

## CHEMISCH WEEKBLAD

ORGAAN VAN DE NEDERLANDSE CHEMISCHE VERENIGING

## INHOUD

	Blz.		Blz.
Verhandelingen, Overzichten, Verslagen	1	Verenigingsnieuws	15
Prof. Dr. R. Hooykaas, Kristalstreping en kristalstructuur.		Mededelingen van het Secretariaat. — Secties. — Chemische Kringen.	
Uit Wetenschap en Techniek	8	Mededelingen van verwante verenigingen	15
Ir. H. C. A. Holleman, Continu of periodiek?		Mededelingen van verschillende aard	15
Octrooien.	9	Wij ontvingen.	16
Openbaar gemaakte octrooiaanvragen per 16 October 1950		Vraag en Aanbod	16
Boekbesprekingen.	12	Aangeboden betrekkingen	16
Ontvangen boeken.	13	Gevraagde betrekkingen	16
Allerlei nieuws op chemisch en aanverwant gebied	14	Agenda van Vergaderingen	16
Personalia	14		

Verhandelingen, Overzichten, Verslagen

## Kristalstreping en kristalstructuur

door R. Hooykaas

548.7

An analysis of crystal theories that are based on the phenomena of striation and dendritic growth is given. *Dortous de Mairan's* theory that salt pyrites and ice consist of needleshaped molecules and *Bourguet's* opinion that rock crystal and nitre are composed of little triangles, are expounded. There is a strong influence of *Leeuwenhoek's* and *Guglielmini's* ideas in *Bourguet's* theory. *Bergman's* theory of the structure of salts (1780) underwent the influence of *Dortous de Mairan* when the structure of calx spar, salt, hornsilver and galena are conceived to be indicated by striation. In 1780, forgetting his original theory of the lamellar structure of crystals, he assumes that the forms of most crystals arise from hollow pyramids of different shape and arrangement.

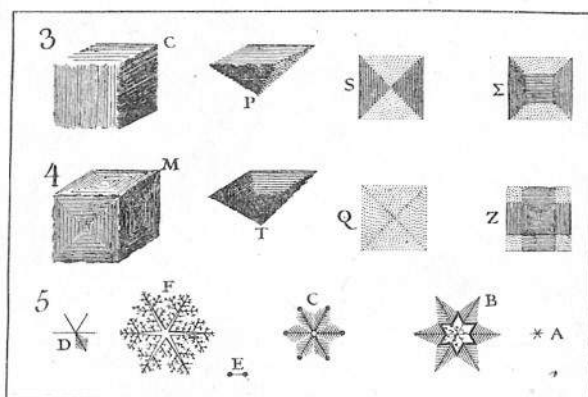
1. De vezeltheorie van *Dortous de Mairan*.

Onder de structuurtheorieën, die hun uitgangspunt voornamelijk zoeken in de streping en andere uitwendige verschijnselen, die de inwendige structuur zouden aanduiden, is die van *Dortous de Mairan* (1678—1771) wel de oudste. In zijn „Dissertation sur la glace”<sup>1)</sup> (1716) wijst hij op de constante vormen van zeezout, kalkspaat, pyriet, ijs en „honderd anderen waarover ik niet spreek”. Deze constantheid van vorm moet volgens hem haar oorzaak vinden in een bepaalde structuur, in een bepaalde rangschikking der deeltjes (parties intégrantes; particules intégrantes; molécules)<sup>2)</sup>.

Uit de verschijnselen bij zout, pyriet en ijs meent hij te mogen opmaken, dat de „particules intégrantes” zich verenigen tot naalden, die geen bij voorbaat vaststaande lengte hebben, maar zich wel op een bepaalde wijze bundelen. Met deze naalden nu knoopt hij direct aan bij de resultaten der waarneming.

Het zeezout<sup>3)</sup> vertoont volgens *Dortous de Mairan* kubussen of enigszins holle pyramiden bestaande uit naalden, die, zoals de waarneming „onder loupe of microscoop” toont, evenwijdig zijn aan de vier zijden van de vlakken (afb. 1, fig. 4 M). De

naalden vormen met elkaar tremels (d.z. vierkante trechters) (fig. 4 T). Een gehele verzameling van deze tremels (trémies) wordt ineengepast en levert

Fig. 1. Kristalstructuren naar *Dortous de Mairan* (1716).

een massieve vierzijdige pyramide op, waarvan de basis een der zijvlakken van de kubus is en de top tot in het centrum van de kubus reikt, waar hij de toppen van de vijf overige pyramiden ontmoet.

Fig. 4 Q geeft een veronderstelde doorsnede door het centrum, evenwijdig aan een der kubusvlakken; men krijgt dan slechts de dwarsdoorsneden der naalden te zien. In fig. 4 Z zien we een doorsnede op  $\frac{1}{4}$  van de hoogte van de kubus.

Het blijkt dus, dat *Dortous de Mairan* de naalden telkens zo lang veronderstelt als de te verklaren vormen dat eisen. Hij beroept zich niet op een directe waarneming van de doorsneden om te staven, dat de vezelstructuur, die hij aan het oppervlak meent te kunnen onderscheiden, zich tot in het inwendige voortzet. De tekeningen der doorsneden berusten op de theoretische veronderstellingen!

Pyriet<sup>4)</sup> vertoont eveneens een regelmatige vorm. De structuur daarvan wordt aangegeven door de streping, een verschijnsel, dat volgens *de Mairan* nog niet eerder vermeld is, hoewel het toch duidelijk zichtbaar is<sup>5)</sup>. De streping wijst er op, dat ook dit kristal uit naaldjes (petites aiguilles) opgebouwd is. Zij verenigen zich eveneens tot pyramides, die gezamenlijk weer een kubus vormen (of misschien ook een rechthoekig parallelipedum: dat wordt in het midden gelaten). Echter bestaat hier elke pyramide uitsluitend uit evenwijdig gerichte naalden (afb. 1, fig. 3 P), omdat de streping in een pyrietvlak in één richting, evenwijdig aan één ribbe, loopt. Daar de strepingsrichtingen van de drie paren evenwijdige kubusvlakken elkaar loodrecht kruisen (fig. 3 C), wordt dus ook aangenomen, dat de naalden in drie richtingen gebundeld zijn (telkens één voor twee tegenoverliggende pyramides), die elkaar loodrecht kruisen. In fig. 3 S zien we een doorsnede door het midden van de kubus evenwijdig aan een vlak: de strepen stellen naalden voor, de punten dwarsdoorsneden van naalden. Fig. 3  $\Sigma$  is een doorsnede op  $\frac{1}{4}$  van de hoogte.

