme ; ainsi les formations lamellaires apparaissant à un moment donné de la chute en très petit nombre parmi les prismes, pouvaient dans

(1) Rapprochés l'un de l'autre, ces faits de rayures longitudinales, de « vésicules baculiformes » et de différenciation de la portion pyramidale en bâtonnets longitudinaux, montrent peut-être que les prismes auraient pu présenter, à l'origine, un faisceau régulier de bâtonnets fusionnés ultérieurement et dont ces phénomènes constitueraient des traces.

la suite augmenter progressivement en nombre au point de prédominer et même de devenir exclusives.

La parenté de ces deux formes était surtout frappante dans les quelques cas où, au cours d'une même chute, se succédaient des prismes de plus en plus aplatis parallèlement à leur axe, donc de moins en moins prismatiques, pour aboutir enfin à de vraies formations lamellaires.

Parfois, avec ces formations, tombaient des étoiles dont les rayons leur étaient analogues.

Vu la curiosité de ce phénomène, j'en donne ici quelques exemples concrets, tirés de mon journal de la neige (1).

Le 22 novembre 1898

6^h—$6\,^1/_2{}^h$

Neige peu abondante,
très fine,
fondante.

Formes. 1er moment :

Prismes hémimorphes simples / combinés aux hexagones étoiles rudimentaires,
en agrégats radiaires,
dimensions excessivement petites (longueur $< 0^{mm},3$).

2e moment :

Dans les agrégats radiaires, les *prismes* sont peu à peu remplacés par des *formations lamellaires* allongées, de type hexagonal, mais de forme en général très difficile à déterminer ; bien souvent ce sont des chapelets d'hexagones très menus (fig. 22, schéma *D*).

3e moment :

Dans les agrégats radiaires, les éléments diminuent de nombre, augmentent de dimensions, et les *formations lamellaires* y deviennent prédominantes.

8^h—8^h40

Neige assez abondante,
fine,
presque fondante.

Formes. 1er moment :

Formations lamellaires, en agrégats radiaires (deux, trois individus et plus) ; individus en chapelets de très menus hexagones (fig. 22, schéma *D*).

2e moment :

Dans les agrégats radiaires, les *formations lamellaires* sont peu à peu remplacées par des *prismes hémimorphes*, lesquels bientôt deviennent dominants. — Agrégats fréquents composés de trois ou quatre individus situés dans un même plan, perpendiculairement l'un à l'autre.

Il apparaît aussi des *prismes d'aspect holoédrique*, le plus souvent avec plus ou moins de traces de l'agrégation de deux prismes hémimorphes (échancrure ou strie circulaires ou partielles, ou bien petit prisme hémimorphe fixé vers le milieu du prisme). — Prismes simples ou combinés à des hexagones assez épais, de diamètre dépassant à peine celui du prisme. — Surface des prismes légèrement rugueuse, à nombreuses raies longitudinales.

3e moment :

Rien que des *prismes ;* encore deux catégories ; de plus en plus grossiers ; à surface de plus en plus inégale, parce que hérissés de grains de givre, de plus en plus abondants, de dimensions minimes, mais variables (très petits en comparaison du prisme support), de forme prismatique, fixés en général perpendiculairement aux faces latérales des prismes, aux faces basales des hexagones combinés, disposés irrégulièrement, couvrant toute la surface vers la fin de l'observation.

9^h—$9\,^1/_4{}^h$

Neige très peu abondante,
fine.

Formes : 1. *Prismes* comme précédemment.

2. *Formations lamellaires*, aussi en agrégats radiaires ; individus en chapelets très capricieux et très variables, de forme plus ou moins hexagonale, très menus.

(1) Pour les conditions atmosphériques concomitantes, voir les tableaux météorologiques de la présente collection.

3. *Hexagones* simples, petits. Dépôt de givre très abondant, en menues excroissances, de forme difficile à déterminer à la loupe.

4. *Transitions* entre les hexagones simples / étoiles (échancrures triangulaires marginales, plus ou moins prononcées, au milieu de chaque côté).

10h—10 1/4h

1er moment :

Neige abondante, fine.

Formes : 1. *Prismes* hémimorphes, d'aspect holoédrique, combinés à des hexagones, / étoiles, les hémimorphes en agrégats radiaires.

Dépôt d'espèce de givre sous forme de prismes et de formations lamellaires minimes, celles-ci d'aspect très variable, de type hexagonal, allongées, simples ou à appendices courts (exemples fig. 22, schémas *A*, *H*).

Rayons des étoiles combinées aux prismes analogues à certaines de ces formations lamellaires.

2. *Formations lamellaires,* de forme analogue à celle du givre ci-dessus, de dimensions sensiblement égales à celles des prismes ; aussi en agrégats radiaires. Certains agrégats radiaires constitués de ces formations et des prismes en même temps.

3. *Hexagones* simples, d'aspect grossier (dépôt de givre).

4. *Étoiles* isolées, de même type que celles combinées aux prismes, montrant une sorte d'hexagone simple collé à leur centre.

2e moment :

Neige peu abondante, fine.

Forme dominante : *prismes hémimorphes*, analogues à ceux du 1er moment, mais à givre principalement ou exclusivement prismatique.

Vers 10 1/2h

Neige assez abondante, fine

Formes : Prismes hémimorphes / d'aspect holoédrique, le plus souvent combinés à des étoiles à rayons simples en hexagone allongé, ou, plus rarement, à des hexagones.

11h—11 1/4h

Neige peu abondante, fine.

Formes : 1. *Prismes hémimorphes*, combinés à une étoile du type précédent ; en agrégats radiaires ; dimensions très petites (souvent longueur $< 0^{mm},3$) ; surface rugueuse (dépôt de givre en prismes minimes).

2. Agrégats radiaires, composés partiellement ou exclusivement de *formations lamellaires*, de dimensions plus ou moins égales à celles des prismes.

3. *Étoiles* isolées, de forme identique à celle des étoiles combinées aux prismes (rares).

12h

Neige assez abondante, très fine.

Formes : Agglomérations irrégulières d'*hexagones* simples et de *formations lamellaires* allongées très menues.

Le 15 décembre 1898

3h

Neige assez abondante, très fine.

Formes. 1er moment :

Prismes hémimorphes ; d'aspect holoédrique ; réguliers, lisses, brillants ; longueur $<$ 1 millimètre ; assez fins ;

les hémimorphes rarement isolés / ordinairement en agrégats radiaires ; ceux d'aspect holoédrique montrant souvent des traces de l'agrégation de deux prismes hémimorphes.

2e moment :

1. *Prismes* du 1er moment.

2. Mêmes *prismes* combinés à des étoiles à rayons simples en hexagone allongé incomplet, régulières, lisses, brillantes, de 1 à 1 1/2 millimètre de diamètre.

4h

Neige assez abondante, très fine.

Formes : 1. Comme le 2, 2e moment, 3h.

Observation microscopique :

Arêtes et angles parfois arrondis.

Raies longitudinales, non uniformes.

Dans les *prismes hémimorphes*, vésicules non axiales,

allongées parallèlement à l'axe, et différenciation de la pointe terminale en bâtonnets longitudinaux.

Dans les *prismes d'aspect holoédrique*, cavités axiales, canalicules longitudinaux et traces de l'agrégation de deux prismes hémimorphes.

2. *Formations lamellaires.*

D'abord peu, puis de plus en plus nombreuses.

Rarement isolées, ordinairement en agrégats radiaires, et alors souvent avec des prismes ; parfois en chapelets rectilignes isolés ou agrégés radialement.

Longueur et largeur ne différant guère de celles des prismes.

Type hexagonal ; symétrie ordinairement bilatérale ; plus ou moins allongées ; d'ailleurs de forme très variable et souvent irrégulière.

Figures internes, assez régulières, à symétrie ordinairement bilatérale.

Les très allongées montraient fort souvent une ressemblance frappante avec les prismes ; souvent difficulté de distinguer les deux formes, car il y en avait qui n'étaient pas tout à fait planes et présentaient les raies longitudinales, caractéristiques des prismes.

3. *Hexagones* simples
Étoiles (formes dominantes).

Les hexagones simples semblent très souvent agrégés : *a*) agrégats radiaires, un hexagone central portant à ses six angles, quand il était holoédrique, à ses trois angles, quand il était hémiédrique, des hexagones plus petits, orientés conformément au support ; *b*) agrégats en chapelets rectilignes.

Les étoiles sont analogues à celles combinées aux prismes ; elles font souvent l'impression de provenir de la fusion de plusieurs hexagones agrégés.

Le 9 janvier 1899

4h

Neige assez abondante,
très fine.

Formes : 1. *Prismes hémimorphes*,
très menus,
en agrégats radiaires.

2 *Formations lamellaires*,
de largeur et longueur ne différant guère de celles des prismes ;
de type hexagonal, allongées ;
en agrégats radiaires, parfois avec des prismes.

3. *Étoiles*,
petites (1 millimètre) ;
à champ central réduit formé par les bases des rayons en semi-hexagone allongé (comme si elles étaient des agrégats réguliers de six formations lamellaires) ;
ordinairement isolées, rarement accolées deux par deux par leurs faces basales.

5h

Neige peu abondante,
fine.

Formes : Étoiles,
de dimensions et de forme comme à 4h, mais rayons souvent plus longs et alors munis d'une paire, alors distale, ou de deux paires d'appendices.

Semblent toutes centrées d'un hexagone simple, très petit.

Le 25 février 1899

9h

Neige assez abondante,
très fine.

Formes : *Prismes* hémimorphes,
d'aspect holoédrique,
combinés à des hexagones.

Les hémimorphes : longueur < 1 millimètre, épaisseur plus que la moitié de la longueur ;
en agrégats radiaires d'au plus cinq individus ; souvent quatre individus dans un même plan, formant entre eux un angle de 90°.

Ceux d'aspect holoédrique en général plus longs que les hémimorphes.

Le diamètre des hexagones combinés dépasse à peine celui des prismes.

10h

Neige assez abondante,
très fine.

Formes : 1. *Formations lamellaires*,
en hexagone allongé à symétrie bilatérale ;
dimensions égales à celles des prismes observés à 9h ;
en agrégats identiques à ceux de ces prismes.

2. *Hexagones* simples,
isolés ;
forme régulière ;
bords ébréchés ;
très minces, transparents, sans structure ;
dépôt de grains de givre, très peu abondant.

11h

Neige assez abondante,
fine.

Formes : 1. *Formations lamellaires,*
le plus souvent en hexagone allongé à symétrie bilatérale, plus rarement en feuille à bords symétriquement dentelés (fig. 22, schéma *f*) ;
en agrégats radiaires ou en agglomérations irrégulières.

2. *Étoiles,*
à champ central réduit formé par les bases des rayons de mêmes dimensions et de mêmes formes que les formations lamellaires.

Souvent semblaient centrées d'un hexagone simple, très petit.

3. *Hexagones* simples, comme à 10h.

Le 1er mars 1899

6h

Neige assez abondante,
fine.

Formes : Très petits *flocons* composés de :
1. *Prismes hémimorphes ;*
longueur $< 0^{mm},5$; épaisseur plus que la moitié de la longueur ;
en agrégats radiaires.

2. *Formations lamellaires* ;
en hexagone allongé à symétrie bilatérale ;
en agrégats radiaires identiques à ceux des prismes ;
parfois deux formes dans un même agrégat.

Le 3 mars 1899

5h—5 1/4h

Neige assez abondante,
fine.

Formes. 1er moment :

Prismes hémimorphes,
très menus,
en agrégats radiaires, ceux-ci réunis en petites agglomérations.

2e moment :

Idem, mais dans les agrégats radiaires apparaissent, à côté des prismes normaux, de plus en plus fréquemment, des *prismes plus ou moins aplatis parallèlement à leur axe*, se rapprochant donc des formations lamellaires ; leurs longueur et largeur sont celles des prismes normaux ; ils sont simples ou portent de petits appendices hexagonaux latéraux ou terminaux.

3e moment :

Il s'y ajoute des *hexagones* simples, isolés, menus, mais de dimensions variables, minces, transparents, sans structure.

4e moment :

Il s'y ajoute encore des *aiguilles*, de dimensions ordinaires (d'environ 2 millimètres de longueur), isolées ou en petits flocons, couvertes de givre granuleux.

NEIGE ACICULAIRE (1)

Outre la difficulté de se rendre compte des limites cristallines (2), la fréquence particulière des dépôts de givre jointe à la déformation par suite de la fonte résultant des

(1) J'emprunte ce terme à G. Nordenskjöld.

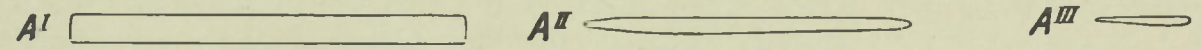
(2) Les anciens observateurs décrivent généralement ces acicules comme hexaédriques et les font rentrer dans la neige prismatique. Parmi les modernes, Pénard les décrit comme « fines aiguilles hexaédriques parfaites, vingt à trente fois aussi longues que larges » (*Arch. des sc. phys. et natur.*, 1893, **30**, pp. 658-660) ; tandis que G. Nordenskjöld en fait une classe distincte des « prismes hexagonaux » et des « fioles de glace », et comprenant « de minces aiguilles ou des agrégations ordinairement parallèles d'aiguilles, généralement sans limites cristallines reconnaissables ». Quant à moi, je n'ai pu bien distinguer que sur un seul spécimen une limite hexaédrique.

températures relativement élevées présidant en général à l'apparition de cette espèce de neige, rendaient son étude très difficile.

Il m'a semblé pouvoir distinguer deux catégories :

1. Bâtonnets, très minces et d'épaisseur sensiblement uniforme, pouvant atteindre une longueur dépassant des dizaines de fois l'épaisseur. C'était la forme la plus commune et la plus simple (fig. 23, A^{I}, A^{II}, A^{III}). Le plus souvent, une ou les deux extrémités étaient tronquées, plus rarement pointues, et parfois, au contraire, présentaient un épaississement terminal (1). Les cavités internes et les striations longitudinales faisaient défaut. Par contre, assez souvent, surtout sur les spécimens relativement longs, on trouvait des raies transversales circulaires, assez distantes (fig. 23, B^{I}, B^{II}) ou très rapprochées (B^{III}), le bâtonnet semblant constitué, dans le premier cas, de plusieurs bâtonnets plus petits, dans le second, d'un certain nombre de grains alignés suivant une droite.

Ces bâtonnets étaient ordinairement réunis parallèlement en minces faisceaux, lesquels à l'œil nu ressembleraient à des bâtonnets simples, n'était la forme particulière des extrémités des faisceaux trahissant leur état composé. La longueur des bâtonnets constitutifs n'étant généralement pas la même, leurs extrémités n'affleuraient pas toutes au même niveau et donnaient à la pointe du faisceau des aspects très variables, dont les types les plus communs sont représentés dans les schémas C^{I}, C^{II}, C^{III} de la figure 23 (2). Le degré de la fusion des bâtonnets constitutifs était variable, mais en général ceux-ci restaient plus ou moins distincts et délimitaient même au sein du faisceau des cavités internes allongées dans le sens de celui-ci (3).



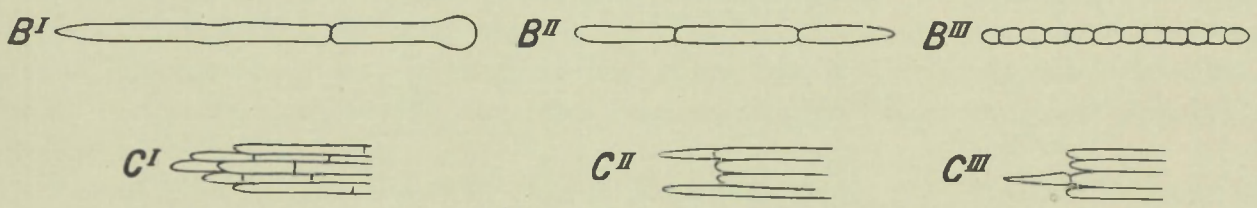


FIG. 23

2. L'autre catégorie était représentée par des individus très courts et relativement épais. Ils tombaient généralement en même temps que ceux de la première catégorie, mais en quantité relativement moindre. Leurs dimensions et leur aspect semblaient les rapprocher des individus de la neige prismatique. N'ayant jamais eu l'occasion de les observer, au microscope, par leurs extrémités ni d'en distinguer, outre la projection de leurs limites

(1) ROHRER attribue cet épaississement terminal à la fonte : « Häufig findet sich bei den einfachen Nadeln an ihrem untern Dritttheile oder an ihrem einen Ende eine Verdickung, welche durch die beim Schmelzen sich zusammenziehenden Wassertröpfchen gebildet wird ». (*Wien. Akad. Ber.*, 1859, **35.**)

(2) Comparer aux extrémités des prismes pointus dissociées en bâtonnets.

(3) ROHRER a observé le même phénomène : « Bestehen die Nadeln aus mehreren parallelen Prismen, so liegen häufig Luftbläschen dazwischen. » (*L. c.*.)

latérales, plus d'une arête, je ne me rends exactement compte ni de leur forme ni de leur structure véritables. L'une ou les deux extrémités pouvaient être tronquées ou plus ou moins pointues, parfois surmontées de courts bâtonnets. La figure 24, A^I—A^V, montre leurs aspects habituels observés au microscope. Les lignes figurées à l'intérieur représentent probablement la projection des limites des cavités internes, plus ou moins comparables, quant à la forme et à la disposition, à celles des prismes d'aspect holoédrique. A côté de ces formations, il en tombait encore d'autres, d'aspect plus ou moins comparable, mais où il m'était encore plus malaisé de m'orienter (fig. 24, B^I-B^{VI}) ; peut-être leurs particularités étaient-elles simplement dues à la fonte ; elles faisaient l'impression d'être constituées de bâtonnets parallèles.

La longueur des individus de la neige aciculaire, beaucoup plus grande, en moyenne, que celle des prismes, variait assez fortement, mais une certaine longueur, oscillant entre $1^{mm},5$ et $2^{mm},5$, prédominait nettement ; les longueurs maximales (4 à 5 millimètres) et minimales (au-dessous de $0^{mm},5$) étaient rares. La longueur variait aussi, d'une façon plus ou moins continue, suivant les différents moments de la chute, habituellement minimale au commencement et à la fin de celle-ci.

Ce qui différenciait surtout cette espèce de neige des prismes, c'était que les individus ne montraient de tendance ni à la combinaison avec des lamelles, ni à la formation d'agrégats radiaires (1). Par contre, ils montraient une tendance bien marquée à l'agrégation *parallèle*. Les faisceaux dont nous avons parlé plus haut pouvaient se réunir encore en faisceaux plus considérables. Leurs flocons, c'est-à-dire leurs agglomérations plus ou moins lâches, se présentaient assez souvent sous forme de paquets d'individus ou de faisceaux de premier ou de second ordre orientés parallèlement.

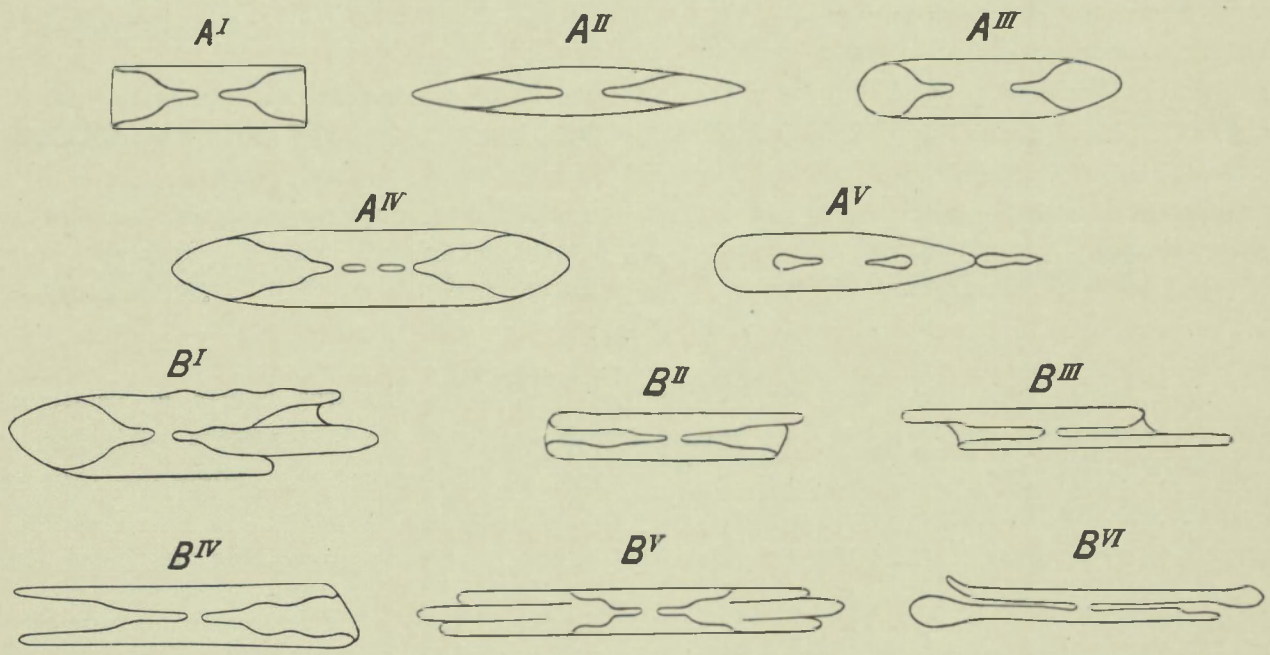


FIG. 24

(1) Dans une chute de longs bâtonnets simples, d'épaisseur uniforme et à extrémités tronquées, j'ai trouvé, à côté de ceux-ci, des étoiles faisant l'impression d'agrégats de six bâtonnets égaux, situés dans un même plan et formant entre eux des angles de 60°. Ces étoiles n'ayant été vues qu'à la loupe, l'observation demande à être vérifiée.