De *Mairan* vraagt zich af welke oorzaak er kan zijn voor deze bepaalde rangschikking der naalden, die zeker niet toevallig is, want dan zouden er niet *altijd* kubussen gevormd worden<sup>6)</sup>. Daarbij ziet hij over het hoofd, dat bijv. ook pentagoondodekaeders bij pyriet veel voorkomen, zo dikwijls zelfs, dat men ze wel eens „pyritoëders” noemt!

Dat de streping niet louter een oppervlakteverschijnsel is, maar ook de inwendige structuur aanduidt, die geheel uit vezels (fibres) heet te bestaan, moet hij wel opgemaakt hebben uit het feit, dat ook zeer kleine pyrietkristallen deze streping vertonen en hij veronderstelt dan ook, dat bij de groei steeds nieuwe uit vezels bestaande vlakken toegevoegd worden<sup>7)</sup>. Van toeval kan hierbij volgens hem geen sprake zijn; daarvoor zijn de richtingen der „vezels” of „naalden” en de hoeken volgens welke zij zich in een vlak rangschikken te constant.

Mais cette disposition constante de fibres n'est pas seulement extérieure, elle est continuée jusqu'au centre du cube, toutes ses couches, toutes ses enveloppes suivent la même loi: de manière que ce cube peut être considéré comme résultant de l'assemblage de six pyramides quadrilatères qui ont pour base chacune de ses six faces, et leur sommet à son centre. On peut imaginer, dis-je, qu'un semblable cube est formé par l'apposition des plans de pareilles fibres les unes sur les autres, depuis l'extrême petitesse du cube naissant, jusqu'à l'état où on le voit. Chaque pyramide n'est composée, par conséquent, que de plans d'aiguilles ou de paillettes parallèles entre elles, et à celle de la pyramide qui lui est directement opposée par le sommet, mais perpendiculaires à celles des quatre pyramides latérales et contigues; ce que le hasard encore et des arrangements fortuits ne sauraient assurément pas produire, et qui ne peut être attribué, qu'à une tendance de parties bien déterminée et bien

constante, quel qu'en puisse être le mécanisme, et quelle qu'en soit la cause; en un mot telle que je la conçois dans les aiguilles de la glace, par rapport à l'angle sous lequel elles ont coutume de s'assembler dans un même plan, quoique d'une manière moins invariable...

Toutes ces substances et cent autres dont je ne parle pas, affectent donc un arrangement déterminé et une direction de fibres qui ne diffèrent de celles des parties de l'eau qui se glace que par l'angle sous lequel elles s'arrangent...<sup>8)</sup>.

Vooral de ijskristallen hebben zijn aandacht. Hij merkt daarbij op, dat de vezels hier steeds onder hoeken van  $60^\circ$  groeien en kan de verklaring, die *Descartes* in zijn „*Météores*” en *Erasmus Bartholinus* in „*De figura nivis*” (1661) ervoor gegeven hebben, niet aanvaarden<sup>9)</sup>. Als goed Cartesiaan begint hij met *Bartholinus* te erkennen, dat de verklaringen zuiver mechanistisch moeten zijn („Il insiste beaucoup, et avec raison, sur ce qu'il ne faut expliquer les phénomènes que par voie mathématique, et par le pur mécanisme”<sup>10)</sup>). Maar *Dortous de Mairan* weet er zelf geen bevredigende verklaring voor te geven, dat die hoeken juist  $60^\circ$  zijn: het mechanisme moet volgens hem veel ingewikkelder zijn dan *Descartes* vermoedde en tenslotte neemt hij in arren moede toch zijn toevlucht tot een „organiserend vermogen”, een voor een Cartesiaan zo grote ketterij, dat hij zich zelf moed moet inspreken door te verklaren, dat hij niet bang is om het te zeggen.

... un mécanisme plus compliqué, et dont nous ignorons le détail, une direction de fibres, de pores ou de tuyaux, et, je ne crains point de le dire, une espèce d'organisation qui rend ces particules susceptibles du mouvement ou de la tendance que leur imprime quelque fluide subtil qui se meut dans leurs interstices, ou dans les parties mêmes qui les composent, et qui les détermine à cet arrangement constant, toujours relatif à l'angle de  $60$  ou de  $120$  degrés<sup>11)</sup>.

*Dortous de Mairan* maakt van de uit „particules intégrantes” opgebouwde „vezels” of „naalden”, die hij bij zeezout, pyriet en ijs meent opgemerkt te hebben, een algemeen structuurbeginsel. Hij vertelt echter niet op welke gronden andere gevallen dan de genoemde (bijv. kalkspaat) tot vezelstapelingen terug te brengen zijn.

Toutes ces substances et cent autres dont je ne parle pas, affectent donc un arrangement déterminé et une direction de fibres qui ne diffèrent de celles des parties de l'eau qui se glace que par l'angle sous lequel elles s'arrangent...<sup>12)</sup>.

Over het verband tussen de vorm der „particules intégrantes” en het gedrag der vezels, wordt niet gesproken. Echt cartesiaans houdt hij zich hier bij vage algemeenheden: de parties intégrantes van water zijn „langwerpige spheroiden<sup>13)</sup>”, die van lucht zijn takachtig<sup>14)</sup>; de deeltjes van dezelfde stof zijn niet allen onderling gelijk; water begint te bevriezen doordat de traagste en ruwste deeltjes samenballen.

Aan *Dortous de Mairan*'s ideeën kan oorspronkelijkheid niet ontzegd worden. Hij kent oudere kristalbeschrijvingen, o.a. die van *Leeuwenhoek*<sup>15)</sup> (waarvan hij ook figuren overneemt, die we hier niet gereproduceerd hebben) en die van *Huygens*<sup>16)</sup> (over kalkspaat). Voor de sneeuwfiguren kan hij op een lange reeks van voorgangers wijzen, van wie hij vermeldt: *Kepler*<sup>17)</sup>, *Descartes*<sup>18)</sup>, *Musschenbroek*<sup>19)</sup> (aan wie hij afbeelding 5 F ontleent) en *Erasmus Bartholinus*<sup>20)</sup> (aan wie de afbeeldingen 5 A, B, C, D, E ontleend zijn). Blijkens zijn opmerking, dat hij de eerste is om de streping van pyriet te vermelden, heeft hij *Steno*'s werk niet gekend, want daarin



wordt reeds op de streping van pyriet in drieërlei richting gewezen<sup>21</sup>). Bij *Steno* hebben de strepen echter niets met de structuur te maken, maar zijn zij door langs het kristal vloeiende materiële stromingen ontstane groeven. *Steno's* verklaring hiervan is oppervlakkig en innerlijk tegenstrijdig. Geen van de genoemde onderzoekers heeft echter een theorie opgebouwd, die verwant is aan die van *Dortous de Mairan*.

## 2. De driehoekjestheorie van Bourguet.

De in Neuchâtel wonende, uit Nîmes afkomstige, natuuronderzoeker *Louis Bourguet* (1678—1742) heeft in een „Lettre philosophique”<sup>22</sup>) van 12 Febr. 1723 de kristalvorming besproken. Volgens hem is de meest verbreide opvatting over de bouw van het bergkristal die van *Leeuwenhoek*, nl. dat de moleculen dezelfde vorm hebben als het gehele kristal.

Les concrétions régulières dont nous parlons, ne se formeroient jamais, si les Molécules dont elles sont composées, n'avoient des figures déterminées. Les Philosophes en conviennent bien; mais ils ne sont pas d'accord sur les figures originales soit des Sels, soit des Crystaux... le sentiment le plus général est que les petites particules du Crystal ont la même figure que les grandes pièces; et M. Leeuwenhoek a prétendu le prouver par ses admirables Microscopes<sup>23</sup>).

Het gevoelen van *Leeuwenhoek* werd onder de Zwitserse mineralogen aangehangen door *J. J. Scheuchzer*<sup>24</sup>) (1672—1733), die zeer grote invloed had.

Unangesehen dieser Einwürfe (namelijk, dat bij zeshoekige bouwstenen van dezelfde vorm als het kristal er lege tussenuitruimten overblijven zouden) beliebe ich mir selbst und andern diejenige Meynung, nach welcher alle die kleinsten Theile der Crystallen gleich den grossen sechseckicht sind; hierzu veranlasset mich theils die versicherte Gleichheit der künstlichen Crystallisation oder Anschliessung des Salpeters oder andrer Salztheilchen gleicher Gestalt mit den grössern Stücken, welche welche der scharfsichtige Leeuwenhoek durch Hülff seiner Vergrößerungs-Gläsern der gelehrten Welt hin und wieder in seinen Schriften gezeiget...

Volgens *Bourguet* echter heeft *Leeuwenhoek* zich vergist. In 1710 zag *Bourguet* op de pyramidevlakken van een bergkristal kleine driehoekjes<sup>25</sup>) en hij neemt nu aan, dat de driehoekige pyramidevlakken uit een groot aantal van deze uiterst kleine gelijkzijdige driehoekjes opgebouwd zijn. Hij meent dus, dat er grote driehoekige schijven ontstaan, waarvan er zes met de toppen naar elkaar toe gaan liggen, zodat hun bases de zeshoekige omtrek van het kristal vormen. Deze grotere driehoeken worden op elkaar gestapeld; hun bases (strikt gesproken: zijvlakken der prismatische schijven!) vormen de prismavlakken van het bergkristal. Het bewijs hiervoor wordt volgens *Bourguet* geleverd door de transversale streping (zie afb. 2, fig. XVIII) op de prismavlakken. (Men denke zich dus een groot aantal gelijkzijdige driehoekige, zeer platte prisma's opeengestapeld zó, dat zij ieder met de top onder een scheve hoek rusten tegen de verticale kristal; hun „bases” zullen dan een geribd vertikaal prismavlak vormen en zes van deze stapels vormen het volledige zeszijdige prisma). *Bourguet* meent, dat deze structuur verwerkelijkt is bij bergkristallen met één pyramide, die aan de rots gehecht zijn en ook bij bergkristallen met twee pyramides, die tegengesteld gelegen zijn. Hij geeft echter geen inlichtingen, hoe hij zich de inwendige bouw van het centrum van het kristal denkt. Een exacte

structuurtheorie is bij hem nog allerminst aanwezig; het blijft bij vage aanduidingen.

... ces Prismes hexagones viennent d'une infinité de Triangles équilatéraux d'une petitesse extrême... et qui réunis dans un nombre suffisant, formant les grands Triangles dont les Bases, que le Liquide qui les environne contraint de s'approcher en rond, produisent l'hexagone même avec cette espèce de Lignes transversales plus ou moins marquées sur tous ses côtés, depuis chaque triangle en descendant, dans ceux qui sont attachés au Roc, et depuis un triangle à l'autre, dans ceux qui sont terminés en deux pyramides à peu près égales<sup>26</sup>).

Op de pyramidevlakken heeft hij alle combinaties, die uit gelijkzijdige driehoekjes ontstaan kunnen,

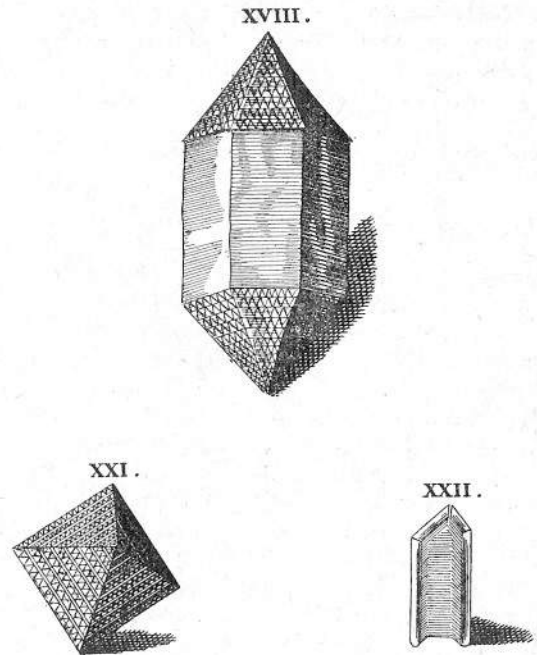


Fig. 2. Kristalafbeeldingen naar *Bourguet* (1723)\*).

Fig. XVIII. Piece de Crystal de Roche, où l'on a marqué les petits Triangles sur les deux pointes pyramidales opposées, avec les lignes transversales marquées sur les côtes de l'Hexagone (op. cit. p. 172).

Fig. XXI. Pyramide curieuse... de l'Alun, où l'on a marqué, fort imparfaitement, les petites pyramides qui paroissent sur les côtes de la grande pour faire concevoir comment elles la forment (op. cit. p. 173).

Fig. XXII. Prisme de Nitre, dans lequel on a marqué les sillons de trois côtés intérieurs tels qu'ils paroissent ordinairement à travers ou quand on l'a partagé en long. Ces sillons sont des portions des Tables que les petits Triangles forment, mais qui ne se joignent que vers la Pointe du Prisme, parce que le trop d'air et l'eau les en empêchent, comme il arrive au sel commun quand il forme une pyramide en se cristallisant. C'est absolument le même Mécanisme (ibid.).

waargenomen<sup>27</sup>). Dat *niet alle* bergkristallen deze driehoekjes vertonen, verklaart hij doordat bij zeer zuivere stof de driehoekjes zó dicht aansluiten, dat het oppervlak zo glad als ijs lijkt<sup>28</sup>). In 1711 heeft hij echter een kristal in handen gekregen, waarvan de top bestaat uit opeenvolgende „tables triangulaires”, die duidelijk gescheiden zijn door laagjes van een bleekgele aarde<sup>29</sup>).