Souvent, à l'arrivée d'une chute plus ou moins abondante d'aiguilles, la force du vent augmentait considérablement.

Granules apparentés à la neige aciculaire.

Assez souvent la bruine à fines gouttelettes liquides passait à une espèce de neige en granules dont il était impossible d'étudier la forme, non seulement à cause de leurs dimensions minuscules, mais surtout de leur fonte, le phénomène ayant généralement lieu à une température oscillant autour du zéro. Parfois les dimensions de ces granules augmentaient successivement dans une seule direction (par agrégation ?) et l'on arrivait ainsi à des bâtonnets très courts, lesquels pouvaient atteindre la longueur normale de la neige aciculaire et même tomber en flocons ; ordinairement ces changements successifs avaient lieu de manière qu'aux granules, à un certain moment, s'ajoutaient des bâtonnets devenant ensuite prédominants, éventuellement exclusifs. Le phénomène inverse pouvait caractériser la fin de la chute, les granules repassant alors à la bruine. Il arrivait aussi que les granules précédaient et suivaient la chute d'aiguilles, sans être eux-mêmes précédés ou suivis par de la bruine, ou bien, dans de courtes chutes, granules et aiguilles, reliés par des formes de transition, pouvaient constamment coexister.

Poudrin.

Cette espèce de précipitation, bien connue partout où le froid est suffisamment intense, était évidemment un phénomène ordinaire dans nos parages.

Comme partout, le poudrin s'observait presque toujours par temps calme et température suffisamment basse (1), ordinairement peu abondant, rarement en vrai brouillard. Il se formait, selon toutes probabilités, dans les couches les plus inférieures de l'atmosphère. Souvent on constatait simultanément des phénomènes de halos, de parhélies, de cercle zénithal, de fontaines lumineuses au sommet du mât, lesquels semblaient généralement apparaître et disparaître avec lui (2).

Il était plus difficile à étudier que la neige proprement dite. En effet, ses individus, très petits et très fins, ne trahissaient d'ordinaire leur présence que par des points brillant dans l'air et descendant avec une lenteur extrême, faits qui, joints à leur évaporation rapide et même à leur fonte sous la simple action de la chaleur du corps de l'observateur, rendaient des plus difficile la préparation microscopique. D'autres circonstances s'ajoutant, je n'observai que quelques fois au microscope cette précipitation intéressante.

C'étaient exclusivement des formes lamellaires, de diamètre dépassant rarement 1 millimètre et très communément inférieur à $0^{mm},5$, ordinairement en lamelles hexagonales simples ou en étoiles le plus souvent à champ central. Parmi les étoiles dépourvues de champ central, je

(1) Nombre d'observations où le poudrin a été noté : 55 (chiffre sans doute trop bas) ; température moyenne : $-19^{o},0$; température maximale : $-7^{o},3$; température minimale : $-36^{o},5$.

(2) Voir, dans la présente collection, le journal des phénomènes optiques observés pendant l'hivernage de la Belgica, rédigé par H. Arctowski.

n'en ai jamais vu à rayons portant des appendices bien développés. Les formes frappaient par leur beauté, due à une symétrie parfaite, à leur finesse, leur poli, leur éclat, leur transparence.

Quant à leur structure, on y remarquait des lignes d'épaississement, des lignes d'accroissement latéral, des lignes limitant des lamelles internes, des cavités, tout comme dans la neige lamellaire ordinaire. Quelques-uns des exemples observés sont représentés dans la figure 25 (au premier stade d'évaporation, éventuellement de fonte).

Parfois, sur les spécimens les plus épais, j'ai pu présumer, de la présence d'une bordure foncée, la troncature des arêtes.

Les individus montraient une tendance très marquée à former, par leurs faces basales, des groupements réguliers, centraux ou excentriques.

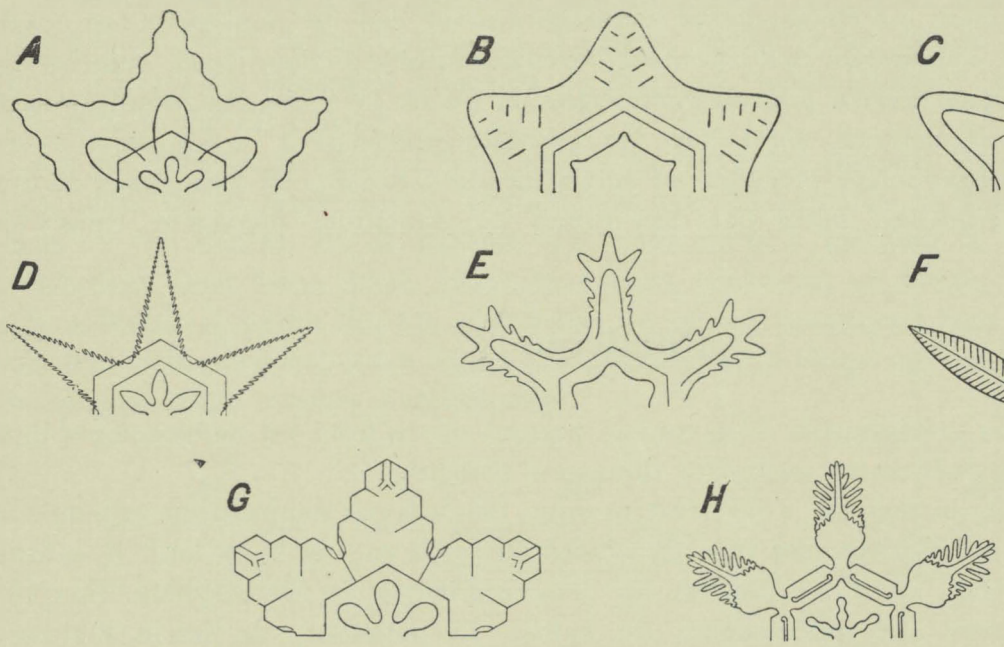


FIG. 25

Neige couverte de givre.

Dans nos parages, la formation du givre aux dépens des particules de la brume aussi bien qu'aux dépens de la vapeur invisible, était un phénomène journalier. Évidemment, il pouvait se déposer sur l'eau solidifiée comme sur des substances étrangères, saupoudrant alors ou hérissant de jolis bouquets la glace fraîchement formée dans les fentes du pack, ou se développant, sous les yeux, sur la neige tombée. Il est tout naturel aussi que la neige puisse se couvrir de givre pendant sa chute même.

En effet, dans la majorité des cas, les formes de neige montraient un dépôt de givre, tout à fait analogue d'ailleurs à celui qui se déposait sur des objets quelconques; seulement, le support étant ici un cristal et de même substance, on constatait naturellement, dans le cas de givre cristallin, une orientation, parfois un arrangement déterminés des éléments de celui-ci.

Le plus souvent on l'observait sur la neige aciculaire, qui plutôt rarement était lisse, et sur les étoiles dendritiques ; le moins souvent sur la neige prismatique.

L'abondance du dépôt et le développement de ses éléments variaient suivant la chute, suivant le moment et dans le même moment d'une chute. Les formes absolument lisses à un moment donné (par exemple au début) pouvaient montrer successivement un dépôt de plus en plus abondant et de plus en plus développé, ou inversement. Il pouvait varier aussi sur le même individu suivant les portions envisagées, et pouvait aller non seulement jusqu'à couvrir complètement le support, mais encore jusqu'à en masquer tout à fait les contours et à le rendre absolument méconnaissable. L'abondance de givre pouvait parfois varier nettement suivant les différentes espèces de neige tombant *simultanément ;* ainsi, une fois, des étoiles tombant en même temps que des aiguilles, les premières étaient fortement recouvertes, les secondes très faiblement.

Le givre d'aspect amorphe, c'est-à-dire sans limites cristallines reconnaissables, semblait ici, comme dans le givre ordinaire, se produire de préférence dans la brume et à des températures plus élevées; le givre cristallin, à des températures plus basses. A défaut d'étude des phénomènes optiques, je ne saurais évidemment dire si les formes de givre, amorphes extérieurement, l'étaient aussi intérieurement.

Givre granuleux.

Le plus commun.

Forme. Grains :

a) D'aspect amorphe, comme de simples gouttelettes d'eau figées ;

b) D'aspect cristallin : prismes simples ; prismes à troncature sur les arêtes de la base, donc surmontés d'une (?) ou de deux pyramides pointues ou tronquées ; pyramides simples (?) ou doubles. Le prisme simple et la combinaison du prisme avec la pyramide tronquée étaient les formes cristallines les plus communes. La différence entre la longueur et l'épaisseur des grains n'était généralement pas très sensible ; les prismes considérablement allongés suivant l'axe principal étaient peu fréquents, moins encore les prismes fortement aplatis, c'est-à-dire en lamelles.

Les grains d'aspect amorphe et ceux d'aspect cristallin coexistaient très souvent sur le même support, leurs dimensions oscillant sensiblement dans les mêmes limites. En outre, toujours sur un même support, on trouvait des grains que l'on aurait dit d'aspect intermédiaire (grains d'aspect amorphe tendant à la forme polyédrique ; grains cristallins à arêtes et angles peu distincts).

Dimensions : Toujours au-dessous d'un dixième de millimètre ; variables, une certaine grandeur moyenne, oscillant dans des limites restreintes, semblant pourtant prédominer. Les grains juxtaposés pouvaient parfois se fusionner plus ou moins ; il en résultait des grains composés, de dimensions anormales ; et comme les grains cristallins étaient orientés uniformément, conformément au cristal support, une telle fusion pouvait simuler un simple individu, qui lors de la fonte pouvait trahir son origine composée.

Dans la figure 26 sont reproduits, dans la position sous laquelle ils se sont présentés, des grains de givre observés au microscope.

1. *Sur la neige lamellaire* (surtout sur les étoiles dendritiques). Sur une face basale de la lamelle, les grains cristallins semblaient toujours fixés de façon que leurs axes principal

et secondaires fussent parallèles à ceux du support ; sur un bord, donc sur une face latérale, leur mode de fixation était difficile à saisir ; souvent pourtant j'ai pu voir leur axe principal parallèle au plan basal du support et perpendiculaire au bord correspondant.

Les grains pouvaient être développés sur les deux faces basales du support, et généralement alors sur l'une plus que sur l'autre ; ils pouvaient aussi n'intéresser qu'une seule face ; ces diverses alternatives s'expliquent facilement.

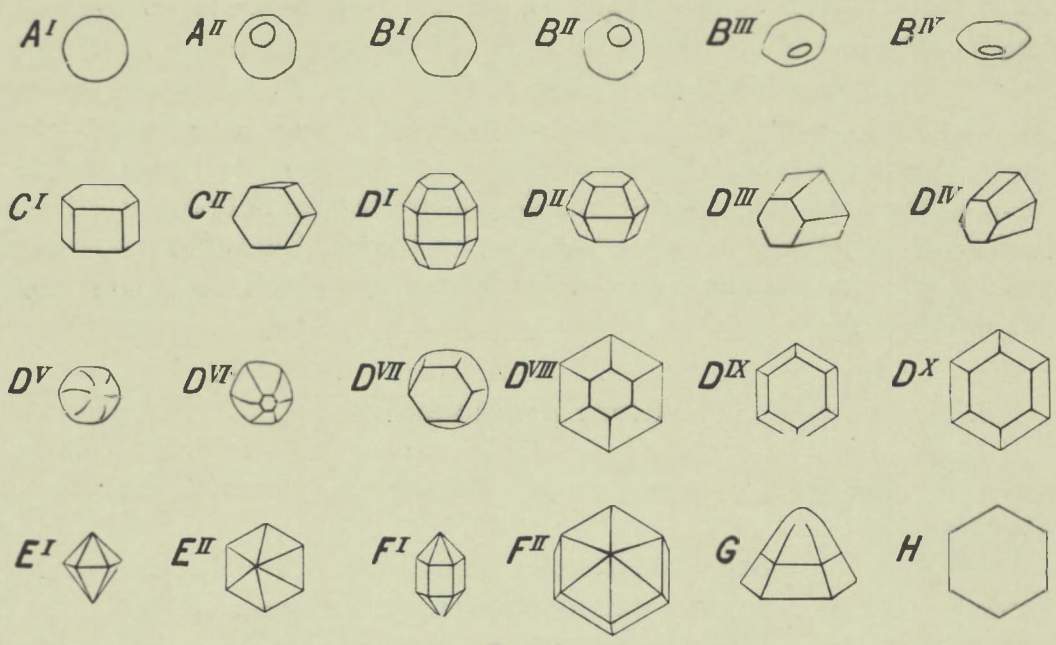


FIG. 26

Leur répartition sur une même face pouvait être irrégulière, très capricieuse : par exemple, certains rayons de l'étoile couverts totalement, les autres peu ou point. Mais la tendance à une localisation plutôt périphérique était bien marquée ; souvent les deux régions, centrale et périphérique, étaient nettement séparées ; ainsi il arrivait que les hexagones incomplets terminaux des rayons étaient couverts de givre, tout le reste en étant totalement dépourvu. La tendance inverse était plutôt rare et ne s'accusait nettement que dès le moment où le dépôt de givre se composait de plus d'une couche.

L'accroissement latéral des grains juxtaposés d'une même face pouvait en amener la fusion, d'où des grains composés, des formations bizarres, un réseau capricieux.

Dans les cas de givre relativement peu abondant, l'étoile conservait encore ses particularités de forme, seulement la surface perdait son aspect lisse, délicat, et devenait rugueuse, grossière. Si le givre était plus abondant, les contours des rayons et des appendices se déformaient, ceux-ci se soudaient, mais les limites globales de l'étoile étaient encore reconnaissables. A partir de ce stade du développement du givre, la surface de l'étoile paraissait, à l'œil nu, ou bien absolument couverte de rugosités, prenant ainsi un aspect grossièrement grenu, ou, au contraire, tout à fait lisse, d'un blanc d'éclat faible, comme enduite de chaux. L'étude microscopique a montré que dans ce dernier cas les grains, de grandeur plus ou moins uniforme, bien serrés, étaient disposés plus ou moins uniformément, sans lacunes ni encombrements locaux, et que dans le premier cas l'inverse avait lieu. — A un stade

encore plus avancé, on a, quelle que soit la forme primitive du support, une plaque épaisse, lourde, à contour vaguement polygonal, montrant encore les six côtés ou seulement cinq ou quatre. — Enfin, quand le dépôt de givre se présentait en couches superposées, la forme lamellaire disparaissait et l'on arrivait, par des séries de formes de transition, ou bien à une motte irrégulière, plus ou moins isodiamétrique, ou bien à des *formations pyramidoïdes*. Ces dernières impliquent une tendance progressive des grains à se localiser vers le centre du support et à étager, sur une face de celui-ci, des couches successives de diamètre décroissant. Parfois une telle formation, vue d'en haut, au faible grossissement, montrait une série de lignes concentriques, alternativement sombres et claires, représentant les limites de ces couches. Comme on pouvait le prévoir, ces pyramidoïdes étaient ou bien simples, à base plane ou plus ou moins convexe, ou bien doubles, l'un des composants étant moins développé, c'est-à-dire moins haut que l'autre ; la base, comme les plaques épaisses dont nous avons parlé plus haut, était vaguement polygonale, à six, cinq ou quatre côtés encore distincts ; les angles et les arêtes étaient arrondis et souvent très peu distincts, d'où l'aspect plutôt conoïde du spécimen ; la hauteur des pyramidoïdes d'une même chute était variable, tandis que le diamètre de la base changeait peu ; le sommet était arrondi ; la pyramide pouvait être tronquée à différentes hauteurs (suivant différents stades), la troncature pouvant être plane ou bombée. Les dessins de la figure 27 en représentent des exemples (C^I, C^{II}, vus d'en haut ; D^I, D^{II}, D^{III}, vus de profil). Les formes de transition se présentaient en formations plano-convexes ou biconvexes, souvent encore à six pointes de rayons distinctes (exemple fig. 27, A^I, A^{II}, face ; B^I, B^{II}, profil) (1).

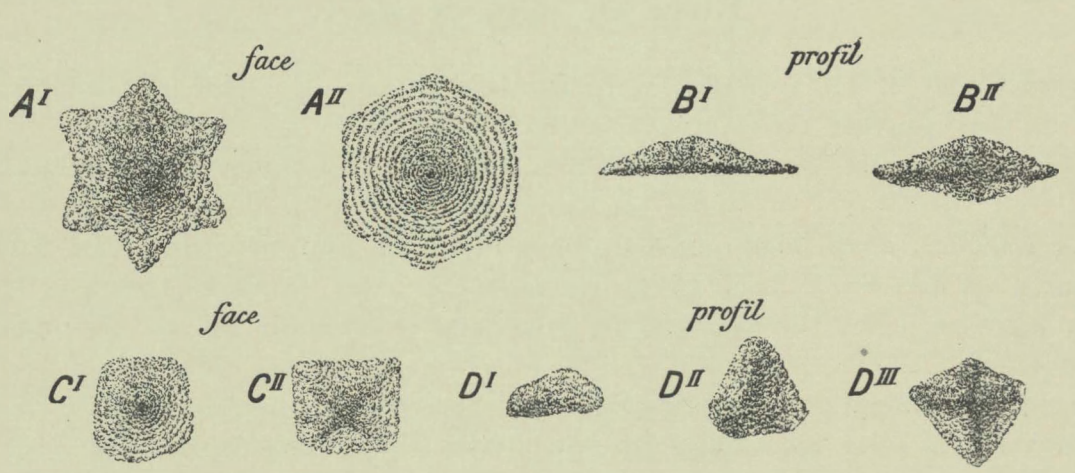


FIG. 27

2. *Sur la neige prismatique.*

Dans les grains cristallins, le prisme simple semblait la forme de beaucoup dominante ; ils étaient aussi plus souvent allongés que sur les lamelles, et alors fort minces.

Dans les cas où les prismes de neige cédaient la place à des formations lamellaires

(1) Des formations analogues ont été observées par PÉNARD : « Cristaux complètement recouverts, sur une ou deux faces, de globules d'eau figées. Parfois ces perles de glace s'allongent et donnent à l'étoile l'apparence d'une petite boule de neige aplatie aux deux pôles et garnie de six encoches sur ses méridiens. » (*Arch. des sc. phys. et natur.*, 1893, 30, pp. 658-660.)

qui leur semblaient apparentées, le givre montrait parfois une modification analogue et parallèle ; ainsi les grains prismatiques allongés étaient peu à peu remplacés, partiellement ou totalement, par des formes aplaties semblables à celles-ci.

Sur les faces latérales du prisme, les grains cristallins étaient généralement fixés, leur axe principal perpendiculaire à la face correspondante.

Les grains juxtaposés pouvaient se fusionner à des degrés variables, de même les grains superposés, d'où différentes formations irrégulières (croûtes, excroissances).

L'abondance du givre pouvait être telle qu'on n'avait plus sous les yeux qu'un amas grenu informe.

3. *Sur la neige aciculaire.*

L'aspect cristallin ne se présentait jamais de façon distincte, peut-être à cause de la fonte.

Sur les aiguilles simples, dont l'épaisseur ne différait le plus souvent pas sensiblement du diamètre des grains, entre autres dispositions permises par la forme du support, on pouvait trouver un ou plusieurs chapelets parallèles à l'axe de l'aiguille, ou, parfois, de courts chapelets perpendiculaires à cet axe, d'où l'aspect ramifié de l'aiguille. Les grains d'un chapelet pouvaient se fusionner à des degrés variables, et il pouvait éventuellement en résulter un bâtonnet longitudinal ou transversal, ne montrant que lors de la fusion son caractère composé. Nous avons vu que les aiguilles isolées semblaient parfois composées de grains alignés et soudés et que celles d'aspect uni pouvaient, dans le cours de leur fonte, se différencier en pièces analogues à des grains de givre.

Givre en soies de glace.

D'aspect tout à fait amorphe, il hérissait la surface des lamelles, des prismes et des aiguilles, le plus souvent recouverte déjà d'une couche de givre granuleux.

Souvent ces soies de glace étaient difficiles à distinguer des chapelets de grains fusionnés.

Des lamelles, aussi bien isolées que combinées aux prismes, elles n'intéressaient ordinairement qu'une seule face, fixées verticalement ; sur les faces latérales des prismes et sur les aiguilles, elles étaient aussi perpendiculaires (exemple fig. 28, *A*, prisme combiné à deux lamelles).

Quand elles étaient peu nombreuses, leur disposition était parfois régulière ; par exemple, on pouvait voir six soies identiques sur une même face d'une lamelle, fixées sur ses angles (éventuellement sur les extrémités des rayons). Dans deux cas, identiques à cet exemple, chaque paire de soies voisines était de plus reliée par une membrane de glace d'une minceur extrême, un bord appuyé sur la lamelle, l'autre concave. Comme schémas de cette disposition régulière, voir figure 28, B^I (face), B^{II} (profil), B^{III} (1).

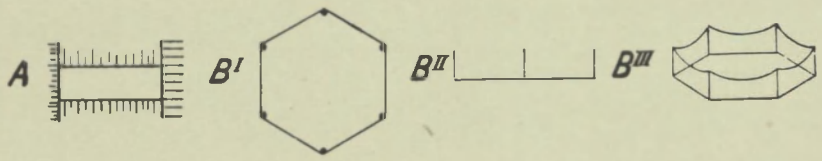


Fig. 28

(1) G. Nordenskjöld, qui avait observé ce même fait curieux, dit que ces soies étaient des prismes hexagonaux minuscules (l. c., chapitre : « Flocons de neige formés d'un amas de tables hexagonales », fig. 3). Dans mes observations, ces soies ne montraient aucunes limites cristallines.