De onregelmatigheden en de onderlinge verschillen van kwartskristallen worden nu „verklaard” met behulp van de driehoekjes, die zich kunnen verenigen „met hun bases, met hun zijden en met hun vlakken” (par leurs Bases, par leurs Côtes et par leurs Plans”)<sup>30</sup>). Bedoeld zijn dus: resp. de opstaande

zijvlakken van de platte driezijdige prisma's die hij als „driehoekjes” aanduidt en hun grondvlakken.

De gegeven verklaringen zijn waardeloos; de feiten worden opnieuw geconstateerd, maar dan in termen van de driehoekjestheorie. „Gebreken” worden aan onzuiverheden toegeschreven, welke zich tussen de driehoekjes dringen<sup>31</sup>), zodat de eerst erkende wetmatigheid van de vorm zelfs praktisch prijsgegeven wordt.

*Bourguet* acht het een belangrijk resultaat van zijn onderzoek, dat daardoor bewezen is, dat het „kristal” op soortgelijke wijze opgebouwd is als andere natuurlijke en kunstmatige „kristallisaties”. We merken hierbij op, dat de naam „kristal” zonder meer toentertijd het bergkristal aanduidde; *Bourguet* gebruikt het woord voor andere stoffen steeds met een nadere toevoeging (bijv. „Crystal d'Alun”).

L'origine du Crystal n'est point différente de cette de toutes les Crystallisations sans exception, soit naturelles, soit artificielles<sup>32</sup>).

Het lijkt dus dat hij aanneemt, dat *alle* stoffen uit „driehoekjes” opgebouwd zijn (... les triangles qui composent... le cristal et les autres corps cristallisés...). Door het vervolg van het betoog wordt deze conclusie echter niet gewettigd! De vorm der „molécules intégrantes” of „particules intégrantes” (zoals *Bourguet* ze afwisselend noemt) van andere stoffen bespreekt *Bourguet* vooral naar aanleiding van de vier door *Guglielmini* behandelde typen<sup>33</sup>). Hij is het met *Guglielmini* eens, dat de moleculen van steenzout kubusvormig en die van vitriool „parallèles rhomboides” zijn. Vitriool slijt volgens hem door de ligging der moleculen, ongeveer op de wijze van IJslands kristal (Crystal d'Islande)<sup>34</sup>). Hier wordt dus de *splijting* in verband gebracht met de rangschikking der moleculen en tevens uitgesproken, dat voor IJslands kalkspaat de molecuulvorm gelijk is aan de slijtvorm.

Voor aluin wordt de octaedervorm van de moleculen verworpen; hij kiest voor pyramidale moleculen (half-octaeders) en meent, dat deze wèl en volledige octaeders niet samen een octaeder-kristal kunnen vormen<sup>35</sup>). Hij zegt dergelijke kleine vierzijdige pyramiden op de vlakken van de aluinkristallen waargenomen te hebben (zie fig. 21, „où l'on a marqué, fort imparfaitement, les petites pyramides...” p. 173), maar zij waren niet zo nauw verenigd als de driehoekjes bij bergkristal: er bleven holle driehoekige ruimten tussen hen over<sup>36</sup>). Waarschijnlijk heeft *Bourguet* hier kleine kristalletjes, die „evenwijdig” op de grote gegroeid waren, gezien. Ook heeft hij skeletkristallen waargenomen (carcasses d'Octaèdre), waarbij wel de ribben, maar niet de vlakken tot ontwikkeling gekomen zijn.

Voor de salpeter meende *Bourguet* oorspronkelijk, dat de „particules intégrantes” kleine hexagonale prisma's waren, maar nadere waarnemingen hebben hem volgens zijn zeggen dichter bij *Guglielmini*'s standpunt gebracht. Het moeten dus kleine, gelijkzijdige driehoeken (petits triangles équilatéraux) zijn. Wel ontbreken op de zijvlakken der salpeterkristallen de strepen (lignes transversales), welke door de grote driehoekige tabletten (tables), die met hun zijanten de hexagonale prisma's vormen, veroorzaakt worden, maar men ziet deze strepen wel duidelijk inwendig als groeven (sillons), die de

tabletten scheiden (fig. XXII)<sup>37</sup>). Ook op de salpeterkristallen heeft *Bourguet* de driehoekjes soms met een goede loupe waargenomen<sup>38</sup>).

Het feit, dat de moleculen van salpeter en bergkristal, hoewel ze dezelfde vorm hebben (gelijkzijdige driehoekige tabletjes), niet tot identieke kristalvormen leiden, schrijft *Bourguet* aan bij de Schepping opgelegde wetten toe, zoals hij ook het verschil der karakteristieke vormen van moleculen van andere stoffen (les figures déterminées des Molécules des Sels et du Crystal) niet wetenschappelijk weet te verklaren, maar (evenals *Guglielmini*) slechts kan toeschrijven aan het feit, dat de Schepper ze nu eenmaal zó wilde en niet anders<sup>39</sup>).

Het cartesianisme heeft bij *Bourguet*, op zijn minst evenzeer als bij *Dortous de Mairan*, de „weg terug” moeten aanvaarden. Hoewel hij de newtonse attracties nog aan onbekende mechanische oorzaken toeschrijft (nl. cartesiaanse draaikolkjes<sup>40</sup>) en in de Voorrede aankondigt te zullen afrekenen met „vormgevende geesten”, intelligenties, zaadprincipes e.d. en de kristalvorming geheel aan mechanische oorzaken te zullen toeschrijven<sup>41</sup>), neemt hij toch een zekere organisatie in de anorganische natuur aan, naar analogie van de organische.

S'eloigneroit-on beaucoup de la Vérité, si l'on disoit que les Molecules qui sont de figure Triangulaire dans le Crystal, dans le Nitre, dans le Diamant et dans plusieurs autres Pierres précieuses; Rhomboïdale dans le Selenite (N.B. waarschijnlijk kalkspaat bedoeld!); Cubique dans le Sel; Rhomboïde dans le Vitriol; pyramidale dans l'Alun et d'autres figures déterminées dans toutes les Masses simples, sont des Corps organisés de diverses Classes...<sup>42</sup>).

*Bourguet* kent slechts één ander werk, dat over kristalstructuur handelt, nl. dat van *Guglielmini*. Hij meent echter, dat *Guglielmini* slechts naar de vorm der moleculen *geraden* heeft en slechts *wiskundige* beginselen toegepast heeft, zodat hij bleef aarzelen over de aluin en de salpeter. Over zijn eigen onderzoek is hij zeer voldaan; hij heeft de zaak door nieuwe *waarnemingen* verder gebracht en hij is, door zijn ontdekking van de vormingswijze van bergkristal op de hoogte geraakt van *alle* kristallisaties van welke soort dan ook. En daarom hoopt hij, dat de verstandige lezer zal bevinden, dat hij (*Bourguet*) dit onderzoek boven alles wat men tot nog toe ontdekt had heeft uitgebracht<sup>43</sup>).

Het nageslacht moet er anders over oordelen. Gebrek aan eenheid in zijn wijsgerig denken (hij meent de ideeën van *Newton*, *Leibniz* en *Malebranche* te kunnen verzoenen<sup>44</sup>) en vaagheid in zijn natuurwetenschappelijke hypothesen kenmerken zijn werk, dat niet op hetzelfde peil staat als dat van *Guglielmini*. Ook is het niet duidelijk, hoe hij beweren kan, dat het geval van het bergkristal hem de oplossing bracht van alle gevallen, want alleen voor andere *zeshoekige* kristallen heeft het bergkristal hem het voorbeeld geleverd. Immers, hij neemt aan, dat de moleculen van steenzout en vitriool (en, op grond van de splijting, ook die van kalkspaat) dezelfde vorm hebben als de kristallen daarvan („sont des assemblages de Molecules de la même figure”<sup>45</sup>)), een conclusie, die we, zoals hij zelf toegeeft, ook bij *Guglielmini* aantreffen („il n'a pas été difficile à Mr *Guilielmini* de décider que leurs Molecules intégrantes sont semblables à leurs Crystaux”<sup>46</sup>). Voor aluin neemt hij vierzijdige pyramiden aan op grond



van het feit, dat de kleine kristalletjes, die op de grote groeien, door hem met deze vorm gezien worden. Alleen voor zeshoekige kristallen, zoals bergkristal, salpeter (en ook diamant wordt er bij genoemd<sup>47</sup>) onderstelt hij, dat zij uit gelijkzijdige driehoekige tabletjes bestaan.

Zijn theorie over de vorming van het bergkristal is niet zo nieuw als hij meende. *Steno* had althans een deel ervan reeds gesteld. *Steno* was van mening, dat bij de groei van het bergkristal „de nieuwe kristal-materie niet op alle vlakken afgezet wordt, maar voornamelijk op de vlakken van de spits of de eindvlakken, wat tot gevolg heeft 1°, dat de middelste of vierkante (prisma-) vlakken uit de basis der eindvlakken samengesteld zijn, (N.B. d.w.z. uit de „lijnen“, die de bases der met de eindvlakken gelijkvormige tabletten vormen!), zodat deze middenvlakken bij sommige bergkristallen groter, bij andere kleiner zijn en bij sommige geheel ontbreken en 2°, dat deze middenvlakken bijna steeds gestreept zijn, terwijl de eindvlakken daarentegen de kentekenen van de op hen afgezette materie behouden<sup>48</sup>).

Nova haec materia crystallina non omnibus planis apponitur, sed ut plurimum solis planis apicis, seu planis extremis; quo fit. 1. Ut plana intermedia, seu plana quadrilatera componantur ex basi planorum extremorum, adeoque eadem plana intermedia in quibusdam crystallis maiora, in aliis minora sint, in quibusdam omnino desiderantur. 2. Ut plana intermedia fere semper striata sint, plana vero extrema, materiae sibi appositae indicia conservent.

Ook *Bourguet's* ontdekking van de driehoekjes was reeds eerder gedaan, want *Steno* merkt op, dat het oppervlak van het bergkristal „dikwijls driezijdige, ingedrukte pyramiden“ vertoont<sup>49</sup>). Ook *J. H. Hottinger*, die in zijn *Kristallogia* (1698) *Steno's* werk veel citeert, en *J. J. Scheuchzer* wijzen op de ruwheid van de pyramidevlakken van sommige bergkristallen; „ein Crystall, in dessen äussern Fläche einige Züge oder Strichlein, gleich als mit einer Nadel ausgestochen (fig. X)“<sup>50</sup>). Een eigenlijke structuurtheorie, gebaseerd op deze laatste verschijnselen werd door hen niet opgesteld, maar toch is het bevreedend, dat *J. J. Scheuchzer*, die *Steno's* werk kende en *Hottinger's* werk inspireerde<sup>51</sup>) *Bourguet* niet op hun waarnemingen attent maakte. Hij vestigde immers wel (in 1724 of iets later) *Bourguet's* aandacht op het kort na het schrijven van deze brief verschenen werk van *Cappeler*<sup>52</sup>).

*Bourguet's* theorie hebben we hier besproken, omdat zij ook ontstond naar aanleiding van verschijnselen aan het oppervlak van kristallen (nl. bergkristallen). De streping is hier echter niet de aanleiding tot de theorie, maar wordt er wel mee verklaard. Ook toont de streping niet, zoals de vezels bij de *Mairan*, welke de vorm der kristalbouwstenen is.

### 3. De pyramide- en vezeltheorie van Bergman.

*Torbern Bergman* (1735—1784) stelde in 1773 een theorie van de mineraalbouw op, waarin kristallen uit lamellen geconstrueerd worden. De verhandeling van 1773 werd ook opgenomen in een publicatie uit 1780<sup>53</sup>) maar toen werden er paragrafen aan toegevoegd, die hoofdzakelijk over zouten gaan. *Bergman* was er van overtuigd, dat de lamellen niet de laatste bouwstenen zijn, maar dat de vraag overwogen moet worden, of de „kleinste moleculen der samenstellende delen“ (*minimae partium integran-*

*tium moleculae*) van nature zelf een „hoekige“ vorm hebben of dat zij deze eerst door de kristallisatie krijgen<sup>54</sup>) (dezelfde probleemstelling als bij *Dortous de Mairan*). Om deze kwestie op te lossen let hij vooral op de strepen (stria). De grotere kalkspaat-rhomboëders (majores tesseræ spathosæ) vertonen niet zelden strepen in diagonale richting (striæ secundum diagonales), die de inwendige structuur openbaren<sup>55</sup>). Het blijkt nu, dat *Bergman* het werk van *Dortous de Mairan* heeft leren kennen en er de invloed van ondergaan heeft, want niet alleen gaat hij nu vooral de streping bij „zouten“ na, maar de figuren, die hij toevoegt aan die uit zijn verhandeling van 1773 (afb. 3, fig. 1, 2 en 4) zijn voor een deel aan de „Dissertation sur la Glace“ ontleend (nl. fig. 6, 7, 11 en 13). Voor keukenzout (sal culinaris) concludeert hij, dat het kubusvormige kristal uit zes vierzijdige holle pyramiden opgebouwd is, die met de toppen in het centrum van de kubus bijeenkomen; zij zijn met kleinere holle pyramides van dezelfde vorm opgevuld, totdat er een kubus ontstaan is (fig. 6). inwendige structuur wordt door de steeds kleinere vierkanten op de kubusvlakken aangeduid. Trouwens, de afzonderlijke pyramides (fig. 7) ziet men dikwijls en ook wel zes nog min of meer holle pyramides, die om het centrum verenigd zijn, zodat men bij indamping de hele ontwikkelingsreeks kan volgen<sup>56</sup>). Hetzelfde geldt volgens *Bergman* van „sal digestivus Sylvii“ (kaliumchloride), van hoornzilver (zilverchloride) en van loodglans (galena seu plumbum sulphuretum)<sup>57</sup>)<sup>58</sup>), dus allen kubusvormige kristallen. Ook het „nitrum quadrangulare“ (natriumnitrat), dat een „spaatachtige vorm heeft“<sup>59</sup>), bestaat uit een dergelijke verzameling van pyramides<sup>60</sup>). Bij de aluin zijn er soms lijnen, die de voegen der pyramides aangeven en soms zelfs toont hij de holle pyramides<sup>61</sup>). Ook andere zouten geven soms door zichtbare diagonalen dezelfde constructie aan: seignettezout heeft een zeszijdig prisma (horizontale doorsnede, fig. 8; onvolgroeid, fig. 9), dat ook diagonalen toont (fig. 10), die opbouw uit pyramides bewijzen en voor „microcosmisch zout“ (zuur natriumammoniumfosfaat) geldt hetzelfde<sup>62</sup>).