Givre en buissons.

Observé exclusivement sur la neige lamellaire.

Le point de départ d'un buisson semblait un grain, de dimensions inférieures à la normale du givre granuleux. La première ébauche se présentait au microscope en petite excroissance, excessivement délicate, irrégulièrement zigzaguée ; les coudes de ce zigzag montraient un épaississement, souvent distinct comme un petit grain de givre, et une tendance à émettre des ramifications de même nature (fig. 29 ; *A*, grossissement faible ; *C*, fragment, grossissement moyen). A ce stade, le support apparaissait, à l'œil nu, comme saupoudré de farine.

A un stade plus avancé, le givre simulait des buissons morts, plus hauts que larges, la ramification se faisant dans tous les plans et de la façon la plus capricieuse (fig. 29, B^I, B^{II}).

Quant à la disposition de ce givre sur une même lamelle, elle était analogue à celle du givre granuleux, avec renforcement de la tendance vers la localisation périphérique.

Quand ils étaient suffisamment longs, on pouvait souvent estimer, plus ou moins grossièrement, surtout quand ils bordaient les limites latérales de la lamelle, le plan dans lequel ils se trouvaient, et l'angle qu'ils formaient avec le support ; cet angle, ouvert tantôt vers le centre, tantôt vers la périphérie, semblait généralement rapproché de 60° et se trouvait dans un plan vertical passant par le centre.

Dans les cas où les buissons bordaient les portions distales des rayons et étaient tous inclinés de même façon, il en résultait l'ébauche d'un *pyramidoïde creux*, chacune des faces triangulaires futures communiquant avec l'intérieur par une fente médiane. Les buissons continuant à se développer et à se multiplier sur la même face du support, sans toutefois en recouvrir le centre, on arrivait ainsi à une des deux formations pyramidoïdes suivantes : dans le cas où l'angle des buissons était ouvert vers le centre, on avait une pyramide à base formée par la lamelle support, à sommet tronqué à des hauteurs différentes suivant celles des buissons, à cavité axiale se rétrécissant vers le sommet et y affleurant, à faces trapézoïdes, se rapprochant du triangle, enfoncées suivant leur ligne médiane (fig. 29, D^I, D^{II}) ; dans le cas où l'angle des buissons était ouvert vers la périphérie, on avait une pyramide renversée, à sommet toujours tronqué, la surface de troncature étant donnée par la lamelle support, à base plus ou moins large suivant la longueur des buissons et formée par l'ensemble des extrémités de ceux-ci, à cavité axiale affleurant à la base (fig. 29, *E*). Dans les deux cas, la cavité axiale et les enfoncements médians des faces latérales étaient toujours plus ou moins

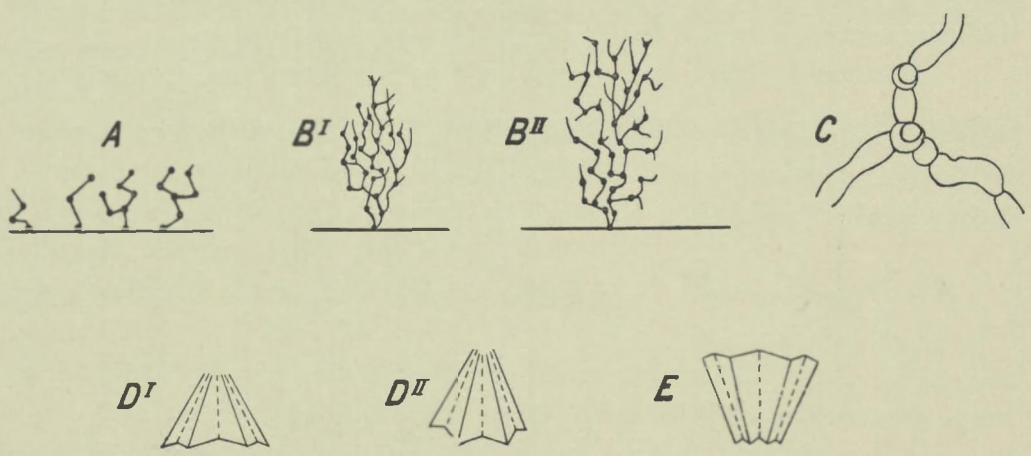


Fig. 29

distincts ; par contre, le support pouvait être masqué, quand un léger dépôt de givre se développait un peu sur la seconde face. On pouvait facilement dissocier ces pyramides, suivant des plans passant par l'axe, en six pièces, formées chacune des deux moitiés adjacentes de deux sextants voisins.

Givre en plumes.

Observé exclusivement sur la neige lamellaire.

C'étaient des tiges fines, portant des rameaux latéraux serrés, développés fortement ou très faiblement et inclinés sur elles de 60°. Les deux systèmes de branches, occupant les deux côtés d'une tige, se trouvaient d'ordinaire dans un même plan, plus rarement dans deux plans différents formant entre eux un angle variable.

Généralement ces plumes formaient des angles variables sur une même face du support; on remarquait pourtant le plus souvent l'angle rapproché de 60°, ouvert vers le centre ou la périphérie, et situé dans un plan perpendiculaire au support et passant par son centre. Parfois l'angle des plumes d'une lamelle était plus ou moins constant.

Quand elles atteignaient une longueur considérable sur une étoile dendritique, on aurait dit que l'on avait affaire à des rayons surnuméraires.

Leur abondance et leur développement ainsi que leur distribution sur un même support variaient de même façon que dans le givre granuleux. Elles pouvaient se fixer à plusieurs sur un même point, donnant ainsi de petits bouquets.

Quand elles étaient peu nombreuses, leur disposition était parfois régulière. Exemples :

a) Six plumes (trois dans le cas d'hémiédrie du support) identiques fixées aux angles de la lamelle (éventuellement aux extrémités des rayons), formant avec le support un angle de 60°, ouvert vers la périphérie et situé dans un plan vertical passant par les axes de la lamelle (éventuellement par les axes des rayons). (Fig. 30 ; A^I, face ; A^{II}, profil.)

b) Le même, mais où les plumes sont fixées vers le milieu des axes de la lamelle, à égale distance du centre. (Fig. 30 ; B^I, face ; B^{II}, profil.)

c) Le même, mais où les plumes sont fixées au centre. (Fig. 30; *C*, profil.) Dans ce dernier exemple, si le support était une étoile sans champ central, on obtenait une sorte d'étoile à rayons multiples disposés dans plusieurs plans.

Comme il était à prévoir, on trouvait aussi des formations pyramidoïdes tout à fait comparables à celles constituées par le givre en buissons.

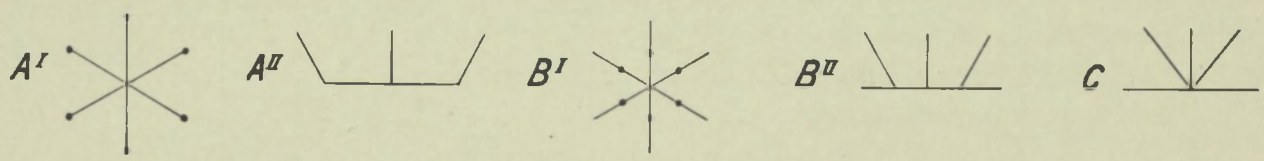


Fig. 30

Groupements de cristaux de neige.

La neige à givre cristallin représente l'agrégation d'un cristal de neige et de cristaux de givre. De tels agrégats supposent toujours un support primitif, qui est le cristal de neige, et le dépôt cristallin, qui est un phénomène ultérieur. Les individus de ce dernier sont ordinairement très petits et ne se retrouvent pas, en général, dans leur forme et dans leurs dimensions, comme cristaux isolés.

Dans les groupements dont nous allons parler ici, il est généralement difficile de distinguer, du moins d'une façon non arbitraire, un « support » et un « dépôt », ainsi que de se rendre compte si leurs éléments constitutifs étaient groupés dès l'origine ou non. Leurs éléments constitutifs se retrouvent généralement, dans leur forme et leurs dimensions, en individus isolés, souvent même à côté d'eux.

Parmi ceux que nous décrirons, il se peut qu'il se trouve des formes qui n'en aient que l'apparence.

Quelquefois j'ai remarqué, lors de la fonte, que certains de ces agrégats se dissociaient ou se laissaient facilement dissocier en leurs éléments constitutifs.

Il est à peine nécessaire de remarquer qu'entre la neige à givre cristallin et les groupements de cristaux de neige il n'existe pas de ligne de démarcation.

Agrégats montrant une certaine régularité.

Les agrégats radiaires de prismes hémimorphes, les combinaisons d'un prisme avec une ou plusieurs lamelles, et les faisceaux d'aiguilles parallèles ayant été mentionnés plus haut, il ne nous reste à parler que de ceux de la neige lamellaire.

Le parallélisme des bords est la règle générale.

A. *Agrégats de lamelles hexagonales simples parallèles.*

Très communs.

I. *Par leurs faces basales.*

1. *Les centres coïncident.* Naturellement, ces agrégats n'étaient distincts comme tels que lorsque les diamètres des lamelles agrégées différaient. Ils ont déjà été mentionnés dans le chapitre relatif aux cavités internes de la neige lamellaire. Une fois j'en ai observé un composé de quatre lamelles concentriques (fig. 31 ; A^{I}, face ; A^{II}, profil).

2. *Les centres ne coïncident pas.*

a) Coïncidence d'un axe secondaire (fig. 31, B^{I}). Quelquefois on avait six lamelles égales, relativement très petites, occupant les angles d'une centrale, plus grande (fig. 31, B^{II}); une fois ces six lamelles étaient allongées dans le sens de l'axe de coïncidence, donc radialement par rapport à la lamelle centrale (fig. 31, B^{III}).

b) Coïncidence d'une bissectrice du sextant (1) (fig. 31, *C*).

c) Arrangement quelconque.

II. *Par les bords ou les angles* (c'est-à-dire faces et arêtes latérales). Rares. Fig. 31, D^{I}-D^{IV}. J'ai vu une fois six lamelles hexagonales égales, relativement très petites, occupant les angles d'une centrale, plus grande (fig. 31, D^{IV}).

(1) Voir remarque (1) au bas de la page 19.

Remarque. Les agrégats de lamelles hexagonales parallèles en nombre suffisant montraient parfois une tendance à la formation d'une lamelle hexagonale composée. Figure 31, *E*, en est l'exemple le plus simple ; c'est un agrégat de trois lamelles constituant presque la moitié d'une lamelle d'ordre supérieur. Les schémas B^{II}, B^{III} montrent aussi une tendance analogue. La même tendance s'observait dans le givre.

B. *Agrégation parallèle et par les faces basales d'une étoile sans champ central avec des lamelles hexagonales simples.*

Ces lamelles, très minces, transparentes, sans structure, étaient très petites relativement à l'étoile. Leur localisation était le plus souvent centrale. Si elles étaient allongées, leur grand axe passait par le centre de l'étoile et pouvait coïncider avec celui-ci, soit par son milieu (cas rare), soit par un point quelconque, soit par un point qui serait le centre d'un hexagone régulier découpé aux dépens d'une extrémité de la lamelle allongée (fig. 31, *F*). De beaux exemples de cette agrégation, très commune, se trouvent dans les photographies de HELLMANN (Taf. I et IV, nos 5 et 6).

C. *Agrégation parallèle, par les faces basales, d'étoiles généralement sans champ central.*

I. *Agrégation centrale.*

1. *Les axes secondaires, donc les axes des rayons, coïncident.*

a) Deux étoiles entières : aspect d'une étoile entière en rayons doubles.

b) Une étoile entière, l'autre fragmentaire : aspect d'une étoile à six rayons, dont deux à cinq doubles.

c) Deux étoiles fragmentaires : tendance à se compléter mutuellement de façon à réaliser ou à se rapprocher d'une étoile entière (fig. 31, *G*). La figure 45 des photographies de G. NORDENSKJÖLD semble en présenter un exemple.

d) Une étoile, entière ou fragmentaire, combinée à un ou plusieurs « rayons » indépendants. L'extrémité supposée proximale de ces « rayons » supplémentaires coïncidait ou non avec le centre de l'étoile supposée entière ; c'était parfois leur extrémité distale qui était dirigée vers le centre du support. Même tendance que dans le cas précédent. Aspect : étoile composée, entière ou fragmentaire.

2. *Les axes secondaires, donc les axes des rayons, ne coïncident pas.* Aspect : étoile à douze rayons (les deux étoiles supposées entières). Le plus souvent les rayons d'une des étoiles formaient avec ceux de l'autre un angle de 30°, cet angle pouvant aussi être quelconque (fig. 31, H^{I}, H^{II}).

II. *Agrégation excentrique.*

Différents cas analogues, *mutatis mutandis*, à ceux d'agrégation centrale.

D. *Agrégation, par les faces basales, de lamelles hexagonales et de formations lamellaires allongées.*

L'ensemble donnant parfois une vraie étoile, entière ou fragmentaire, à rayons munis d'appendices (fig. 31, *J*).

E. *Agrégation autre que par les faces basales.*

Agrégation d'une étoile, généralement sans champ central, entière ou fragmentaire, et de fragments, réduits à un ou à deux rayons, fixés par leur pointe sur une ou sur les

deux faces du support. Analogie, quant à la variation de leur abondance et de leur répartition, avec les plumes de givre, dont ils diffèrent en ce qu'en même temps tombaient aussi des fragments identiques isolés. L'angle d'insertion de ces rayons surnuméraires était variable, mais tendait vers 60°; ordinairement il était ouvert vers la périphérie, rarement vers le centre du support. — Sur une même face, leur répartition était variable, tantôt quelconque, tantôt périphérique, tantôt centrale ; il y avait une tendance à la localisation suivant les axes secondaires, donc suivant les axes des rayons du support. Dans le cas où ces rayons surnuméraires étaient fixés au centre du support seulement, on avait l'aspect d'une étoile à rayons disposés dans plusieurs plans ; si, dans une telle formation, le centre était plus ou moins enveloppé de givre granuleux, les rayons semblaient partir d'un noyau grenu (genre 2, espèce *b* de Scoresby) ; si l'abondance de givre était suffisante, on arrivait à une motte grenue, hérissée encore de pointes (extrémités des rayons), ou même ne trahissant en rien son origine.

Remarque. Des agrégats montrant une certaine régularité et analogues à ceux que je viens de décrire, s'observaient aussi dans le givre.

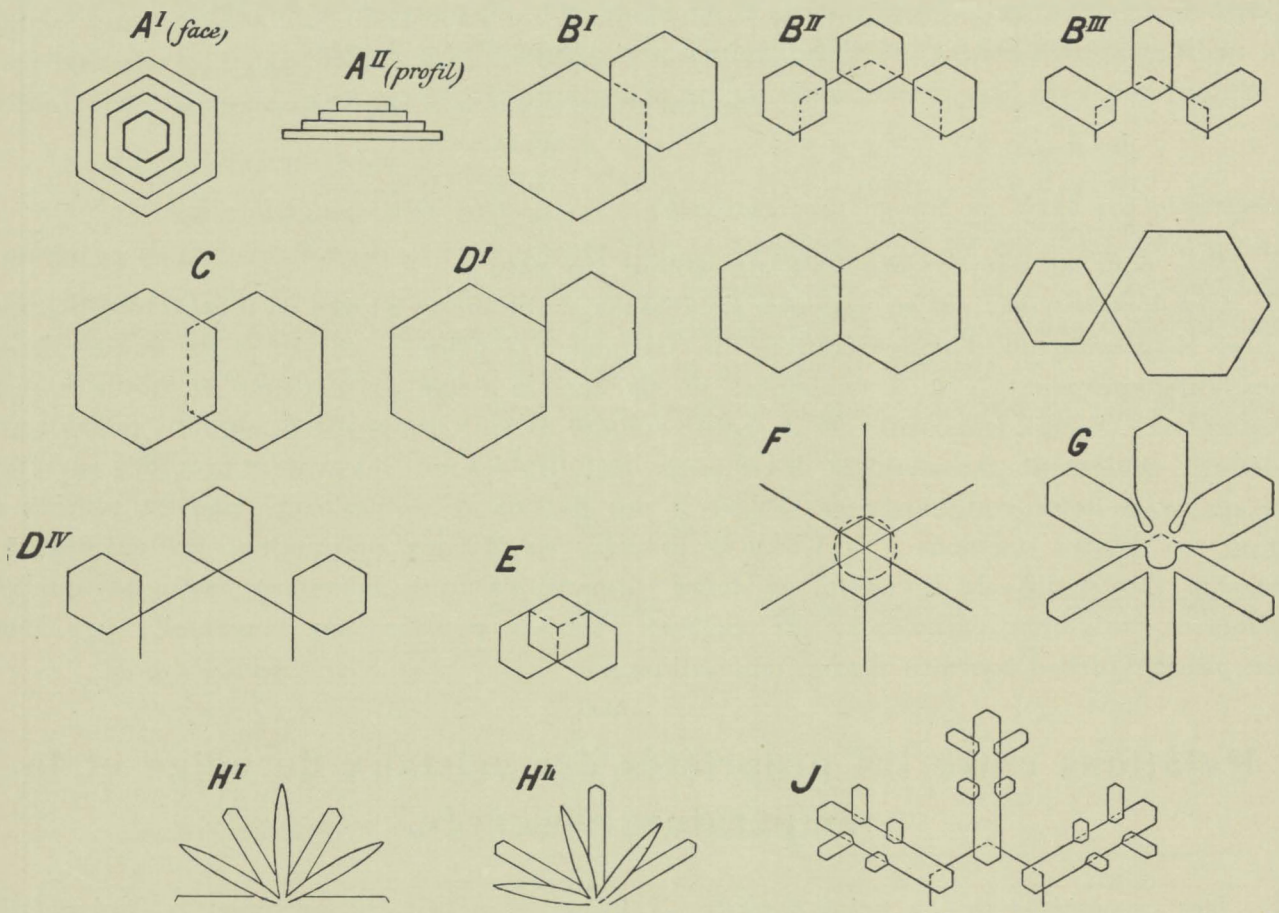


Fig. 31

Agglomérations irrégulières.

Elles semblaient tout à fait accidentelles et se composaient, en général, d'un plus grand nombre d'individus, ceux-ci d'une même espèce ou d'espèces différentes. Elles pouvaient

aussi représenter la réunion d'agrégats plus ou moins réguliers, et d'un autre côté se combiner entre elles en agglomérations d'ordre supérieur.

Souvent elles étaient bien compactes, surtout celles composées de prismes, et leurs éléments constitutifs peu distincts, surtout quand ils étaient déformés ou fragmentaires.

Le dépôt de givre masquait, naturellement, la forme des éléments, en donnant l'aspect d'une motte grenue informe.

Flocons de neige.

La neige en touffes d'éléments généralement non soudés n'était pas très fréquente dans nos régions :

Nombre d'observations de la neige non floconneuse : 890 ;

Nombre d'observations de la neige floconneuse : 283.

Celle-ci entre donc pour un quart à peine dans l'ensemble des observations où la distinction entre la neige floconneuse et la neige non floconneuse a été faite.

Elle n'apparaissait généralement qu'à des températures élevées :

Température :	Pour cent d'observations de la neige floconneuse :
de +1°,0 à —5°,0	83 %
de —5°,1 à —10°,0	9 %
au-dessous de —10°,0	8 %

d'où 45 % pour la température oscillant autour du zéro.

Les flocons pouvaient se composer de cristaux d'une même espèce ou d'espèces différentes, ou bien d'agrégats ou d'agglomérations de cristaux. La neige aciculaire et les étoiles dendritiques s'agglomeraient le plus facilement en flocons, la neige prismatique le moins souvent. Fréquemment, il était impossible de se rendre compte de leur composition, laquelle pouvait alors se déduire seulement par analogie des flocons déchiffrables qui les avaient précédés ou suivis ; ainsi on avait assez communément affaire à des flocons se pulvérisant, aussitôt tombés sur l'écran, en grains farineux. — Chose à prévoir, les flocons marquaient ordinairement le maximum d'intensité de la chute, et leurs dimensions, qui pouvaient atteindre quelques centimètres, suivaient l'abondance de celle-ci. Parfois pourtant on constatait, par temps calme, des chutes d'énormes flocons sporadiques.

Relations entre les propriétés des cristaux de neige et la température observée.

Les propriétés de la neige tombée — forme, structure, dimensions — doivent être l'expression des propriétés physiques des couches où elle s'est formée et par lesquelles elle a passé pendant sa chute, et même pendant sa montée, dans le cas d'air ascendant. Si cette relation était connue, on pourrait d'un de ses termes conclure à l'autre. Mais dans l'état actuel de nos connaissances, cette relation se présente encore, pour ainsi dire, en équation avec deux inconnues. Deux méthodes pourraient concourir à la déterminer : l'une, par excellence cristallographique et expérimentale, c'est-à-dire la production artificielle des cristaux

de neige dans différentes conditions ; l'autre, météorologique, c'est-à-dire la recherche de données sur l'état physique des couches dans lesquelles la neige se forme et par lesquelles elle passe.

La première voie n'a pas encore été explorée, vu les difficultés dont elle est hérissée. L'étude du givre, précipitation qui présente nombre de formes et de structures rencontrées dans la neige, et des conditions dans lesquelles il se forme, y pourrait peut-être suppléer partiellement.

Quant à la seconde méthode, elle a été utilisée partiellement, pendant de longues années, par W. A. Bentley et avec succès. La relation entre le caractère et les différentes portions d'une tempête d'un côté, entre la forme et la structure de la neige de l'autre, en est le principal résultat. Bentley croit que l'on pourrait arriver à des résultats plus positifs encore par des observations simultanées sur un réseau de stations suffisamment serré.

Partant de comparaisons directes entre les propriétés de la neige et les données météorologiques concomitantes prises *à la surface du sol*, il semble difficile d'établir des relations positives ; en effet, ces données ne correspondent pas nécessairement à celles des régions plus élevées de l'atmosphère. J'ai cherché une relation possible entre certaines propriétés de la neige (forme et dimensions) et la température observée au niveau de notre station d'hivernage. Les résultats, comme on le verra, ne semblent pas bien concluants.

1. *Température et forme.*

Parmi les nouveaux investigateurs, G. Hellmann a cherché si, dans ses observations, à certaines limites de température correspondait la prédominance de certaines formes. Ayant envisagé la forme lamellaire, il est arrivé à un résultat tout à fait défini : son calcul montre très distinctement qu'avec l'abaissement de la température la fréquence des lamelles hexagonales augmente, et que celle des étoiles sans champ central diminue.

Les tableaux ci-dessous montrent ce qui semblait se passer au cours de mes observations.

Tableau I.

	Neige lamellaire.	Neige prismatique.	Neige aciculaire.
Nombre d'observations :	454	213	206
de +1°,0 à —5°,0	52.2 %	62.5 %	84.6 %
de —5°,1 à —10°,0	23.6 %	24.4 %	12.9 %
de —10°,1 à —15°,0	18.9 %	13.1 %	2.5 %
au-dessous de —15°,0	5.3 %	—	
	100.0	100.0	100.0
de +1°,0 à —2°,5	30.3 %	43.2 %	66.2 %
Température moyenne	—5°,9	—4°,4	—2°,4
Température minima	—21°,9	—14°,7	—17°,6
Température maxima	+1°,4	+1°,0	+1°,1

TABLEAU II.

	Étoiles sans champ central, appendices bien développés.	Étoiles sans champ central, appendices rudimentaires ou nuls.	Lamelles hexagonales simples, lamelles étoilées à champ central considérable relativement aux rayons.
Nombre d'observations :	140	35	161
de +1°,0 à —5°,0	43.6 %	8.6 %	59.6 %
de —5°,1 à —10°,0	22.9 %	34.3 %	21.1 %
de —10°,1 à —15°,0	27.8 %	54.3 %	13.0 %
au-dessous de —15°,0	5.7 %	2.8 %	6.3 %
	100.0	100.0	100.0
Température moyenne	—7°,3	—10°,0	—5°,1
Température minima	—21°,9	—19°,8	—19°,8
Température maxima	+0°,7	+0°,5	+0°,8

2. *Température et dimensions.*

Il est à prévoir à priori que plus la température de formation sera basse, plus les cristaux de neige, *ceteris paribus,* seront petits, la quantité de vapeur diminuant avec l'abaissement de la température. Mais les données de la station peuvent ne pas toujours démontrer cette relation, la température des couches inférieures de l'atmosphère pouvant notablement différer de celle des couches supérieures.

Le tableau de G. HELLMANN montre cette relation d'une façon évidente. Ayant envisagé les étoiles sans champ central, cet auteur a calculé, d'après ses microphotographies, que les dimensions des cristaux de cette classe diminuent très nettement avec la température et à peu près dans les mêmes proportions que la quantité de vapeur.

Les dimensions étant aussi fonction de la forme, j'ai pris, dans la neige lamellaire, une forme tout à fait définie et assez fréquente, la lamelle hexagonale simple.

Limites de température :	Nombre d'observations :	Diamètre moyen :
de +1°,0 à —2°,5	30	1mm,6
de —2°,6 à —5°,0	13	1mm,6
de —5°,1 à —7°,5	5	1mm,7
de —7°,6 à —10°,0	9	1mm,4
de —10°,1 à —12°,5	6	1mm,3
de —12°,6 à —15°,0	6	1mm,0
au-dessous de —15°,0	7	0mm,7
	76	

Entre les dimensions des prismes et des aiguilles et la température, je n'ai remarqué aucune relation bien définie.

Remarque. Dans le *poudrin*, où je n'ai jamais trouvé que des formes lamellaires, les étoiles sans champ central étaient rares, et je ne leur ai jamais vu d'appendices plus ou

moins développés. Ces cristaux étaient aussi en moyenne plus petits que ceux des chutes ordinaires, et leurs dimensions maximales étaient de beaucoup inférieures à celles que pouvaient atteindre les spécimens de la neige proprement dite. Le poudrin apparaissant ordinairement à des températures basses, ces faits semblent donc montrer une relation nette entre la température d'un côté, la forme et les dimensions de l'autre. Mais il se peut qu'ils montrent simplement que les cristaux de poudrin, formés probablement dans les couches tout à fait basses, sont en moyenne moins développés que les cristaux de la neige ordinaire, formés dans les couches plus ou moins élevées et pouvant s'accroître encore pendant leur chute.

SECONDE PARTIE

QUELQUES OBSERVATIONS SUR LE GIVRE

Cette espèce de précipitation montre des formes excessivement nombreuses et souvent très compliquées, parmi lesquelles beaucoup sont analogues à des cristaux et groupements de cristaux de neige. Le refroidissement rapide de la vapeur ou des gouttelettes de bruine en contact avec un écran froid, peut-être aussi la forte adhérence et l'inégalité de la surface du support, fût-elle même apparemment tout à fait unie, sont probablement certains des facteurs concourant à la variabilité et à la complexité des figures du givre.

L'étude du givre me paraît d'une grande importance, car les conditions extérieures de sa formation (état de l'atmosphère, caractère du support, etc.) pouvant être, du moins en partie, déterminées, et les difficultés techniques de l'observation microscopique directe de son développement n'étant pas insurmontables, on pourrait peut-être trouver ici l'explication de maintes propriétés morphologiques et structurales de la neige, dont les conditions de formation ne nous sont généralement pas accessibles.

Phénomène journalier dans nos parages, c'était là une occasion de l'étudier systématiquement et, avec une bonne installation pour l'étude microscopique, on aurait pu toujours attendre l'apparition des premières ébauches et en suivre directement le développement. Malheureusement, différentes circonstances, notamment d'autres occupations, ne m'ont pas permis d'en profiter pour faire, de certaines questions que j'aurais pu me poser, une étude systématique, en poursuivant une série suffisante d'observations.

Je me borne donc ici à citer simplement quelques observations choisies parmi les moins superficielles et les moins hâtives. De ces observations détachées, sans reproductions microphotographiques, sans étude des phénomènes optiques, sans observation directe du développement, l'auteur ne s'excuse que par la pauvreté relative des données que nous possédons sur le givre.

Pour l'étude macroscopique du développement progressif du givre pendant la journée, je fixai verticalement sur le toit de l'abri météorologique un tube de verre, que je nettoyais le matin et le soir ; le couvercle en bronze de la boussole servait de second écran plus ou moins lisse. Sur ces supports, le givre ne se développait d'abord qu'en surface. Ainsi on avait premièrement un rare semis, puis des groupes d'étendue diverse, enfin, si les conditions favorables persistaient, on arrivait à une mince croûte étalée, composée d'éléments plus ou moins serrés (grains, lamelles, arborescences, gerbes, etc.). Cette couche, que j'appelle *horizontale,* couvrait d'abord la seule surface exposée au courant d'air et, dans des conditions favorables, s'étendait progressivement sur la face opposée. Deux couches horizontales pouvaient se superposer ; la couche secondaire, d'ordinaire invisible à l'œil nu, était alors disséminée sur la couche primaire en de petites formations qui çà et là s'accroissaient latéralement,

n'atteignant cependant jamais une étendue considérable. — Lorsque les conditions favorables persistaient, le givre, à un moment donné, se développait sur la couche horizontale principalement dans une direction plus ou moins verticale par rapport à cette couche. En général, on voyait d'abord des grains distincts à l'œil nu qui, s'accroissant, donnaient des bâtonnets, aiguilles, buissons, plumes, dont le nombre et les dimensions augmentaient progressivement. Comme la couche horizontale, cette *couche verticale* s'étendait, dans des conditions favorables, progressivement de la face du support exposée au courant d'air à la face opposée. Il pouvait y avoir une couche verticale secondaire : par exemple la surface des plumes se couvrait, à un moment donné et progressivement, de petits bouquets ou buissons très délicats la saupoudrant.

Pour l'étude microscopique j'ai employé, outre le givre recueilli sur des objets divers, des porte-objets, qu'après avoir soigneusement essuyés et laissé refroidir, j'exposais au courant d'air et examinais dès l'apparition de la couche horizontale.

COUCHE HORIZONTALE

Le 8 octobre 1898, matin

Givre développé à la face interne de la vitre du couvercle du compas, la chambre en étant tout à fait close. Les formes ont été observées *à la loupe* à travers cette fenêtre, c'est-à-dire par leurs faces adhérentes au verre.

État de l'atmosphère. Température : —15°,3 (minuit), —17°,7 (5h), —12°,7 (midi). Ciel clair.

I. *Formes sans limites cristallines distinctes.*

1) Tiges, de dimensions variables; isolées ou groupées de façon tout accidentelle; à ramifications très serrées, unilatérales ou, plus souvent, bilatérales. Forme prédominante. Les tiges et ramifications étaient rectilignes ou courbes. Dans le premier cas, l'angle des branches était variable, mais toujours le même du même côté d'une tige; parfois les branches se correspondant des deux côtés de la tige étaient sur la même droite.

2) Trois, quatre ou un grand nombre de tiges ramifiées du type précédent, groupées de façon à constituer une étoile irrégulière, à centre indéterminé, de dimensions variables.

3) Formes étoilées dont les rayons et leurs ramifications étaient peu distincts, soudés pour la plupart, et composés de petits *grains* d'aspect cristallin. Nombre de rayons variable. Rares. Diamètre, 2-4 millimètres.

4) Étoiles à rayons simples plus ou moins distincts et presque partout composés de petits *grains*. Nombre de rayons variable, toujours > 6. Rares. Diamètre, 2-3 millimètres. Figure 32, *A*.

II. *Formes à limites cristallines distinctes.* Rares. Petites. Arêtes rectilignes; angles nets.

1) *Lamelles hexagonales simples* régulières. La figure 32, *B*, en donne un exemple (diamètre, 1 millimètre environ). Au centre, une petite figure hexagonale, centrée elle-même par une rosette, et entourée d'un système de *cavités internes*. Plus en dehors, une figure hexagonale à angles saillants.

2) *Formes intermédiaires entre la lamelle hexagonale simple et l'étoile.* La figure 32, *C*, en donne une curieuse. Du champ central partent quatre pétales. Deux d'entre eux présentent une ligne axiale; tous montrent de très fines stries latérales courbes plus ou moins distinctes. Le champ central est constitué par une formation étoilée, à rayons peu distincts, à structure *granuleuse*.

3) *Lamelles étoilées à champ central* plus ou moins important. Six rayons, à surface souvent convexe, d'inégale longueur. Les rayons diminuaient de longueur généralement d'une extrémité de l'étoile à l'extrémité opposée. Si r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6 représentent les rayons d'une étoile d'après leurs longueurs croissantes, j'ai souvent remarqué que r_6 et r_1, r_5 et r_2, r_4 et r_3 étaient opposés. Les rayons se terminaient toujours en hexagone incomplet. Exemples :

Figure 32, *D*. Le diamètre r_6-$r_1 = 2^{mm},5$. Chaque rayon présente une ligne axiale et de très fines striations latérales, en général courbes (rectilignes seulement sur r_1). r_6 et r_5 montrent des saillies latérales, symétriques ou asymétriques. Les rayons les plus longs montrent vers leur extrémité des *canalicules internes* symétriques, parallèles aux côtés distaux du rayon. Au centre même de l'étoile on voit une double figure hexagonale incomplète; celle-ci est entourée d'une formation hexagonale, allongée légèrement dans le sens r_3-r_1, à contour interne indécis, à côtés légèrement concaves, à angles saillants, à structure *granuleuse*.

Figure 32, *E*. r_1 manque complètement. Dans les hexagones incomplets terminaux de r_6 et r_5, d'un point de la ligne médiane situé dans leur partie proximale, partent des lignes droites vers les angles ; les triangles ainsi formés montrent des stries serrées, parallèles à leurs bases, se correspondant d'un triangle à l'autre, rectilignes dans r_5, courbes dans r_6. Une figure étoilée *h*, incomplète, à contours courbes, très fins, est inscrite dans l'étoile. Plus en dedans, une autre figure (*h'*) en hexagone incomplet, à côtés rectilignes ; là où la ligne médiane de r_6 atteint l'un des angles de cette figure, on distingue une rosette à quatre pétales. Une partie considérable du champ central est constituée par une matière *granuleuse*, d'où partent deux petits rayons comparables à ceux d'étoiles du type *A* de la figure 32. A certains angles des hexagones incomplets terminaux de r_6 et r_5 étaient fixées, dans le même plan, des *formations granuleuses ;* leurs grains constitutifs, d'aspect cristallin, étaient de dimensions variables et les plus petits étaient très peu distincts. Un semblable amas de grains plus grand, fixé à r_6, montrait une tendance à la forme hexagonale ; les côtés étaient sensiblement parallèles aux côtés de l'hexagone incomplet terminal du rayon et présentaient des échancrures analogues à celles du rayon Une des saillies latérales du rayon r_5 montrait en un certain point une structure *granuleuse.*

D'abord, j'avais supposé que les formations granuleuses centrales servaient simplement de support aux étoiles. Mais ayant enlevé le couvercle du compas et observant les étoiles par leur autre face, j'ai vu que ces formations *constituaient* la partie centrale du corps même des étoiles.

Dans cette observation, et dans beaucoup d'autres, j'ai noté des formes étoilées implantées dans un champ de givre granuleux ; elles étaient entourées chacune d'une zone tout à fait libre. Cette zone (*Hof* des Allemands), montrant que ces étoiles ont été formées aux dépens de la substance du givre granuleux avoisinant, est, comme on le sait, un phénomène très commun pour d'autres substances cristallisables.

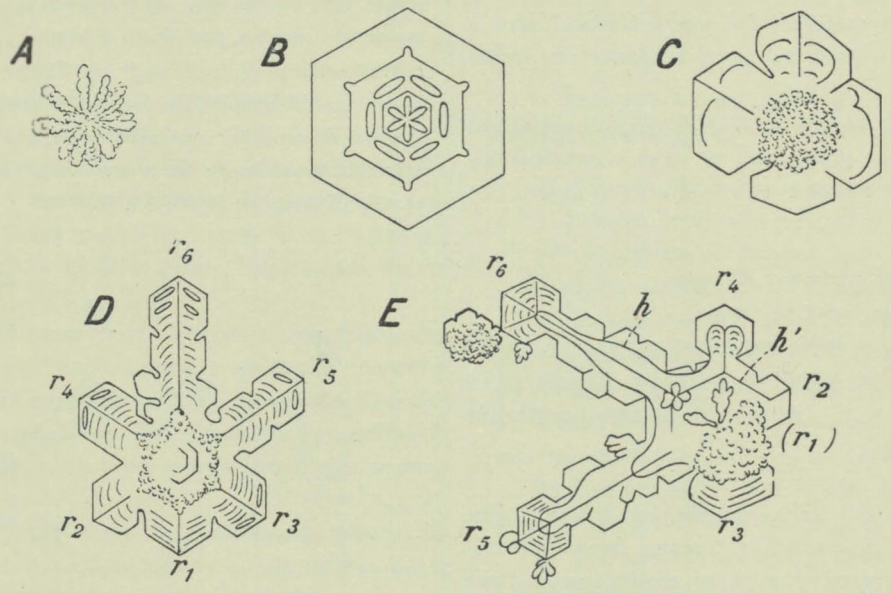


FIG. 32

Le 9 octobre 1898, matin

État de l'atmosphère. Température : —12°,7 (midi de la veille), —11°,9 (17^h de la veille), —13°,3 (minuit), —8°,5 (8^h), —6°,0 (midi). Comme la veille, ciel clair ou légèrement couvert.

Observation des changements que les figures de la veille avaient subis.

Figure 32, *B*. Intacte.

Figure 32, *C*. La formation granuleuse constituant le champ central s'était étendue jusqu'à l'intérieur des pétales, surtout dans les plus longs (le supérieur et le gauche).

Figure 32, *D*. Double hexagone incomplet interne resté intact. La matière granuleuse avait envahi tous les rayons ; les rayons les plus longs (r_6, r_5, r_4) avaient été remplacés par trois rayons de mêmes dimensions, mais déformés, de structure granuleuse, serrés entre eux, munis de nombreuses branches courtes, peu distinctes, granuleuses aussi ; des trois autres rayons, les extrémités seules étaient restées intactes.

Figure 32, *E*. La formation granuleuse du champ central s'était étendue principalement dans la direction du rayon manquant (r_1) et de plus envahissait lentement et progressivement le rayon inférieur de haut en bas et de gauche à droite. La racine de r_5 montrait une structure granuleuse. Les amas granuleux fixés aux angles des hexagones terminaux incomplets avaient augmenté en nombre et en étendue.

Le 21 octobre 1898, vers 8^h matin

Givre développé pendant la nuit du 20 au 21 octobre sur la face interne de la vitre du couvercle du compas, la chambre en étant tout à fait close. Observé *à la loupe*.

État de l'atmosphère. Température : —6°,9 (18^h la veille), —7°,9 (minuit), — 14°,2 (6^h), —13°,8 (7^h), —13°,9 (8^h). Brume, bruine ou fine neige jusqu'à 4^h; puis le ciel s'éclaircit.

I. *Formes sans limites cristallines distinctes* (prédominantes).

1) Arborescences isolées ou groupées irrégulièrement, composées de tiges courbes à ramifications unilatérales ou, la plupart, bilatérales, courbes aussi, très rapprochées. Dimensions variables.

2) Touffes stellaires, où les tiges ramifiées du type précédent, nombreuses et très serrées, étaient arrangées de façon à former une étoile irrégulière, à centre encore mal déterminé, et se confondaient par leurs extrémités proximales en une masse compacte.

3) Trois à six tiges ramifiées du type précédent, mais à courbure très légère, réunies de façon à former une étoile à 3-6 rayons distincts.

4) Étoiles dont les rayons rectilignes (parfois seulement légèrement sinueux) se présentent en tiges à ramifications légèrement courbes, formant entre elles un angle très rapproché de 60°.

II. *Formes à limites cristallines distinctes*.

Arêtes et angles en général nets.

1) *Lamelles hexagonales simples* régulières; diamètre variable, de 0^{mm},5 à 1^{mm},0. Homogènes ou à figures internes (trois diagonales passant par le centre ; hexagones inscrits très nombreux, équidistants).

2) *Formes étoilées*.

a) Lamelles étoilées à six rayons simples émanant d'un champ central plus ou moins étendu. Comme dans l'observation du 8 octobre, les rayons diminuent généralement d'une extrémité de l'étoile à l'extrémité opposée et souvent r_6 et r_1, r_5 et r_2, r_4 et r_3 sont opposés. Le diamètre varie de 1 à 2 millimètres. La figure 33, *A*, en donne un exemple avec certaines particularités : les rayons sont ici représentés par des hexagones incomplets dont les angles, dans les rayons r_6, r_5, r_4, sont légèrement émoussés, peut-être par évaporation; ils montraient une ligne axiale et des stries latérales courbes, très serrées et très fines; le centre de la lamelle montrait un noyau en petite étoile se distinguant nettement par son éclat; bientôt la lamelle étoilée a disparu par évaporation, mais l'étoile centrale était restée intacte.

b) Étoiles sans champ central, à six rayons terminés en hexagone incomplet, inégaux, cette irrégularité montrant les particularités indiquées plus haut. Le diamètre variait de 2 à 4 millimètres. Chaque rayon montrait une ligne axiale. Dans les hexagones incomplets terminaux, d'un point de la ligne médiane rapproché de leur partie proximale, partent des lignes vers les angles; les triangles ainsi formés montrent des stries très serrées, parallèles à leurs bases, équidistantes et se correspondant d'un triangle à l'autre. Les deux bords du rayon sont échancrés de façon à présenter deux séries symétriques de saillies; ces saillies se développent rarement en appendices à forme et à structure semblables à celles du rayon. Exemple : figure 33, *B*.

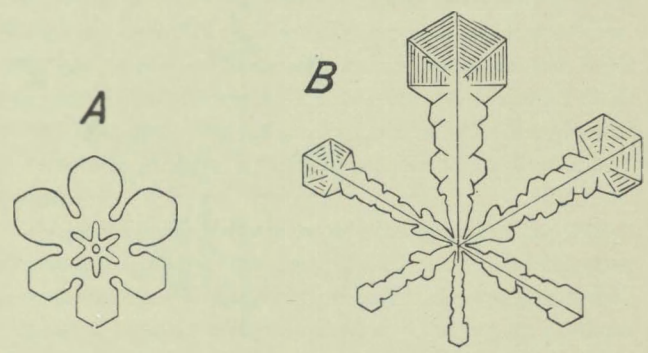


FIG. 33

Le 11 novembre 1898, entre 1 $^1/_2{}^h$ et 2 $^1/_2{}^h$ matin

Givre développé sur le couvercle en bronze de la boussole. Il avait commencé à se former vers 18^h la veille.

État de l'atmosphère. Température : —7°,8 (18^h la veille), —15°,4 (minuit), —17°,8 (3^h). Léger courant du quadrant de S. Ciel clair.