*Bergman* komt op grond van deze voorbeelden tot de stoutmoedige generalisering, dat alle kristallen uit pyramides ontstaan zijn; het verschil tussen de kristalvormen vindt zijn oorzaak in het verschil in aantal en afmetingen der zijden van die pyramides<sup>63</sup>). Hier ziet hij voorbij, dat hij in het oudere deel van zijn verhandeling uitgaat van een lamellaire opbouw der kristallen!

Hij wil dan nog aantonen, dat het meetkundig mogelijk is alle prismatische kristallen uit pyramides op te bouwen, die met hun toppen in één punt samenkomen. Door er pyramides op te zetten, die de top naar buiten richten, kan men de spitsen verklaren, die zich op de prisma's ontwikkelen<sup>64</sup>), bijv. de kubus ABCD (fig. 15) met de twee vierzijdige pyramides ABE en DCF. Op gezag van *Cappeler* beweert hij, dat deze vorm — zij het hoogst zelden — bij zeezout voorkomt.

Dezelfde vorm kan ook op andere wijze ontstaan, nl. uit een octaëder ABCD (fig. 16), als aan één top of aan beide toppen holle pyramides adb (fig. 16), die gelijk zijn aan de oorspronkelijke pyramides, opgestapeld worden<sup>65</sup>). Hij moet echter erkennen, dat hij nooit prismatische aluin gezien heeft, wel echter

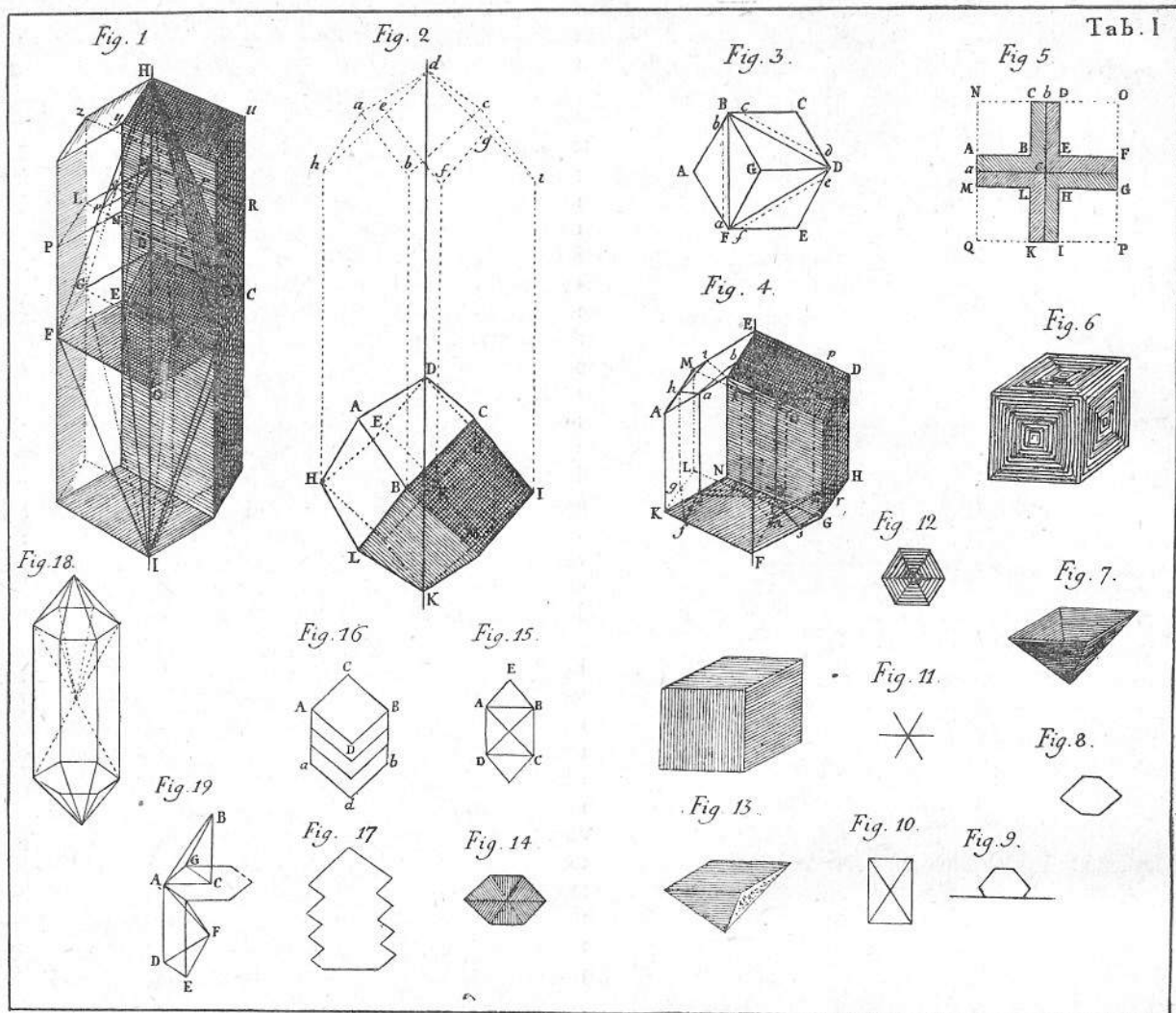


Fig. 3. Kristalstructuren naar Bergman (1780).

opeengestapelde onvolmaakte aluinoctaëders (fig. 17). Als we ons *Bourquet's* theorie over de vorming van prismavlakken bij bergkristal in herinnering brengen, kunnen we begrijpen, dat *Bergman* in de vergroeide aluinoctaëders een aanwijzing ziet, dat bij snellere opeenvolging van de individuen een (vermoedelijk gestreept) „prisma” tevoorschijn zou kunnen komen!

Een vierzijdige *pyramide* kan samengesteld worden uit vier tetraeders, een kubus uit 24 tetraeders, een kubus met twee „toppen” dus uit 32 tetraeders. „Ziedaar een nieuwe constructie, die ongetwijfeld nu en dan plaats vindt” roept *Bergman*, die verder delen blijkbaar niet meer nalaten kan, nu opgetogen uit. Als bewijs voert hij aan <sup>66)</sup>, dat de kristallen (*crystalli arsenicales*) verkregen door sublimatie van arseenmineralen <sup>67)</sup>, zowel in tetraedervorm als in octaedervorm <sup>68)</sup> voorkomen en dat de ene gemakkelijk in de andere overgaat. Op deze schaarse en twijfelachtige aanwijzingen gaat *Bergman* nu voort: het zeszijdig prisma kan moeilijk geheel uit zeszijdige pyramides opgebouwd worden; daar moeten wel tetraeders ingevoerd worden. Er zijn in fig. 18 (kennelijk een kwartskristal!) vier zeszijdige pyramides en zes vierzijdige pyramides; de eerstgenoemden bestaan weer uit 6 viervlakken (driezijdige pyramides), de laatste ieder uit 4 viervlakken (fig. 19), zodat het hele ding uit 48 viervlakken zou bestaan. „Als de natuur op

deze wijze te werk gaat”, laat *Bergman* er nuchter op volgen. Hij voelt blijkbaar zelf wel, dat hij wat ver doorgedraafd is en eindigt met de wijze raad, dat „men de geheimen der natuur liever moet onderzoeken dan raden” <sup>69)</sup>.

De vlotheid, waarmede *Bergman* steeds weer ander pyramidale onderdelen van kristallen aanneemt, zou hem wel van pas komen. Als hij de *pyriet-cubi*, die streping in verschillende richting vertonen, bespreekt, merkt hij op, dat dezelfde materie grote verscheidenheid van vormen kan doen ontstaan, want *pyriet* komt ook voor in viervlakken, achtvlakken, twaalfvlakken en twintigvlakken <sup>70)</sup>. Hij geeft echter geen aanwijzing, hoe deze vormen met de structuur in verband staan.

Alleen de zeshoekige prisma's van mica (fig. 14) verklaart *Bergman* uit evenwijdige lamellen <sup>71)</sup>; dank zij de uitgesproken bladsplijting worden nu, wat in dit betoog uitzondering is, geen pyramides als constructie-eenheden gebruikt.

Tenslotte dan de vraag: waaruit zijn de holle pyramides (of, soms, vlakke lamellen), die *Bergman* als bouwprincipes gebruikt, zelf weer opgebouwd? Hij stelt zelf de vraag: ontstaat de bepaalde structuur, doordat de kleinste bouwstenen zelf reeds een bepaalde vorm hebben of ontstaat de bepaalde vorm eerst doordat verscheidenen hunner zich op bepaalde



wijze rangschikken? En hebben ook de kleinste kristalletjes, die onzichtbaar zijn, reeds een structuur als de grote? De kleinste deeltjes, die we met het gewapend oog waarnemen, hebben zeker een bepaalde vorm, maar deze deeltjes zijn ongetwijfeld reeds samengesteld <sup>72)</sup>.

*Bergman* zegt, dat de oplossing slechts te vinden is door de kristallisatie te vergelijken met het bevriezen van water. Hij zoekt haar dus in dezelfde richting als *Dortous de Mairan*, wat hij trouwens niet verheelt. *Dortous de Mairan* heeft aangetoond, dat bij het bevriezen van water twee bindingswijzen tussen de waterdeeltjes (atomi) optreden. De ene rijgt ze tot draden (fila) aaneen, de andere brengt deze draden onder hoeken van 60° bij elkaar (fig. 11, ontleend aan *de Mairan*; fig. 12, dezelfde als fig. 11, maar nu geheel opgevuld met „draden”). Als deze twee neigingen in de atomen aanwezig zijn, kunnen de draden ook driehoeken vormen en kunnen uit die driehoeken pyramides ontstaan, zelfs al ontberen de kleinste atomen een bepaalde vorm. Maar aangezien er verschillende driehoeken en pyramides in de natuur optreden, die verschillende kristalvormen voortbrengen, is het waarschijnlijk, dat deze verschillen ontstaan doordat de atomen verschillende vorm hebben, zodat de aantrekkingskracht tot verschillende resultaten leidt, ieder echter met constante hoeken (constantes tamen angulos) <sup>73)</sup>. Een nader onderzoek acht hij nodig, want harspoeder, dat zeker uit niet-gelijkvormige deeltjes bestaat, wordt door de electrophoor toch ook in figuren verspreid, die op een sneeuwster gelijken <sup>74)</sup>.

*Bergman* beschouwt dus de aantrekkingskracht als oorzaak der vereniging van atomen en atoomgroepen (fila); het cartesianisme is hier door het

newtonianisme overwonnen. Het verbaast ons niet deze gedachte te vinden bij de grote voorstander der „electieve attracties”.

Het specifieke resultaat deze attractiekrachten wordt toegeschreven aan de specifieke meetkundige vorm der atomen.

Tevens valt op, dat *Bergman* verscheidene stappen bij de kristalgroei onderstelt: atomen met specifieke vorm, welke zich verenigen tot draden, welke — dank zij de specifieke vorm der atomen — zich weer onder bepaalde hoeken rangschikken tot vlakken, die meestal ook weer onder bepaalde hoeken zich rangschikken tot holle pyramiden, die zich dan verenigen tot kristallen. Evenals bij *Dortous de Mairan* is de waarneming, waarop de theorie berust, vooral die van de *streping*, die bewijzen moet, dat de vlakken uit „draden” bestaan. Deze „streping” heeft hij niet alleen opgemerkt bij de bekende voorbeelden van *de Mairan* (steenzout, pyriet), maar ook bij de „arsenicale” octaeder- en tetraederkristallen, welke wanden uit „draden” bestaan <sup>75)</sup>; bij kalkspaat <sup>76)</sup>; bij mica <sup>77)</sup>, waar de lamellen eveneens uit „fila elementaria” (fig. 14) bestaan en bij ijs (fig. 12).

Van het standpunt van de moderne structuurtheorie bezien, beschrijft *Bergman* zijn kristallen als veellingen, want de oriëntering der draden in de pyramides, die het kristal vormen, is niet door het hele kristal gelijk (fig. 12, 14, 13).