Observation faite *à la loupe*.

I. *Arcs* s'amincissant vers les deux extrémités jusqu'à s'effiler. Cette forme de givre est très commune sur le tube de verre, à des températures plus ou moins basses. Mais ici les arcs étaient d'une longueur extraordinaire, atteignant parfois 2 centimètres; leur largeur était aussi beaucoup plus considérable que d'ordinaire. Ils étaient ordinairement groupés, et ces groupements montraient une tendance à la régularité, à la symétrie, même quand les arcs constitutifs ne se touchaient pas (fig. 34, groupe A^I, A^{II}, A^{III}; groupe *B*).

1) Arcs dépourvus de branches (fig. 34, A^I).

2) Arcs pourvus de branches courbes très fines, disposées uniformément :

a) Semblant partir d'une des extrémités de l'arc et diverger

très légèrement vers l'autre, d'où l'aspect d'une aigrette (fig. 34, A^{II}, A^{III}, B);

b) Formant des ramifications unilatérales (fig. 34, C).

3) Arcs composés de petits bâtonnets très légèrement arqués et arrangés, sans se toucher, de la façon indiquée par le schéma D de la figure 34. Les bâtonnets constitutifs pouvaient aussi être fusionnés par leurs extrémités tournées vers la concavité de l'arc (1).

2. *Étoiles à six rayons égaux.* Pas de champ central, si ce n'est formé par la réunion des parties proximales distinctes des rayons. Lignes axiales et stries latérales plus importantes que dans les lamelles hexagonales. Relativement rares.

a) Rayons simples. Deux formes : B^I (ordinaire) et B^{II} (rare) de la figure 35.

b) Rayons ramifiés : forme B^{III} de la fig 35. Les plus importants et les plus fréquents.

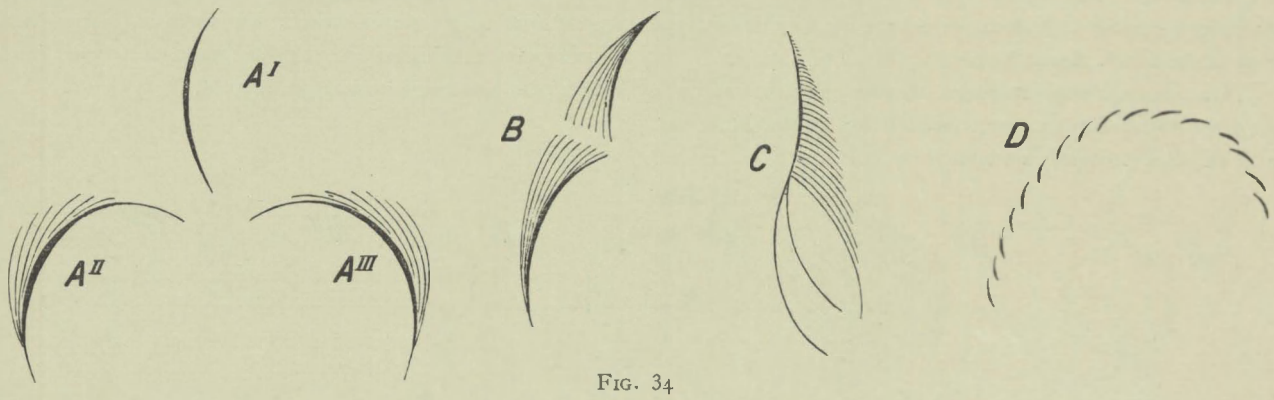


FIG. 34

II. *Formes à limites cristallines reconnaissables.*

A. *Cristaux parfaitement réguliers.*

1. *Lamelles hexagonales.* Les plus fréquentes parmi les cristaux réguliers. Dimensions petites (diamètre maximal, 1mm,25). Souvent bordures sombres (troncatures sur les arêtes).

a) Hexagones tout à fait homogènes, transparents (figure 35, A^I).

b) Hexagones montrant une structure : trois diagonales passant par le centre; fines figures hexagonales inscrites, nombreuses, équidistantes; une ou deux lamelles hexagonales paraissant reposer au centre de l'hexagone. La figure 35, A^{II}, représente un cas où tous ces caractères structuraux se trouvent réunis.

c) Hexagones dont les côtés montraient, perpendiculairement à leur milieu, des incisions identiques; ils représentaient donc l'ébauche d'une lamelle étoilée (fig. 35, A^{III}).

c) Formes intermédiaires : forme B^I de la figure 35, avec des encoches latérales.

B. *Cristaux plus ou moins irréguliers.*

1. *Lamelles hexagonales* irrégulières. Exemples : figure 35, C^I, C^{II}. Relativement rares.

2. *Étoiles irrégulières*, prédominantes.

a) *Entières.* Six rayons inégalement développés. Divers degrés d'inégalité des rayons. Comme dans les observations précédentes, les rayons diminuaient généralement de longueur d'une extrémité de l'étoile à l'extrémité opposée, et parfois j'ai constaté que r_6 et r_1, r_5 et r_2, r_4 et r_3 étaient opposés.

α) Les six rayons dans le plan du couvercle (plutôt dans le plan tangent). Relativement plus rares.

β) Quelques rayons voisins dans le plan du support; les autres, dans d'autres plans en général peu inclinés par rapport au premier. La position de ces rayons soulevés était d'ailleurs tout à fait conforme à l'ensemble de l'étoile. La figure 35, D, montre une des étoiles les moins irrégulières. Les trois rayons les plus grands montrent chacun des incisions aux deux angles et des lignes inscrites courbes excessivement fines. Les deux rayons les plus petits présentent des bordures amincies. Un petit hexagone régulier, très fin, sans structure, agrégé à l'angle terminal d'un rayon et dont les côtés seraient parallèles aux rayons, s'ils n'étaient pas dans un plan un peu incliné sur celui de l'étoile.

J'ai vu une étoile dont les cinq rayons, du type B^{III} de la figure 36, étaient dans le plan du support. Le sixième, de même forme, qui s'élevait un peu au-dessus de ce plan, était fixé non pas au centre de l'étoile, mais excentriquement, sur l'axe du rayon opposé. En outre, un septième rayon, surnuméraire, était fixé au centre même de l'étoile : il surplombait un rayon

(1) Cette forme curieuse, que l'on rencontre communément sur des surfaces plus ou moins lisses et à des températures basses, me semble avoir été observée pour la première fois par BEHRENS sur la cristallisation de l'acide picrique dans une solution alcoolique très diluée : « Jeder Zweig besteht aus einer grosser Zahl von Mikroliten, die in geradlinigen Partien schnurgerade hintereinander liegen, in den Krummlinigen dagegen so gestellt sind, dass *jeder folgende ein wenig mehr nach der concaven Seite der Curve zu verschoben ist als seiner Vorgänger,* und dass ein jeder so gegen die Curve (die Verbindungslinie der Halbirungspunkte) geneigt ist, dass sein älteres Ende sich der convexen Seite derselben zuwendet. » (Krystalliten, pp. 96-97.) La vraie signification des formes semblables, comme en général des formes si variées des trichites, ne semble pas encore bien élucidée et les avis des cristallographes sont partagés. (Comparer, par exemple, les opinions de LEHMANN et de VOGELSANG-BEHRENS.)

et différait des autres par ses dimensions relativement petites et par sa forme particulière (fig. 35, *E*).

b) *Fragmentaires ;* les plus fréquentes; à cinq, quatre, trois et deux rayons. Les rayons étaient toujours voisins, formant toujours entre eux un angle de 60°. Tous les rayons dans le plan du couvercle ou bien quelques-uns dans ce plan et les autres dans des plans plus ou moins inclinés par rapport au premier, en position conforme à l'ensemble de l'étoile.

3. « *Rayons* » *indépendants,* c'est-à-dire individus de forme et de structure semblables à celles des rayons d'étoiles du type B^{III} de la figure 35. Assez fréquents.

4. Une sorte d'*étoile désagrégée* formée par des « rayons » tout à fait indépendants, c'est-à-dire qui ne se touchent pas. J'en ai vu deux exemples seulement :

a) Six rayons indépendants, s'élevant toujours au-dessus du niveau du couvercle et disposés de façon que leurs projections sur le plan du couvercle constituent une étoile dont les rayons forment entre eux un angle de 60°.

b) Six rayons indépendants, placés tous dans le plan du couvercle, tous du type B^{III} de la figure 35, et disposés en étoile. L'excentricité des pointes proximales libres était diverse et celles-ci étaient légèrement incurvées, toutes dans le même sens. Mais les limites distales des rayons se correspondaient toutes parfaitement, les côtés correspondants des hexagones terminaux incomplets coïncidant avec les côtés d'un seul hexagone imaginaire (fig. 35, *F*) (1).

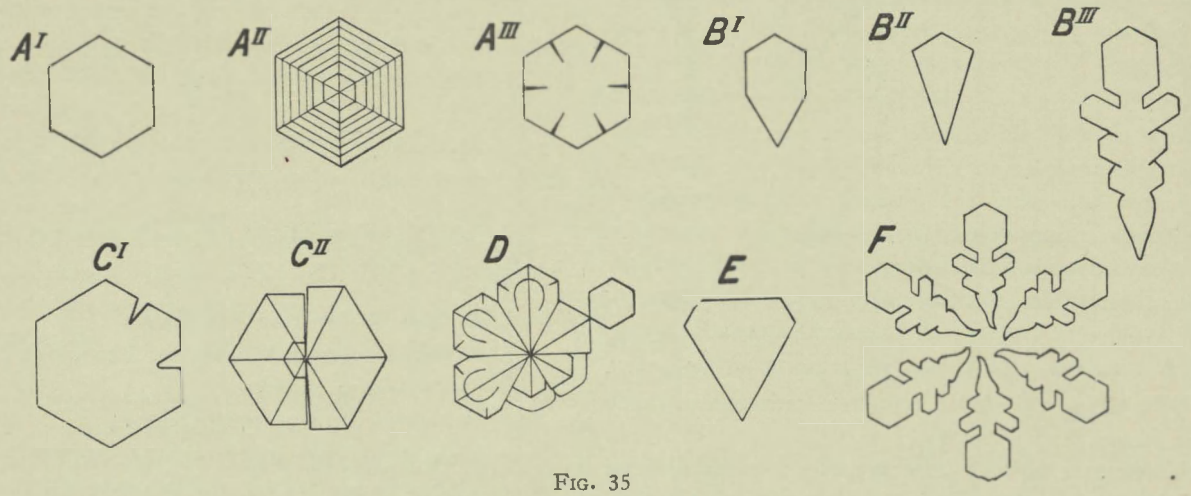


FIG. 35

Le 28 novembre 1898, entre 3h et 5h matin

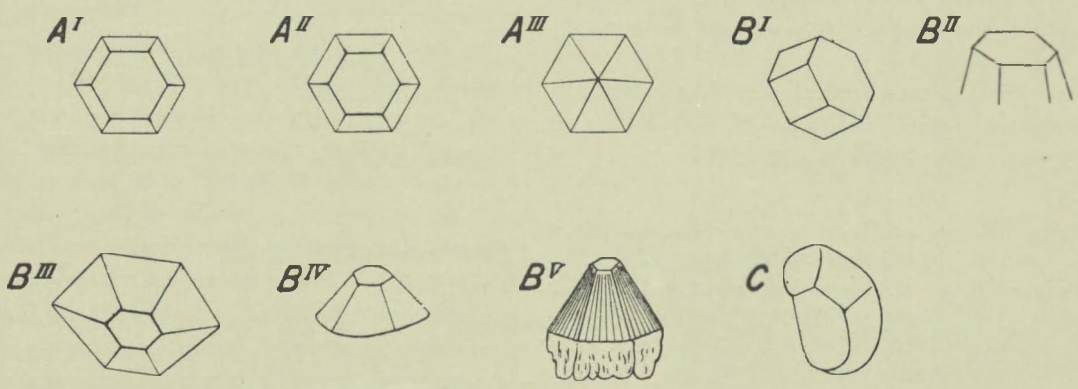


FIG. 36

État de l'atmosphère. Température : —16°,3 (3h), —15°,6 (4h), —13°,2 (5h). *Brume.* Très faible courant de SW.

Givre recueilli sur un porte-objet exposé au vent. Observation *microscopique.*

Il se composait de *grains* dont la majeure partie montraient nettement une forme cristalline. Souvent ils s'agglomeraient. La figure 36 en donne des exemples dessinés dans les diverses positions dans lesquelles ils ont été vus. Les basses pyramides tronquées étaient la forme la plus commune ; les prismes simples, assez fréquents; les pyramides pointues (A^{III}), rares.

(1) On aurait donc ici un arrangement régulier, conforme aux lois cristallographiques, de six cristaux n'entrant en contact en aucun point et reposant directement sur le couvercle. La non-existence des actions à distance entre les cristaux ayant trouvé sa preuve directe déjà dans les expériences de FRANKENHEIM (1836), confirmées par celles de KOPP et SÉNARMONT, on pourrait peut-être expliquer ce phénomène en supposant que les six cristaux se seraient primitivement déposés, non pas directement sur le bronze, mais sur un support cristallin de glace commun, effacé ultérieurement par suite de l'évaporation.

La portion supérieure de la pyramide B^V montrait une striation fine sur ses faces latérales ; la portion inférieure, plus petite, était déformée.

Parmi les grains cristallins, on distinguait des cristaux relativement gros, de volume parfois triple et même plus.

Sur ces grains, j'ai trouvé une étoile à six rayons formant entre eux un angle de 60°. Les rayons ne se rejoignaient pas au centre, mais s'appliquaient sur la portion périphérique d'une lamelle hexagonale centrale. Ils n'étaient semblables ni au point de vue de leur longueur ni sous le rapport de leur aspect et de leur structure. Trois rayons voisins étaient plus longs et plus abondamment couverts de grains que les trois opposés. Les grains de givre couvrant l'étoile étaient pour la plupart cristallins. La figure 37 représente un de ces rayons à structure plus simple, et la lamelle centrale (*h*).

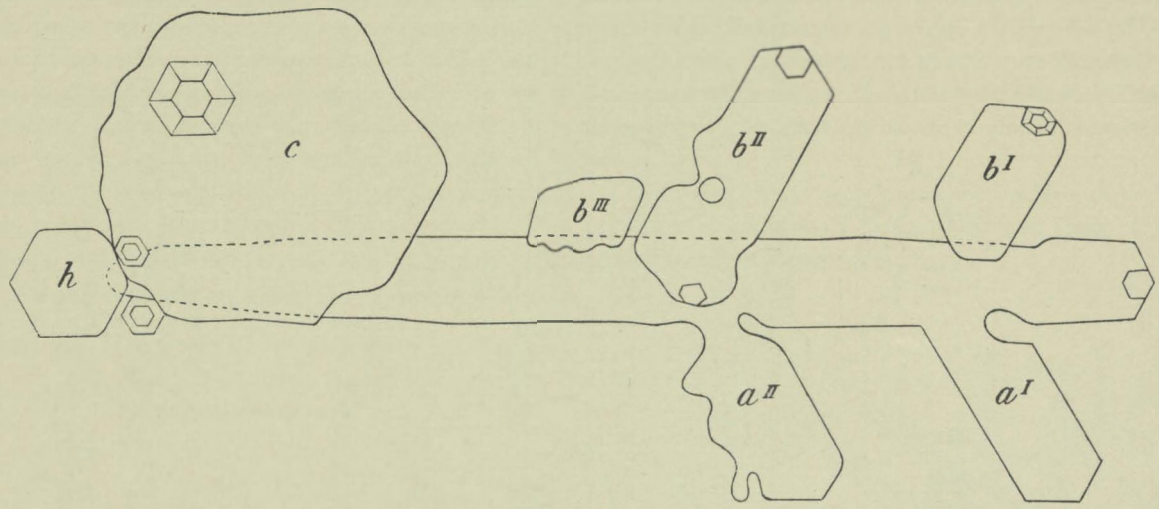


FIG. 37

Le 2 décembre 1898, entre 1h et 5h matin

État de l'atmosphère. Température : —14°,4 (1h), —14°,0 (2h), —13°,3 (3h), —13°,4 (4h), —12°,9 (5h). Presque calme. Le ciel paraît clair ; pourtant quelques étoiles de neige étaient tombées pendant l'observation.

Givre obtenu sur plusieurs porte-objets, légèrement convexes, exposés au vent.

A l'œil nu, c'étaient des groupes, plus ou moins importants, disséminés à la surface des porte-objets. Ils étaient composés de tiges ramifiées. Les tiges, les branches primaires et secondaires avaient sensiblement même épaisseur. La forme et la structure des différents groupes étaient variables, mais caractéristiques pour un groupe donné ; à ce point de vue, je distinguais plusieurs types :

1) Longues tiges isolées, avec des ramifications relativement très courtes, d'un seul ou des deux côtés.

2) Tiges isolées munies de très longues et abondantes ramifications, d'un seul ou des deux côtés.

3) Groupes composés de tiges parallèles portant en général, toutes d'un seul et même côté, de courtes ramifications.

4) Trois, quatre, cinq ou six tiges ramifiées bilatéralement, réunies de façon à former une étoile.

5) Étoiles à limites cristallines manifestes.

Tous ces types peuvent se ramener à deux catégories : givre étoilé et givre non étoilé.

OBSERVATION MICROSCOPIQUE.

I. *Givre non étoilé.*

Composition. Tiges à branches latérales primaires et secondaires. Branches primaires formant en général avec la tige un angle de 60° ; de même avec les branches secondaires.

Remarque. L'angle de 60° prédominait. Cependant, parfois, les systèmes droit et gauche des branches collatérales étaient sur la même droite, de sorte que l'un d'eux formait, avec l'axe de sa tige, un angle de 60° ; l'autre, un angle de 120° (exemple fig. 38, *B*) : parfois même, du même côté de la même tige, je rencontrais les angles de 60° et de 120°. Parfois l'angle oscillait autour de ces deux valeurs ; il arrivait aussi que, par suite soit de l'irrégularité de forme (fig. 38, A^I, A^{II}, A^{III}), soit de l'état rudimentaire de la branche (fig. 38, *C*), il était impossible de lui attribuer un axe et, par conséquent, d'évaluer l'angle.

Les *branches secondaires* étaient presque toujours bilatérales. En général, elles étaient plus développées d'un côté que de l'autre, où elles étaient souvent même rudimentaires. Quant à leur forme, les branches secondaires présentaient quelques types :

1) *Branches secondaires irrégulières*, à contour courbe plus ou moins irrégulier. Elles étaient en même temps les moins développées. C'est ici que les écarts par rapport à l'angle de 60°, ordinairement dans le sens négatif, ont été rencontrés

le plus souvent. La figure 38, A^I, A^{II}, représente les formes typiques des branches secondaires irrégulières; la figure 38, *B*, est plutôt transitoire vers les types suivants.

2) *Branches secondaires d'aspect intermédiaire* (fig. 38, *C*). Les contours ne sont pas encore rectilignes, mais s'en rapprochent. Les extrémités distales sont limitées de façon à former l'ébauche d'un semi-hexagone terminal, caractéristique pour les branches secondaires régulières. Elles sont plus longues, plus larges que les irrégulières. Elles forment toujours un angle de 60° avec l'axe de la branche primaire. Dans certains groupes, leurs contours sont plus onduleux; dans d'autres, plus rectilignes.

3) *Branches secondaires régulières*, à contours rectilignes, en hexagone allongé incomplet (appendice supérieur gauche de la fig. 38, A^{III}).

Chaque groupe était caractérisé par la prédominance plus ou moins prononcée de l'une ou de l'autre des trois formes envisagées.

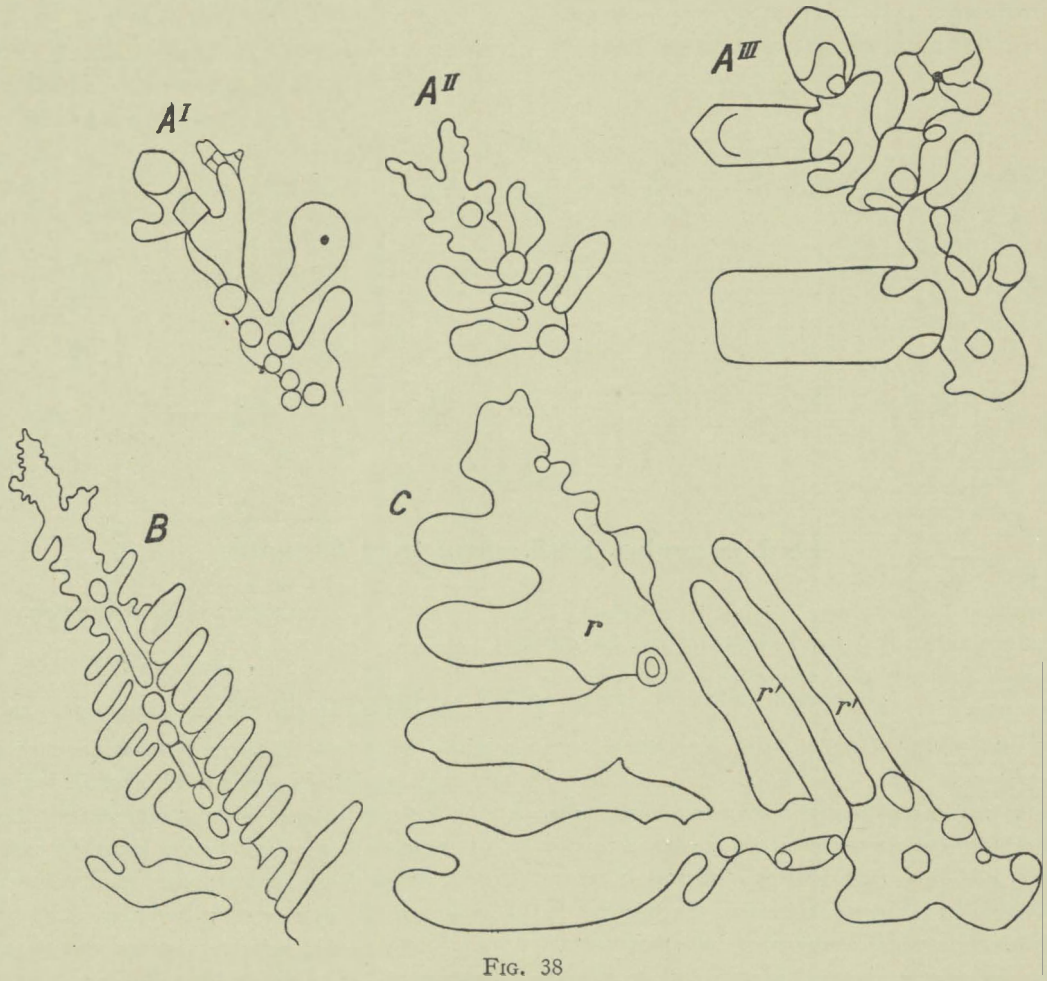


FIG. 38

II. *Givre étoilé.*

A. *Étoiles qui ont conservé les caractères du givre non étoilé.*

Elles étaient fragmentaires (à trois, quatre ou cinq rayons) ou entières (à six rayons). Les rayons voisins formaient entre eux un l'angle de 60°. Les branches primaires, toujours bilatérales et se correspondant, étaient parallèles au rayon voisin réel ou virtuel. Les branches secondaires étaient orientées par rapport à leurs branches primaires de la même façon que ces dernières l'étaient par rapport à leurs rayons. En général, les branches primaires et secondaires semblaient de même largeur.