Dat de verschijnselen, waarop hij zijn theorie baseert, van zeer uiteenlopende aard zijn (combinatiestreping, tweelingstreping, skeletgroei, zonale groei) kon hij niet weten; ernstiger is het bezwaar, dat hij zo vlot van standpunt verwisselt, wat niet alleen blijkt bij het nu behandelde, maar nog duidelijker zal blijken, als we later de rest van *Bergman*'s kristallografische werk zullen bespreken.

<sup>1)</sup> *Dortous de Mairan*, Dissertation sur la Glace ou explication physique de la formation de la Glace et de ses divers phénomènes, Paris 1749 (eerste druk: Bordeaux 1716). <sup>2)</sup> p. 19, 363. <sup>3)</sup> p. 155. Zeezout vertoont inderdaad dikwijls skeletgroei. <sup>4)</sup> Pyriet vertoont dikwijls combinatiestreping van pentagoondodekaeder en kubus, evenwijdig aan de kubusribben. <sup>5)</sup> p. 156. <sup>6)</sup> p. 156. <sup>7)</sup> p. 158. <sup>8)</sup> p. 158—159. <sup>9)</sup> p. 165—166. <sup>10)</sup> p. 164. <sup>11)</sup> p. 168. <sup>12)</sup> p. 160. <sup>13)</sup> p. 144. <sup>14)</sup> p. 140. <sup>15)</sup> p. 154. <sup>16)</sup> p. 155. <sup>17)</sup> p. 162. <sup>18)</sup> p. 163. <sup>19)</sup> p. 161. <sup>20)</sup> p. 164, 313.

<sup>21)</sup> *N. Steno*, De solido intra solidum naturaliter contento Florentiae, 1669, p. 50—51.

<sup>22)</sup> *Bourguet*, Lettres philosophiques sur la formation des sels et des cristaux et sur la génération et le mécanisme organique des plantes et des animaux. À l'occasion de la pierre belemnite et de la pierre lenticulaire. Avec un Memoire sur la Theorie de la Terre. Amsterdam 1729.

<sup>23)</sup> Lettres, p. 42.

<sup>24)</sup> *Scheuchzer*, J. J., Beschreibung der Natur-Geschichten des Schweitzerlands, Dritter Theil, Zürich 1708. Wij citeren naar *Scheuchzer*, J. J., Natur-Geschichte des Schweitzerlandes, hrsg. von Joh. George Sulzern, Zürich, 1746, p. 128.

<sup>25)</sup> Lettres, p. 44. <sup>26)</sup> p. 42—43. <sup>27)</sup> p. 43. De driehoekjes hebben volgens *Bourguet* allen de top in dezelfde richting zie fig. XVIII). <sup>28)</sup> p. 44. <sup>29)</sup> p. 45. Het z.g. „Kappenquarz” heeft pyramidale kappen, door lagen vreemde stof gescheiden. <sup>30)</sup> p. 46. <sup>31)</sup> p. 49. <sup>32)</sup> p. 45. <sup>33)</sup> p. 52. <sup>34)</sup> p. 53. <sup>35)</sup> p. 54. <sup>36)</sup> p. 55. <sup>37)</sup> p. 55—56. Fig. XXII geeft de doorsnede van een hol kristal te zien, waar op de drie hier zichtbare vlakken een soort trap optreedt, doordat de tabletten niet volledig naar binnen uitgegroeid zijn, behalve dan aan de top, waar zij elkaar ontmoeten. Volgens *Bourguet* heeft deze onderbroken groei dezelfde oorzaak als de vorming van holle pyramides bij zeezout (c'est absolument le même Mécanisme, p. 56); dus skeletgroei. <sup>38)</sup> p. 56. Salpeter is rhombisch, maar „von ausgesprochen

pseudohexagonalem Charakter” (Groth). <sup>39)</sup> p. 57. <sup>40)</sup> p. 50. <sup>41)</sup> p. XIII, p. 125. <sup>42)</sup> p. 57. In strijd hiermede is p. XXXV, waar elke organisatie van de kristalmoleculen verworpen wordt! Zie echter weer p. 66. <sup>43)</sup> p. XIV. <sup>44)</sup> p. 51. <sup>45)</sup> p. XXXVI. <sup>46)</sup> p. 52. <sup>47)</sup> Namelijk op p. 57, niet op p. XXXVI.

<sup>48)</sup> *Steno*, op. cit. p. 39.

<sup>49)</sup> *Steno*, op. cit. p. 41; interdum etiam pyramides trilateras, et depressas ostentat.

<sup>50)</sup> *Scheuchzer*, op. cit. p. 123; fig. X p. 118: *Hottinger*, Krystallogia 19. ed. Niggli, Aarau 1946, p. 33, Abb. 2, fig. 5 A; ed. orig. p. 7.

<sup>51)</sup> *Hottinger*, p. 58 (ed. orig. p. 25), zie ook *Scheuchzer*, op. cit. p. 129.

<sup>52)</sup> Lettres, p. XXX.

<sup>53)</sup> *Torbern Bergman*, Opuscula physica et chemica, pleraque seorsim antea edita, jam ab auctore collecta, revisa et aucta. vol. II, Upsaliae 1780. Verhandeling XII: De formis crystallorum, praesertim a spatho ortis. <sup>54)</sup> II, p. 10. <sup>55)</sup> II, p. 11 B. <sup>56)</sup> II, p. 11 C. <sup>57)</sup> II, p. 11 C.

<sup>58)</sup> Loodglans heeft soms, evenals steenzout, door geringe ruimtevuiling, trapachtig ingevallen vlakken, vooral bij kristallen, die door sublimatie bij de ertsverwerking ontstaan (*Klockmann*, Lehrb. d. Mineralogie, 10. Aufl. Stuttgart 1923, p. 355) en deze heeft *Bergman* ook in handen gehad (zie *Opusc.* II, p. 19). Kristalskeletten bij zeezout, zie *Klockmann*, p. 140.

<sup>59)</sup> Het vormt rhomboëders, isomorph met die van kalkspaat. Het werd ook wel, minder juist, „nitrum cubicum” genoemd.

<sup>60)</sup> *Opusc.* II, p. 11 C. <sup>61)</sup> II, 12. <sup>62)</sup> II, 12. <sup>63)</sup> II, 13. <sup>64)</sup> II, 19. <sup>65)</sup> II, 20. <sup>66)</sup> II, 20. <sup>67)</sup> II, 19. <sup>68)</sup> Arseenbloesem, As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, kristalliseert in octaeders. *Klockmann*, op. cit. p. 402.

<sup>69)</sup> *Opusc.* II, 21. <sup>70)</sup> II, 23. <sup>71)</sup> II, 23 E. <sup>72)</sup> II, 13. <sup>73)</sup> II, 14. <sup>74)</sup> II, 14. <sup>75)</sup> II, 19. <sup>76)</sup> II, 11 B) <sup>77)</sup> II, 23 E.