Les rayons de la même étoile n'avaient pas la même longueur, le degré de cette inégalité étant très variable. Ils diminuaient généralement de longueur d'une extrémité de l'étoile à l'extrémité opposée, le groupe des plus grands étant opposé à celui des plus petits. Assez souvent r_6 et r_1, r_5 et r_2, r_4 et r_3 étaient opposés.

Rarement deux branches primaires se correspondant des deux côtés du rayon étaient sensiblement de même longueur; les branches appartenant au même côté du rayon (ou bien de la branche primaire) étaient aussi de longueur très variable. Les branches de deux rayons voisins (ou de deux branches primaires voisines) semblaient s'empêcher mutuellement de se développer. Les longueurs des branches successives du même

côté du rayon (ou de la branche primaire) ne présentaient pas une gradation régulière, sauf près de l'extrémité distale du rayon (ou de la branche primaire), où elles paraissaient diminuer progressivement vers cette extrémité.

Les rayons d'une étoile convergeaient vers un point central où ils se trouvaient en continuité complète; on aurait dit qu'un rayon était une simple ramification du rayon voisin. Les étoiles à deux ou trois rayons montraient souvent, tout près du point de convergence, comme accolée à lui, une figure plus ou moins arrondie (fig. 39, *A*). Cette figure accusait souvent une tendance vers la forme hexagonale. En effet, une fois j'ai vu un hexagone incomplet, à symétrie bilatérale, en continuité complète avec le point de convergence d'une étoile à trois rayons. Cet hexagone (fig. 39, *B*) montrait une structure curieuse : un dessin symétrique au milieu, offrant l'aspect d'un monument (cavités internes ?); une rangée de lignes semi-hexagonales délicates parallèles aux trois côtés inférieurs de l'hexagone et à angles arrondis; enfin, des lignes ondulées, aussi délicates, transversales par rapport aux premières e assez symétriques

La structure des étoiles était celle du givre non étoilé. Les branches secondaires n'atteignaient jamais la forme d'hexagone allongé incomplet; souvent elles se rapprochaient de celles représentées dans la figure 38, *C*, mais à contour plus onduleux, plus irrégulier.

La figure 39, *C*, montre une étoile à six rayons, faiblement grossie, schématisée. Sur elle était appliquée excentriquement une lamelle hexagonale régulière, à côtés parallèles aux rayons, homogène et assez opaque pour ne permettre qu'une transparence très faible des éléments qu'elle recouvrait. Près d'elle, on voit un grain de forme arrondie, aussi opaque et homogène.

Les *grains* étaient assez communs sur les étoiles.

Entre le givre étoilé et le givre non étoilé, il y avait toutes les formes de transition.

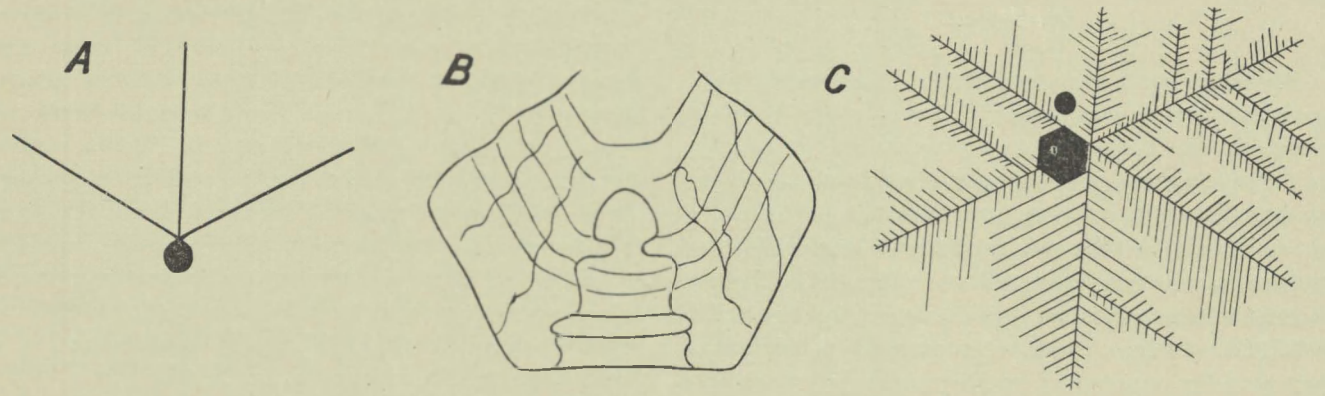


FIG. 39

B. *Étoiles à limites cristallines bien distinctes.*

Le nombre des rayons variait de deux à six. Une fois même j'ai trouvé un « rayon » indépendant, c'est-à-dire un individu isolé à forme et à structure caractéristiques des rayons d'étoiles de cette catégorie; ses deux extrémités sont représentées dans la figure 40 (*A*, *A*).

Il n'y avait pas de champ central proprement dit : les rayons convergeaient vers un point commun, où ils se trouvaient en continuité parfaite. Souvent ce point, dans les étoiles à deux et à trois rayons, présentait, tout contre lui, une formation en hexagone incomplet, parfois déformée (fig. 40, *B*), en continuité avec le point de convergence.

Les rayons d'une même étoile n'étaient pas de même longueur. Les rapports entre les rayons d'une même étoile étaient les mêmes que ceux décrits dans le chapitre A.

Il n'y avait pas de branches secondaires. Les rayons et les branches primaires (lesquelles manquaient parfois) se terminaient en hexagone incomplet.

Tant que la préparation n'était pas en fonte, les angles étaient assez nets, rarement arrondis.

Les étoiles, ou bien ne montraient aucune structure (fig. 40, *C*), ou bien présentaient des lignes d'accroissement latéral (fig. 40, *A*) et des cavités internes (fig. 40, *B*).

Exemples :

Figure 40, *C*. Une partie d'un rayon d'une étoile.

Figure 40, *B*. Une étoile à deux rayons, qui était accolée à une autre, à 4 rayons, de façon à constituer avec elle une étoile à six rayons formant entre eux un angle de 60°. Les six rayons étaient tous de longueur différente, mais r_6 et r_1, r_5 et r_2, r_4 et r_3 étaient opposés. La figure en représente les plus petits : r_1 et r_2. Le dessin a été pris au début de la fonte, d'où la déformation du rayon r_1. On voit la terminaison du point de convergence des deux rayons, ordinairement hexagonale, ici déformée; elle était plus opaque que le reste de la figure. Sur r_2 on voit des *cavités internes*.

Figure 40, *A*, *A*. Un « rayon » indépendant. A gauche, son extrémité « distale »; à droite, son extrémité « proximale ». Il était assez long et portait de nombreuses branches terminées en hexagone incomplet allongé. A remarquer les lignes d'accroissement latéral.

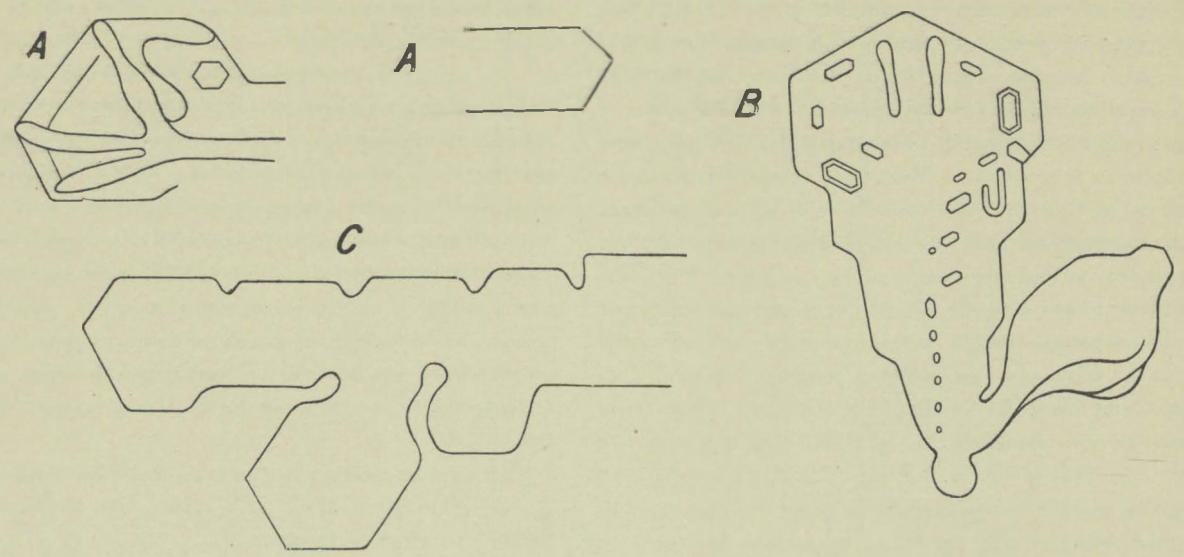


FIG. 40

III. *Grains.*

Disséminés sur le givre étoilé et le givre non étoilé. Sur ce dernier ils étaient les plus abondants ; il y en avait le moins sur les étoiles d'aspect cristallin. Ils montraient une prédilection pour l'axe des tiges et des branches, où ils s'arrangeaient souvent en chapelet, ordinairement discontinu ; sur ce même axe, on trouvait souvent des formations allongées dont la largeur était en général égale au diamètre des grains de givre et qui montraient parfois des stries transversales (fig. 38, *B*). Quant à leur forme, c'étaient ordinairement des formations plutôt arrondies, sans limites cristallines reconnaissables.

Parmi ces grains, il y avait des formations dont les dimensions dépassaient considérablement celles des grains ordinaires : c'étaient des lamelles tendant souvent vers la forme hexagonale (fig. 41, B^{II}) et au parallélisme des bords par rapport aux lignes cristallographiques de l'étoile ; mais le plus souvent elles se présentaient en *quadrilatères* allongés, dont le grand axe était parallèle aux ramifications immédiates de la tige ou de la branche sur laquelle ils étaient appliqués.

Enfin, on trouvait parfois, comme grains de givre, de véritables cristaux du système hexagonal, généralement en pyramides tronquées, orientés toujours conformément à la direction des axes du support (fig. 41, C^{I}, C^{II}).

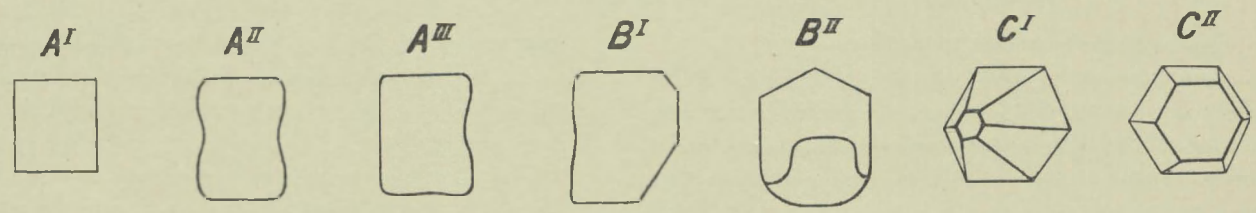


FIG. 41

IV. *Fonte.*

Le plus souvent, pendant la fonte, les tiges, les branches primaires et secondaires, dont l'aspect n'était pas franchement cristallin, se résolvaient en grains très petits.

Le 10 décembre 1898, entre 3^{h} et 6^{h} matin

État de l'atmosphère. Température : —8°,7 (3^{h}), —8°,3 (4^{h}), —8°,1 (5^{h}), —7°,1 (6^{h}). Presque calme. Pas de brume.

I. « Givre » recueilli sur un porte-objet sur lequel j'avais soufflé. Observé *au microscope.*

1) *Grains* sans aucune trace de forme cristalline. Séparés ou réunis en petites agglomérations de forme irrégulière (fig. 42, A^{I}, A^{II}, A^{III}).

2) *Individus lamellaires*, relativement considérables, à contours plus ou moins arrondis, divisés en territoires irréguliers dont les dimensions surpassaient considérablement celles des grains (fig. 42, B^{I}, B^{II}).

Pendant la *fonte*, les territoires constitutifs des individus lamellaires se divisaient en territoires plus petits, ceux-ci en grains, ceux-ci en granules, lesquels eux-mêmes semblaient

montrer une structure très finement granuleuse; quant aux grains, ils se divisaient généralement en granules montrant une structure très finement granuleuse.

II. En même temps, j'ai placé un porte-objet sur un verre à moitié rempli d'eau. Bientôt la surface du porte-objet tournée vers l'eau est devenue mate; sous le microscope, elle s'est montrée couverte de très fines gouttelettes d'eau, serrées et même partiellement fusionnées au centre, désagrégées vers la périphérie de la préparation.

Ce n'est qu'entre 5h et 6h que la préparation a commencé à se figer, dans sa partie périphérique. Le « givre » ainsi formé était disséminé en groupes de dimensions variables, dont les éléments étaient plus ou moins serrés, mais en général la périphérie d'un groupe était plus lâche que son centre.

Observation microscopique :

1) *Partie centrale d'un groupe.* Constituée de grains, rarement isolés, pour la plupart réunies latéralement (fig. 43, A^{I}-A^{IV}). Dans ce dernier cas, les grains prenaient ordinairement la forme polyédrique. Le plus souvent les grains se réunissaient en chapelets irréguliers qui formaient parfois un réseau capricieux.

2) *Partie périphérique d'un groupe.*

a) Lamelles à contours plus ou moins arrondis ou étoilées. Relativement rares. Petites. Homogènes ou bien constituées de grains plus ou moins distincts.

b) Bandes rectilignes. Elles pouvaient présenter des solutions de continuité. Les plus simples étaient composées de grains (d'où l'aspect d'un tissu polygonal) qui ne montraient nulle part une tendance à la fusion Il n'y avait pas de

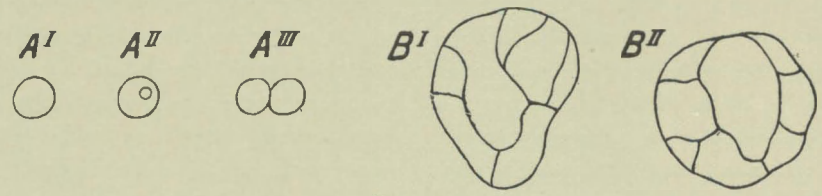


FIG. 42

bourgeons latéraux. D'autres bandes montraient déjà des *bourgeons latéraux*, dans la plupart desquels les grains constitutifs n'étaient plus distincts. Les bandes plus développées encore possédaient des *ramifications latérales*, souvent puissantes, formant d'ordinaire un angle de 60° ou de 120° environ avec l'axe de la bande. La symétrie était rare, mais en général les points d'insertion des membres latéraux se correspondaient d'un côté de la bande à l'autre (fig. 43, schéma *B*). Parfois les membres latéraux possédaient eux-mêmes des bourgeons latéraux, ou même des branches assez puissantes, lesquelles formaient d'ordinaire avec l'axe du membre un angle de 60° ou de 120° environ. Ces appendices secondaires ne montraient pour la plupart aucune structure. — La partie intérieure des bandes développées montrait souvent une différenciation : suivant l'axe, les grains s'arrangeaient en chapelet, parfois même semblaient fusionnés en une ligne axiale. — La figure 43, *C*, représente une partie d'une bande discontinue, sans bourgeons latéraux, particulière en ce que les grains constitutifs ne sont plus distincts : la bande est composée de lamelles homogènes.

Pendant la *fonte*, les lamelles homogènes se divisaient généralement en territoires, ceux-ci en grains, ceux-ci en granules qui eux-mêmes montraient un aspect très finement granuleux. Quant aux grains, mêmes phénomènes que ceux notés dans l'observation précédente (fig. 43, D^{I}, D^{II}).

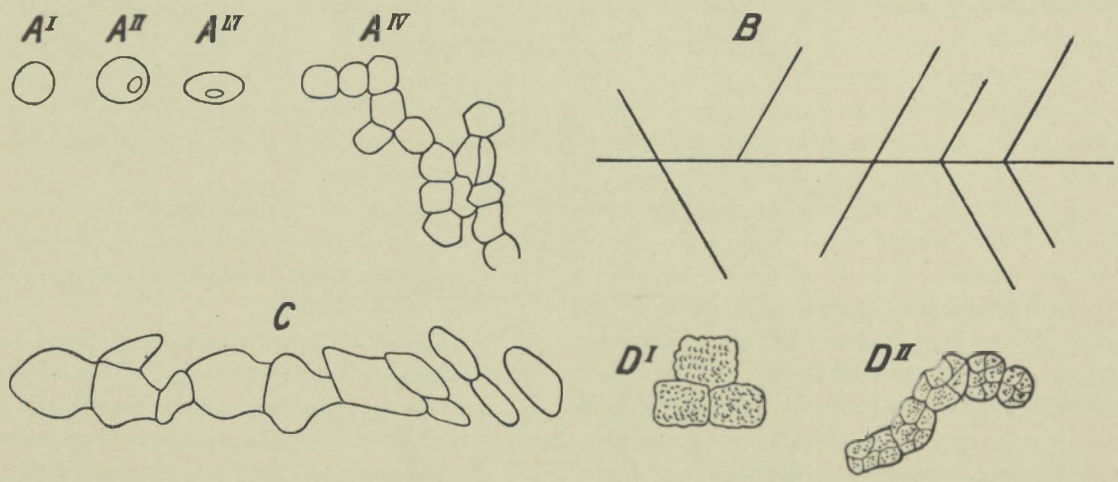


FIG. 43

Le 13 décembre 1898, entre 1h et 3h matin

État de l'atmosphère. Température : —9°,3 (1h), —8°,9 (2h), —11°,2 (3h). Légère brume. Calme.

Givre recueilli sur un porte-objet exposé au très faible courant d'air.

Observation macroscopique. Nombreux groupes, d'étendue diverse, composés d'éléments plus lâches et plus distincts vers leur périphérie, serrés en une masse compacte au centre.

Observation microscopique.

1. *Partie centrale d'un groupe.* Composée de beaux *polygones*, clairs, brillants, parfaitement accolés par leurs côtés, à la façon des cellules d'un épithélium pavimenteux simple. Les bords des polygones étaient plus brillants que le reste ; on voyait parfois qu'ils étaient doubles, ou même on pouvait discerner un intervalle très étroit entre deux côtés appliqués l'un contre l'autre. Aux bords des lacunes, on voyait que ces polygones étaient les faces supérieures de prismes polygonaux de hauteur très réduite. Les polygones présentaient des dimensions variables ; pourtant une certaine grandeur prédominait, paraissait typique ; parmi les polygones qui s'en écartaient considérablement, ceux qui étaient plus grands étaient beaucoup plus nombreux que ceux qui étaient plus petits. Le nombre des côtés d'un polygone variait de quatre à huit ; le plus souvent, il était de cinq ou six. Les côtés étaient rectilignes, rarement incurvés; les angles bien nets, rarement arrondis.

On n'y voyait pas trace d'organisation, d'arrangement défini.

2. *Partie périphérique d'un groupe.* Constituée d'individus distincts dont la forme devenait de plus en plus définie vers les limites du groupe.

La plupart se présentaient en *bandes rectilignes* de longueur et de largeur diverses, celle-ci pouvant varier aussi d'un point à l'autre d'une même bande.

Les bandes rectilignes qui atteignaient une certaine largeur présentaient des *appendices latéraux*. Dans les bandes les plus rapprochées de la partie centrale du groupe, ils se présentaient sous forme de *bourgeons* très petits et très nombreux. — Dans les bandes plus périphériques, les bourgeons latéraux, çà et là, s'allongeaient considérablement; leur axe tendait alors à couper l'axe de la bande sous un angle à peu près constant pour la même bande et qui rarement s'approchait de 60°; parfois on constatait une tendance à la symétrie par rapport à l'axe de la bande. La plupart avaient la forme d'un hexagone allongé incomplet. — Enfin, dans les bandes les plus périphériques, les bourgeons étaient remplacés par des *branches latérales,* simples ou ramifiées à leur tour, formant souvent avec l'axe de la bande un angle de 60° environ. Les points d'insertion des branches primaires se correspondaient généralement des deux côtés de la bande; souvent on constatait une symétrie par rapport à l'axe de celle-ci. Les branches primaires et la plupart des appendices secondaires se terminaient en hexagone allongé incomplet.

Quant à la *structure*, le corps des bandes était toujours composé de *polygones*. Dans les appendices, on constatait deux structures : *polygonale* ou *homogène*, celle-ci prédominant. Entre ces deux extrêmes, on trouvait les stades intermédiaires. La transition se présentait sous trois types : effacement plus ou moins complet des contours de polygones constitutifs ; appendices composés de territoires, de champs plus ou moins homogènes ; effacement plus ou moins complet des limites de ces territoires. La structure homogène affectait surtout les appendices ayant la forme d'hexagones allongés incomplets. — Dans les bandes aux appendices les plus développés, parfois, suivant l'axe même, les polygones s'arrangeaient de manière à former un chapelet axial.

Outre les bandes, on rencontrait aussi, quoique relativement rares, des individus à contours plus ou moins arrondis, de petites dimensions, composés généralement de territoires homogènes, pouvant même être tout à fait unis.

La fonte. Pendant la fonte, les appendices homogènes se divisaient généralement en petits territoires, ceux-ci en polygones qui prenaient ordinairement un aspect granuleux.

3. *Grains* de givre disséminés sur ces groupes.

La plupart avaient la forme des grains isolés des figures 42 et 43. Les dimensions étaient variables, quoiqu'une certaine grandeur prédominât ; parfois leurs limites correspondaient plus ou moins exactement à celles des polygones, mais en général ils étaient plus petits Leur distribution n'était pas uniforme : très abondants en un point, ils étaient très rares dans un autre. En général, ils semblaient épargner les appendices, surtout ceux à structure homogène. Dans les bandes à chapelet axial, ils étaient beaucoup plus abondants sur celui-ci que sur le reste.

Parmi ces grains, on distinguait, sur les bandes, des *lamelles* relativement considérables, ordinairement allongées, et dont le grand axe était orienté de la même façon que les appendices latéraux : pour la plupart, leur structure était homogène; cependant, parfois, elles se montraient composées de petits territoires.

Pendant la *fonte*, mêmes phénomènes que ceux indiqués plus haut : les grains simples prenaient un aspect très finement granuleux, les lamelles homogènes se divisaient en territoires et ceux-ci en polygones.

Figure 44, A^I, A^{II}, A^{III}. Exemples de bourgeons latéraux de bandes peu développées encore. Sur le bourgeon A^I. on voit encore les éléments dont celui-ci est formé. La forme du bourgeon A^{II} était typique.

Figure 44, B^I, B^{II}, B^{III}. Exemples de branches latérales de

bandes bien développées. Sur la figure B^{III} l'appendice est au premier stade de la fonte : son sommet subit une déformation ; l'appendice secondaire supérieur gauche se dissout en polygones et ceux-ci présentent une structure granuleuse ; la grande partie du côté droit et toute la partie proximale du membre se divise en territoires avant que ceux-ci se dissolvent en polygones. Ce processus de la fonte s'accomplissait sous mes yeux.

Figure 44, *C* (schématisée). Fonte d'une puissante branche primaire homogène munie d'appendices secondaires Elle s'est transformée tout entière en tissu polygonal. On voyait une partie des polygones arrangés en un chapelet axial. Bientôt les polygones ont commencé à montrer une structure finement granuleuse.

Figure 44, D^{I}-D^{VII}. Exemples de lamelles homogènes disséminées, comme les grains de givre, sur les bandes. La figure D^{I} montre une sorte de transition entre les grains et les lamelles homogènes. La lamelle supérieure de la figure D^{VI} et celle de la figure D^{VII} (recouvrant la base d'un appendice) montrent la forme hexagonale : phénomène rare.

Les figures D^{V}, D^{V} représentent une même tablette par rapport à deux positions différentes de l'objectif ; cette forme *quadrilatérale* était assez commune sur les bandes, où son grand axe était orienté de la même façon que les appendices latéraux de la bande.

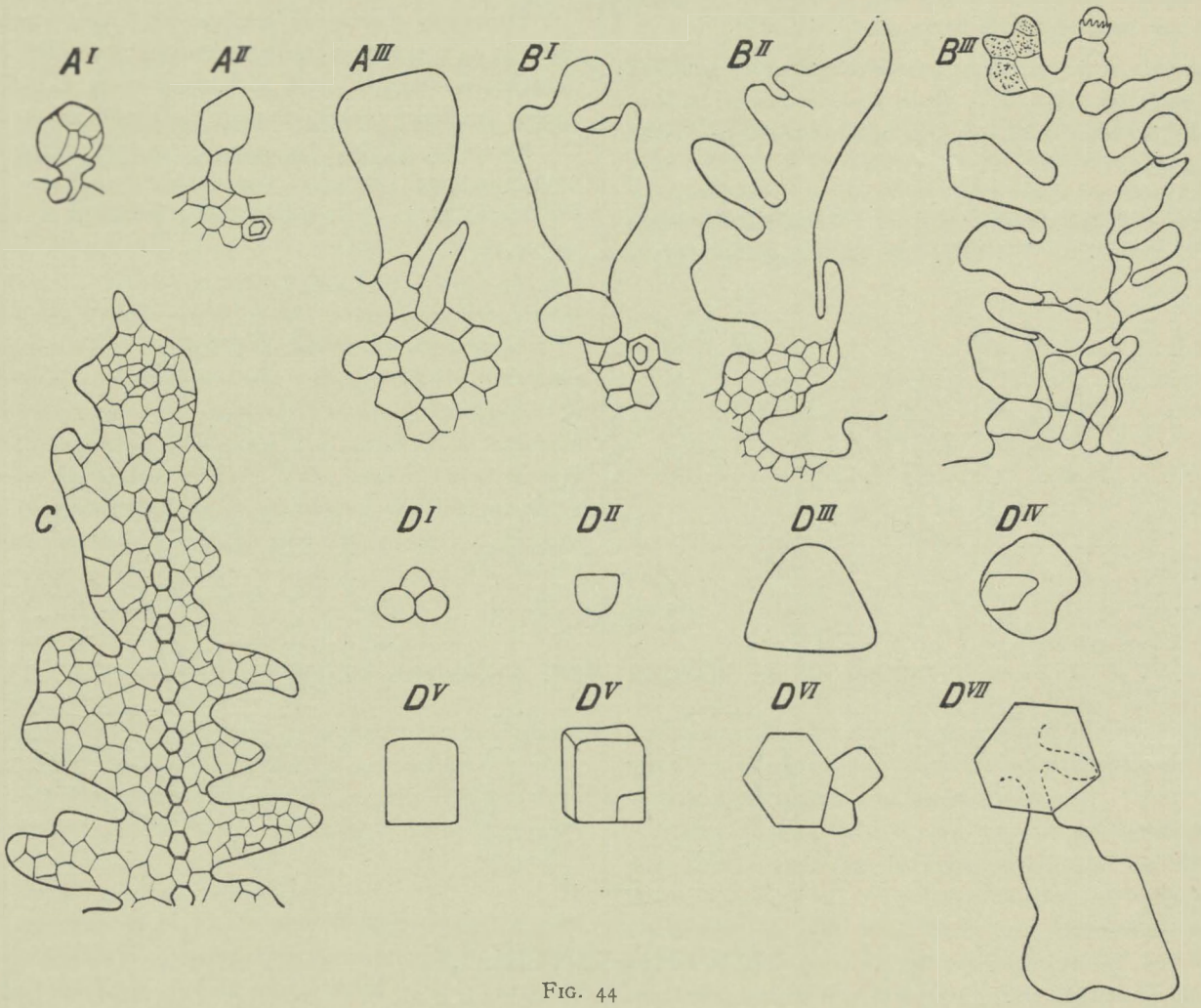


FIG. 44

Le 10 mars 1899, entre 7h et 11h matin

Etat de l'atmosphère. Température : —8°,0 (7h-9h), —8°,7 (10h), —8°,8 (11h). Brume. Presque calme.

J'ai observé plusieurs préparations de la couche horizontale recueillies sur des porte-objets exposés au vent.

Observation macroscopique :

Petits groupes d'arborescences plus ou moins distinctes.

Observation microscopique :

Les différents groupes étaient composés d'individus de

forme parfois très irrégulière et bizarre, formés par un *tissu polygonal* analogue à celui observé le 13 décembre 1898. Les contours des polygones présentaient même netteté et finesse. Nombre des côtés et dimensions différents. Les côtés sont rectilignes ou légèrement courbes. Les polygones sont plus ou moins isodiamétriques ou allongés. Dans les appendices, structure polygonale parfois très faiblement marquée, mais nulle part de structure tout à fait homogène. Parfois le tissu polygonal prenait un arrangement spécial (par exemple la partie gauche de la fig. 45, *D*) ; les polygones pouvaient même être remplacés par d'autres figures (par exemple figures en fourchette ondulée, sur la partie droite de la fig. 45, *D*). Sur le tissu polygonal étaient disséminés des *grains*, en général plus petits que les polygones, peu abondants et de même forme que les grains de la figure 43, A^I, A^{II}, A^{III}.

La plupart de ces individus se présentaient en figures de deux catégories différentes : *figures fortement allongées (bandes) à appendices bilatéraux* et *figures plus ou moins isodiamétriques à appendices radiaires*.

Dans la *première catégorie*, les membres latéraux montraient toujours la composition polygonale, quoique parfois très peu distincte ; les grains superposés montraient une prédilection pour l'axe de l'individu.

Dans la *seconde catégorie* (fig. 45, *A*), toute la partie intérieure était occupée par le tissu polygonal non différencié. Les bourgeons périphériques radiaires, tout à fait analogues aux bourgeons latéraux des individus de la première catégorie, montraient toujours une structure polygonale, quoique parfois les polygones constitutifs étaient très peu distincts. Les grains superposés montraient une prédilection pour les racines des bourgeons périphériques, de façon à marquer une limite bien nette entre le champ central et la périphérie bourgeonnée ; en outre, très souvent un grain superposé se trouvait seul au centre de l'individu. Il est remarquable que souvent les individus de cette catégorie s'unissaient en une chaine rectiligne.

Figure 45, *B* (un peu schématisée). Une partie d'un individu de la première catégorie. On voit bien la composition polygonale, même dans les appendices latéraux, et la prédilection des grains superposés pour l'axe de l'individu.

Figure 45, C^I, C^{II}. Exemples de lamelles plus ou moins isodiamétriques, à structure polygonale différenciée.

Figure 45, *D*. Individu de forme bizarre et à structure particulière.

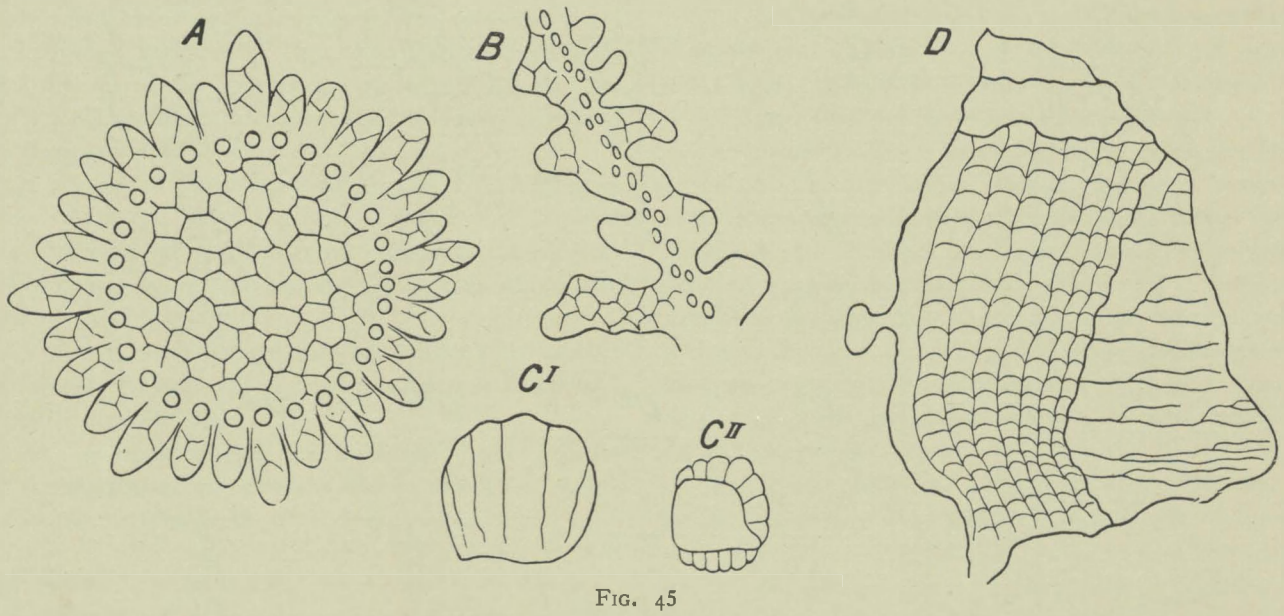


FIG. 45

COUCHE VERTICALE

A. *Bâtonnets*

Le 10 mars 1899, vers 1h matin

Couche verticale de givre hérissant la couche horizontale, en croûte, développée sur le tube en verre. Le givre a commencé à se développer vers 19h, la veille, et s'était accru lentement, progressivement.

État de l'atmosphère. Température : —5°,4 (18h la veille), —7°,3 (minuit), —7°,2 (1h). Brume. Très léger courant d'air.

A l'œil nu, c'étaient des bâtonnets de 0,5 cent à 1 cent.

de longueur, de 1mm,5 à 2mm d'épaisseur (1); ordinairement réunis par leurs bases en groupes de deux ou trois; à surface hérissée de grains et paraissant composés de grains semblables.

Observation microscopique : Les bâtonnets étaient composés d'éléments comparables aux grains si communs sur la couche horizontale, ne montrant généralement pas de limites cristallines distinctes. Leurs dimensions étaient variables; les plus grands se montraient souvent composés d'éléments de formes diverses et plus ou moins distincts. Parmi les plus grands, beaucoup avaient l'aspect de prismes à base en rectangle généralement allongé et un peu déformé (angles émoussés, côtés légèrement incurvés); ces prismes étaient le plus souvent orientés de façon que leur base était à peu près perpendiculaire à l'axe du bâtonnet; leur diamètre variait dans des limites assez restreintes; souvent ils étaient comme fêlés sur la face basale, de façon à montrer leur composition d'éléments plus petits; leur épaisseur variait considérablement : il y avait toutes les formes intermédiaires entre une mince lamelle quadrilatérale et la forme presque cubique. Rarement ces quadrilatères étaient rhombiques, plus rarement encore ils montraient des transitions vers la forme hexagonale. Exemples : figure 41, A^{I}-B^{II}.

B. *Buissons*

Le 13 décembre 1898, entre 1h et 3h matin

Couche verticale de givre développée, pendant la nuit du 12 au 13 décembre, sur la couche horizontale.

État de l'atmosphère. Température : —3°,2 (18h la veille), —8°,9 (minuit), —11°,1 (3h). Brume. Calme.

A l'œil nu, c'étaient de petits bouquets se rétrécissant vers le point de fixation, ayant l'aspect farineux. Il était impossible de distinguer les éléments constitutifs des bouquets.

Observation microscopique. Les bouquets étaient composés de buissons présentant un système tout à fait irrégulier de ramifications dans tous les plans. Les ramifications formaient entre elles des angles très aigus Par places on voyait qu'elles étaient composées d'éléments plus petits, lesquels parfois se montraient composés, quoique peu distinctement, d'éléments plus petits encore. Le diamètre des ramifications variait d'un point à l'autre. Des grains étaient disséminés çà et là sur les ramifications. La figure 46 représente une des branches constitutives d'un buisson; sur cette branche, on voit une lamelle hexagonale superposée (*h*).

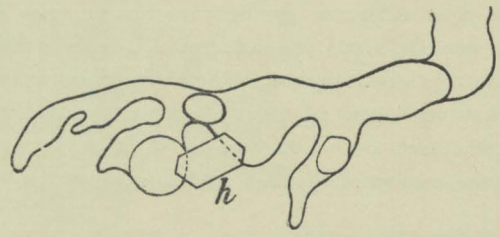


Fig. 46

C. *Plumes*

Le 28 novembre 1898, entre 1h et 4h matin

Couche verticale de givre développée progressivement, à partir de 23h la veille, sur la couche horizontale.

État de l'atmosphère. Température : —11°,3 (22h la veille), —14°,0 (minuit), —16°,3 (3h), —15°,6 (4h). Brume. Très faible courant d'air.

Observation à l'œil nu et à la loupe.

L'épaisseur de la couche était de 2 à 2ctm,5. Le givre était très délicat et se détruisait facilement sous l'action d'un choc ou d'un souffle. Il était composé de fines et régulières plumes, pour la plupart du type A^{I} de la figure 47, fixées par une extrémité (inférieure sur la figure). Par places, la couche dans toute son épaisseur était formée exclusivement par la juxtaposition de grandes plumes triangulaires, mais ordinairement des triangles plus petits étaient fixés l'un sur l'autre, sous un angle variable, en général petit.

Dans chaque individu, on pouvait distinguer une ou deux tiges portant des branches unilatérales ou bilatérales (dans ce dernier cas, les points d'insertion se correspondant exactement des deux côtés de la tige), très serrées, équidistantes, formant avec la tige un angle de 60°. La branche inférieure, insérée tout près du point de fixation de l'individu, était la plus longue et ordinairement aussi longue que la tige; à partir de ce point, les branches du même côté de la tige diminuaient de longueur, en général très régulièrement, de façon que leurs extrémités formaient ensemble une droite joignant le sommet de la tige à l'extrémite de la branche inférieure. Ordinairement un système latéral de branches montrait une striation parallèle à la tige, très fine (appendices secondaires). La tige, les branches et les stries paraissaient

(1) Une fois, l'accroissement du givre étant assez rapide, ces bâtonnets ont atteint, dans une journée, de 4 à 5 centimètres de longueur; ils se présentaient alors en cônes allongés fixés par leur base d'environ 0ctm,5 de diamètre.

parfaitement rectilignes. La figure 47, A^I, représente la forme la plus commune : un triangle isocèle, donc comme un sextant d'une lamelle hexagonale régulière. Sur la figure A^{II}, on voit deux systèmes de branches, dans le même plan : l'ensemble forme comme le tiers d'une lamelle hexagonale régulière. Figure A^{III} : comme un bras d'une étoile dendritique. Figure A^{IV} : deux systèmes de branches *du même côté de la tige :* l'inférieur est constitué de branches formant avec la tige un angle de 60° et striées parallèlement à celle-ci, tandis que le supérieur a des branches parallèles à la tige et ses stries forment avec cette dernière un angle de 60°. Figure A^V (préparation endommagée) : deux tiges formant entre elles un angle de 60°, donc comme une demi-lamelle hexagonale ; à l'intérieur de cet angle, les ramifications des deux tiges, qui s'empêchent mutuellement de se développer, semblent lutter. Figure A^{VI} (préparation endommagée) : une tige portant d'un côté un système de branches formant avec elle un angle de 60° ; la branche basale sert de base pour un autre système de branches formant avec elle un angle de 60° ; à ce système est uni, par une de ses branches, un individu dont le plan forme avec celui de son support un angle de 60° et dont la base est parallèle à la branche basale mentionnée. Figure A^{VII} : exemple d'une tige portant deux systèmes de ramifications, *dans deux plans* différents qui peuvent former entre eux un angle de 60°, cet angle pouvant être d'ailleurs quelconque et souvent très petit. Figure A^{VIII} : exemple de trois plumes fixées l'une sur l'autre par leurs branches basales, ces dernières coïncidant avec une branche de leur support ; les plumes formaient entre elles des angles très petits.

Observation microscopique.

1. Forme la plus simple (fig. 47, *B*). A l'œil nu, elle ressemblait à la figure A^{II} ; seulement, comme il n'y avait pas d'appendices secondaires, on ne voyait pas de striation. Sur la figure *B*, une partie seulement en est représentée. Deux systèmes de branches, dans le même plan, leurs points d'insertion se correspondaient parfaitement des deux côtés de la tige. Une double ligne axiale, à contours légèrement ondulés, aboutissait jusqu'à la base de l'individu. Les branches étaient en continuité parfaite avec la tige. Les contours des branches étaient courbes, irrégulièrement ondulés ; la cause en était, peut-être, que la préparation se trouvait au début de la fonte : sous mes yeux, les branches se raccourcissaient, s'amincissaient et leurs extrémités s'effilaient (*f*). Des grains de givre, dont j'ai représenté quelques-uns, distincts des points de fonte, étaient disséminés sur les branches et sur la tige ; leur aspect était arrondi, sans limites cristallines ; rarement ils montraient des contours plus ou moins hexagonaux. — Au moment de l'observation, j'ai constaté aussi l'apparition de très petites pointes hérissant la surface, bien distinctes comme telles aux bords de la figure et se présentant en ponctuation sur la face (appendice *f*) ; c'étaient les produits de la fonte.

2. Formes à appendices secondaires dont la présence donnait à la loupe la striation des systèmes des branches primaires (comparer les fig. A^I-A^{VIII}).

a) Formes ressemblant à celles de la figure *B* ; seulement les branches primaires étaient ramifiées et de la même façon que la tige : les branches secondaires étaient *bilatérales* et formaient avec la branche primaire un angle de 60°. Relativement rares.

b) Branches secondaires *unilatérales* (forme la plus commune). Dans les individus, comme sur les figures A^I, A^{II}, A^{III}, A^{VII}, toujours *du même côté* des branches primaires, à savoir du côté tourné vers le sommet de la tige. La figure *C* représente une partie d'une branche primaire avec des ramifications secondaires unilatérales, qui par places semblent fusionnées, montrant des traces plus ou moins distinctes de leur individualité ; on y voyait des figures internes lagéniformes, orientées, par rapport à la branche primaire, de la même façon que les branches secondaires (cavités internes ?). La double ligne longitudinale interne, axiale sur la figure *B*, se trouve ici *au bord* de la branche primaire.

Parfois, dans un système de branches primaires à ramifications unilatérales, se trouvait une région de branches à ramifications bilatérales ; la double ligne longitudinale marginale redevenait alors axiale.

Souvent les branches secondaires d'une branche primaire s'allongeaient fortement et devenaient ainsi des branches principales d'un nouveau système, adjacent au premier et faisant avec lui un angle de 60° ; ces branches portaient des branches secondaires unilatérales (comparer la fig. A^{IV}).

Aux extrémités des branches primaires, du côté libre des tiges et des branches, en général *aux limites* de l'individu, on voyait très souvent des formations lamellaires qui semblaient accolées aux parties limitantes de l'individu et qui souvent montraient une forme cristalline (hexagonale) et de fins dessins internes. La figure D^I montre une préparation endommagée, observée à la loupe, où, du côté libre de la tige *mn*, on voit de petits bourgeons tubulaires *p*. La figure D^{II} représente, vue au microscope, une partie du bord libre de cette tige, garni comme toujours de la double ligne marginale *aa*. Nous voyons ici d'abord une lamelle irrégulière l_1 qui semble accolée à la face inférieure de la tige ; puis, deux lamelles adjacentes, l_2 et l_3, allongées fortement dans le sens de la tige, accolées *sur* celle-ci et symétriquement par rapport à la double ligne *aa* ; puis une lamelle semblable l_4, plus étroite, asymétrique par rapport à la double ligne *aa* et qui paraissait appliquée *sur* la lamelle l_3 ; enfin, une grande lame *L*, en hexagone allongé dont le grand axe forme un angle de 60° avec la tige, et déformé dans sa partie supérieure gauche. Cette lame semblait inférieurement placée par rapport à l_2 ; sur elle se dessinait un système de lignes, plus ou moins symétrique par rapport au grand axe de la lame, formant une espèce d'hexagones incomplets, inscrits dans la lame et se rétrécissant irrégulièrement vers la racine de celle-ci ; on y voit des *cavités internes*, allongées suivant le grand axe de la lame.

Modifications de la couche verticale après 1h matin.

Tout en croissant, elle se modifiait : elle prenait l'aspect farineux. Cet aspect provenait de ce que les plumes constitutives de la couche verticale se couvraient de givre de plus en plus abondant d'un type spécial. C'étaient des *grains* de givre, sans aspect cristallin, agglomérés en chapelets de façon à former des *buissons* plus ou moins perpendiculaires à la surface de la plume. Les ramifications se fixaient accidentellement l'une à l'autre de façon irrégulière ; elles étaient de diamètre variable et leurs contours étaient courbes et irréguliers. Par places, les grains semblaient se fusionner en boudins plus ou moins longs; entre les chapelets de grains distincts et les boudins à structure homogène, il y avait tous les stades de transition. La figure 47, *E*, montre une partie d'un buisson examinée au microscope. Ce givre était donc analogue à celui observé le 13 décembre.

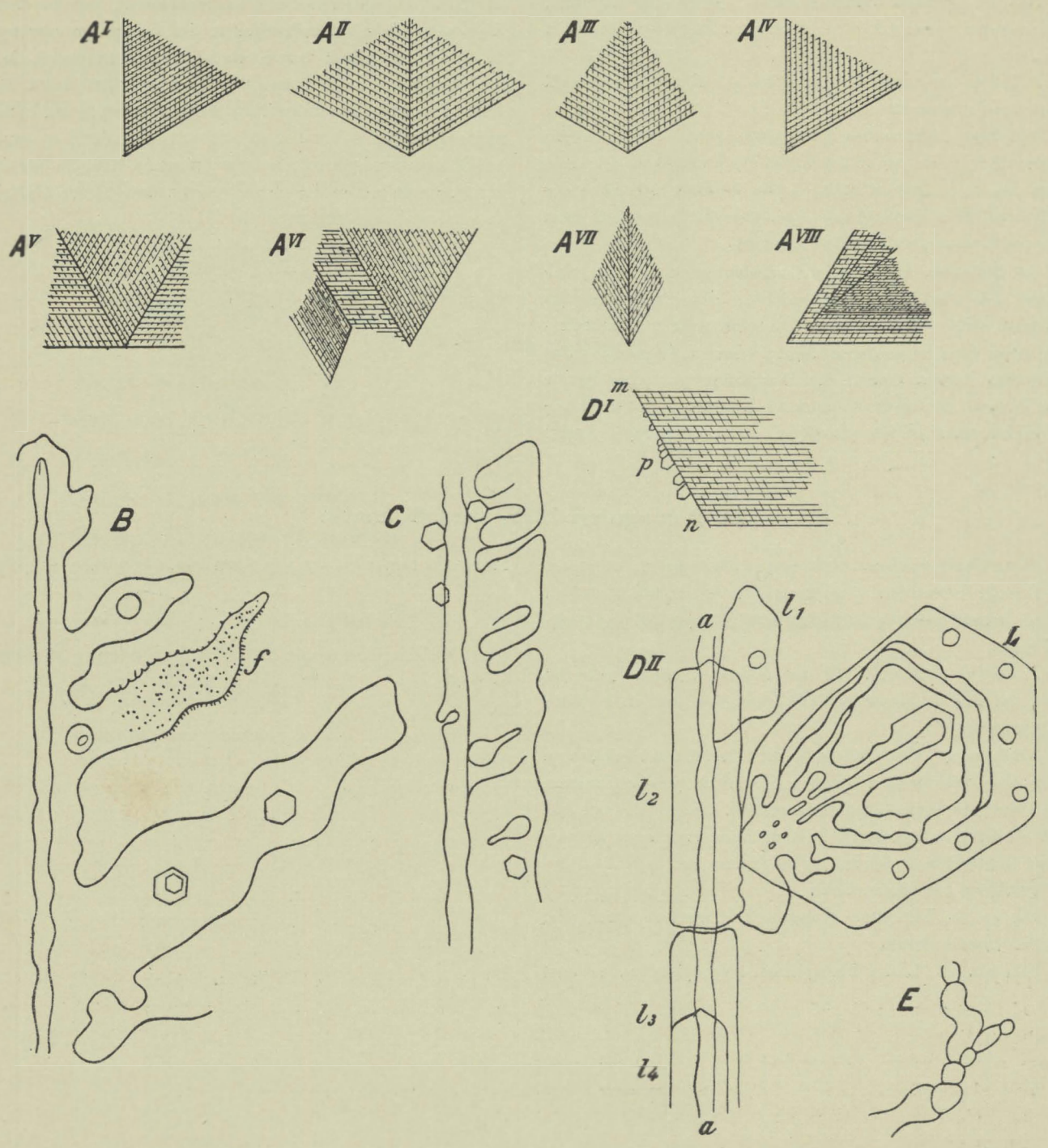


FIG. 47

D. *Écailles*

Le 11 novembre 1898, entre 9h et 10h matin

Givre qui s'était développé, pendant la nuit du 10 au 11 novembre, sur la porte de l'abri météorologique (en bois non peint), exposé au vent, et sur son toit (en bois peint), presque parallèle au courant d'air.

État de l'atmosphère. Température : —7°,8 (18h la veille), —15°,4 (minuit), —17°,8 (3h), —12°,0 (10h). Faible courant d'air. Ciel clair.

A l'œil nu, ce givre présentait l'aspect d'écailles hérissant la surface du support.

A la loupe, c'étaient des lames tétra-, penta- et (la plupart) hexagonales, fixées par un des angles ; ordinairement plusieurs lames (2-4) se fixaient au même point, formant entre elles des angles variables. Tendance à la symétrie bilatérale par rapport à un axe passant par le point d'insertion.

Au microscope, ces lames présentaient une structure particulière. Du point d'insertion partaient des diagonales qui divisaient ainsi toute la lame en triangles, deux dans un tétragone, trois dans un pentagone, quatre dans un hexagone. Les diagonales étaient constituées d'ordinaire par une double ligne formant une sorte de nervure, à bords ondulés irrégulièrement, mais parfois de façon assez symétrique ; cette nervure pouvait être continue ou plus ou moins discontinue, comme fractionnée ; parfois on trouvait comme deux nervures inscrites l'une dans l'autre. Ces nervures se rétrécissaient, plus ou moins distinctement, vers leur point de convergence. Les triangles étaient striés transversalement par des lignes simples ou doubles, parfaitement droites, qui se correspondaient d'un triangle à l'autre. Ils faisaient l'impression de ne pas être tous dans le même plan, comme s'ils constituaient différentes faces d'un polyèdre ; ainsi, par exemple, sur l'écaille représentée par la figure 48, les triangles droit et gauche étaient plus sombres et leur striation moins distincte que dans le triangle du milieu. La partie gauche de la figure était déjà en fonte.

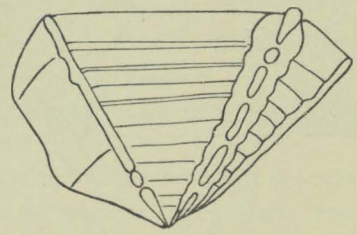


Fig. 48

Le 2 décembre 1898, vers 8h matin

Givre développé pendant la nuit sur l'abri météorologique.

État de l'atmosphère. Température : —8°,2 (18h la veille), —18°,0 (minuit), —21°,4 (4h), —16°,0 (8h). Léger courant d'air. Ciel clair.

A l'œil nu : écailles. (En même temps, sur le tube de verre, j'ai trouvé une croûte de la couche horizontale hérissée de bâtonnets.)

Au microscope, c'étaient des formes tout à fait analogues à celles observées le 11 novembre à la même place. C'étaient des lames pentagonales et hexagonales, à côtés inégaux. Le mode de fixation, les détails de la structure étaient les mêmes. Même impression de figures polyédriques.

Quelques cas particuliers :

Fig. 49, *A*. Une lame hexagonale à structure homogène, à côtés opposés égaux.

Fig. 49, *B*. Lame hexagonale incomplète *a ;* le côté manquant remplacé par une formation *b* terminée en pointe.

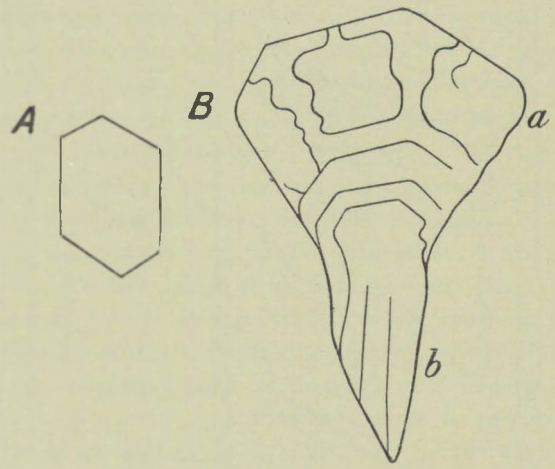


Fig. 49

TABLE DES MATIÈRES

PAGES

INTRODUCTION 3

Première partie : LA NEIGE.

Principaux types 4

Type lamellaire : Forme 5

Structure 17

Neige prismatique : Forme 32

Structure 36

Formations lamellaires apparentées aux prismes 38

Neige aciculaire 42

Granules apparentés à la neige aciculaire 45

Poudrin 45

Neige couverte de givre 46

Groupements de cristaux de neige 53

Flocons de neige 56

Relations entre les propriétés des cristaux de neige et la température observée 56

Seconde partie : QUELQUES OBSERVATIONS SUR LE GIVRE 61

Couche horizontale 62

Couche verticale 74

LISTE DES RAPPORTS SCIENTIFIQUES

PUBLIÉS SOUS LA DIRECTION DE LA

COMMISSION DE LA "BELGICA„

Les mémoires dont les titres sont précédés d'un astérisque (*) ont déjà paru.

Le classement des rapports dans les volumes III, IV, VI, VII, VIII et IX sera fait ultérieurement.

VOLUME I.

RELATION DU VOYAGE ET RÉSUMÉ DES RÉSULTATS, par A. de Gerlache de Gomery.

TRAVAUX HYDROGRAPHIQUES ET INSTRUCTIONS NAUTIQUES, par G. Lecointe.

NOTE RELATIVE A L'USAGE DES EXPLOSIFS SUR LA BANQUISE, par G. Lecointe.

VOLUME II.

ASTRONOMIE ET PHYSIQUE DU GLOBE.

*ÉTUDE DES CHRONOMÈTRES (deux parties), par G. Lecointe . . . . . Frs 33,50

RECHERCHE DES POSITIONS DU NAVIRE PENDANT LA DÉRIVE, par G. Lecointe.

OBSERVATIONS MAGNÉTIQUES, par C. Lagrange et G. Lecointe.

NOTE RELATIVE AUX MESURES PENDULAIRES, par G. Lecointe.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES SUR LES OBSERVATIONS ASTRONOMIQUES ET MAGNÉTIQUES, par Guyou.

VOLUMES III ET IV.

MÉTÉOROLOGIE.

RAPPORT SUR LES OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES HORAIRES, par H. Arctowski.

*RAPPORT SUR LES OBSERVATIONS DES NUAGES, par A. Dobrowolski . . . . . Frs 20,00

*LA NEIGE ET LE GIVRE, pr A. Dobrowolski. » 10,00

*PHÉNOMÈNES OPTIQUES DE L'ATMOSPHÈRE, par H. Arctowski . . . . . Frs 6,00

*AURORES AUSTRALES, par H. Arctowski . Frs 11,00

DISCUSSION DES RÉSULTATS MÉTÉOROLOGIQUES, par A. Lancaster.

VOLUME V.

OCÉANOGRAPHIE ET GÉOLOGIE.

RAPPORT SUR LES SONDAGES ET LES FONDS MARINS RECUEILLIS, par H. Arctowski et A. F. Renard.

RAPPORT SUR LES RELATIONS THERMIQUES DE L'OCÉAN, par H. Arctowski et H. R. Mill.

*DÉTERMINATION DE LA DENSITÉ DE L'EAU DE MER, par J. Thoulet. . . . . Frs 7,50

*RAPPORT SUR LA DENSITÉ DE L'EAU DE MER, par H. Arctowski et J. Thoulet. . . . . Frs 3,00

NOTE SUR LA COULEUR DES EAUX OCÉANIQUES, par H. Arctowski.

LES GLACES ANTARCTIQUES (*Journal d'observations relatives aux glaciers, aux icebergs et à la banquise*), par H. Arctowski.

NOTE RELATIVE A LA GÉOGRAPHIE PHYSIQUE DES TERRES ANTARCTIQUES, par H. Arctowski.

LA GÉOLOGIE DES TERRES ANTARCTIQUES, par A.-F. Renard.

NOTE SUR QUELQUES PLANTES FOSSILES DES TERRES MAGELLANIQUES, par M. Gilkinet.

VOLUMES VI, VII, VIII ET IX.

BOTANIQUE ET ZOOLOGIE.

Botanique.

DIATOMÉES (moins *Chaetocéres*), par H. van Heurck.

PÉRIDINIENS ET CHAETOCÉRÉS, par Fr. Schütt.

ALGUES, par E. De Wildeman.

CHAMPIGNONS, par MMmes Bommer et Rousseau.

*LICHENS, par E. A. Wainio . . . . . Frs 12,00

*HÉPATIQUES, par F. Stephani . . . . . } Frs 28,00

*MOUSSES, par J. Cardot . . . . . }

CRYPTOGAMES VASCULAIRES, par Mme Bommer.

PHANÉROGAMES, par E. De Wildeman.

Zoologie.

FORAMINIFÈRES, par A. Kemna et Van den Broeck.
RADIOLAIRES, par Fr. Dreyer.
TINTINOIDES, par K. Brandt.
*SPONGIAIRES, par E. Topsent . . . . . Frs 16,00
HYDRAIRES, par C. Hartlaub.
SIPHONOPHORES, par C. Chun.
MÉDUSES, par L. Schultze.
ALCYONAIRES, par Th. Studer.
PENNATULIDES, par H. F. E. Jungersen.
*MADRÉPORAIRES et HYDROCORALLIAIRES, par E. v. Marenzeller . . . . . } Frs 5,00
*ACTINIAIRES, par O. Carlgren . . . . . }
CTÉNOPHORES, par C. Chun.
HOLOTHURIDES, par E. Hérouard.
ASTÉRIDES, par H. Ludwig.
*ÉCHINIDES ET OPHIURES, par R. Kœhler. Frs 17,50
CRINOIDES, par J. A. Bather.
PLANAIRES, par L. Böhmig.
CESTODES, TRÉMATODES ET ACANTHOCÉPHALES, par P. Cerfontaine.
NÉMERTES, par Bürger.
NÉMATODES LIBRES, par J. D. de Man.
NÉMATODES PARASITES, par J. Guiart.
CHAETOGNATHES, par O. Steinhaus.
GÉPHYRIENS, par J. W. Spengel.
OLIGOCHÈTES, par P. Cerfontaine.
POLYCHÈTES, par G. Pruvot et E. G. Racovitza.
BRYOZOAIRES, par A. W. Waters.
*BRACHIOPODES, par L. Joubin. . . . . Frs 5,00
ROTIFÈRES ET TARDIGRADES, par C. Zelinka.
PHYLLOPODES, par Hérouard.
OSTRACODES, par G. W. Müller.
*COPÉPODES, par W. Giesbrecht . . . . . Frs 25,00
CIRRIPÈDES, par P. P. C. Hoek.
CRUSTACÉS ÉDRYOPHTHALMES, par J. Bonnier.
SCHIZOPODES ET CUMACÉS, par H. J. Hansen.
CRUSTACÉS DÉCAPODES, par H. Coutière.
PYCNOGONIDES, par G. Pfeffer.
ACARIENS LIBRES, par A. D. Michael et Dr Trouessart.
ACARIENS PARASITES, par G. Neumann.
ARANÉIDES, par E. Simon.
*MYRIAPODES, par C. v. Attems . . . . . } Frs 11,00
*COLLEMBOLES, par V. Willem . . . . . }
ORTHOPTÈRES, par Brunner von Wattenwyl.
HÉMIPTÈRES, par E. Bergroth.
PÉDICULIDES, par V. Willem.
DIPTÈRES, par J. C. Jacobs.
COLÉOPTÈRES, par Schouteden, E. Rousseau, A. Grouvelle, E. Olivier, A. Lameere, Boileau, E. Brenske, Bourgeois et Fairmaire.
HYMÉNOPTÈRES, par C. Emery, Tosquinet, E. André et J. Vachal.
SOLÉNOCONQUES, par L. Plate.
*GASTROPODES ET LAMELLIBRANCHES, par P. Pelseneer . . . . . } Frs 25,00
*CÉPHALOPODES, par L. Joubin . . . . . }
TUNICIERS, par E. Van Beneden.
POISSONS ET REPTILES, par L. Dollo.
BILE DES OISEAUX ANTARCTIQUES, par P. Portier.
OISEAUX (*Biologie*), par E. G. Racovitza.
OISEAUX (*Systématique*), par Howard Saunders.
*CÉTACÉS, par E. G. Racovitza . . . . . Frs 24,00
EMBRYOGÉNIE DES PINNIPÈDES, par E. Van Beneden.
ORGANOGÉNIE DES PINNIPÈDES, par Brachet et Leboucq.
ENCÉPHALE DES PINNIPÈDES, par Brachet.
PINNIPÈDES (*Biologie*), par E. G. Racovitza.
*PINNIPÈDES (*Systématique*), par E. Barrett-Hamilton . . . . Frs 4,00
BACTÉRIES DE L'INTESTIN DES ANIMAUX ANTARCTIQUES, par J. Cantacuzène.
LA BIOGÉOGRAPHIE DE L'ANTARCTIDE, par E. G. Racovitza.

VOLUME X.

ANTHROPOLOGIE.

MEDICAL REPORT, par F. A. Cook.
REPORT UPON THE ONAS, par F. A. Cook.
A YAHGAN GRAMMAR AND DICTIONARY, par F. A. Cook.

REMARQUES. — Par la suite, plusieurs autres mémoires s'ajouteront à cette liste.

Il ne sera éventuellement mis en vente que cinquante collections complètes des mémoires. Ceux-ci pourront être acquis, séparément, aux prix indiqués sur la présente couverture :

à **ANVERS,** chez **J.-E. BUSCHMANN,** éditeur, Rempart de la Porte du Rhin,
à **PARIS,** chez **LE SOUDIER,** 174-176, Boulevard Saint-Germain,
à **BERLIN,** chez **FRIEDLÄNDER,** 11, Carlstrasse, N. W. 6.
à **LONDRES,** chez **DULAU & Cº,** 37, Soho Square, W.

Ces prix seront réduits de 20 % pour les personnes qui souscriront à la série complète des mémoires chez l'un des libraires désignés ci-dessus. Toutefois, lorsque la publication sera terminée, les prix indiqués sur cette liste seront majorés de 40 %, pour les mémoires vendus séparément, et de 20 %, pour les mémoires vendus par série complète.