

# HVORDAN BEGYNDTE KRYSTALLOGRAFIEN

Harry Micheelsen

I vinteren 2001 kom forfatteren under sin sortering af Geologisk Museums gamle instrumenter over en skuffe med mindst fire forskellige slags gamle krystalmodeller, de fleste uden etikette, men vedlagt oplysninger om forskellige samlinger af krystalmodeller samt en kopi af en protokol over 39 anskaffelser fra 1796 til 1800 underskrevet af professor Gregers Wad den 31.12.1800. Den 2.1.1797 er der for 25 rigsdaler anskaffet, Romé DeLisles samling af krystal-lisations Modeller i brændt Ler<sup>4</sup> og den 6.4.1800 er der formedelst 44 rigsdaler og 43 skilling anskaffet, Haüy's modelsamling<sup>7</sup>. Bare for en sammenligning er der købt to diamanter til 6 rigsdaler og 24 skilling. Hele forbruget på 4 år og 3 måneder var i alt 588 rigsdaler og 49 skilling.

Oplysningen om brændt ler gjorde det straks sandsynligt at en snes af modellerne tilhørte Romé DeLisle's klassiske samling, og interessen steg, fordi jeg genkendte disse små, kødfarvede krystalmodeller fra noget forlængst udrangeret undervisningsmateriale. En eftersøgning i skuffen med rester forøgede antallet af modeller, og deres autenticitet blev bekræftet ved hjælp af tavlerne i Romé DeLisles store værk fra 1783 (Romé DeLisle skrev sit navn på flere forskellige måder; her er benyttet den anvendte i hovedværket fra 1783).

Nogle af modellerne har endnu de oprindelige numre, og på nær én kunne alle bestemmes ved hjælp af figurerne hos Romé DeLisle. Af de oprindelige 338 modeller har vi 66, som er vist i figur 3 til 7.

Disse krystalmodeller er ikke bare interessante, da de ikke blot er et af de ældste spor af undervisningen i geologi på Københavns Universitet, men også vidnesbyrd om krystallografiens og mineralogiens tidligste udvikling; og netop derved opstod der for mig nogle problemer:

- 1) Hvorfor var både systematikken og krystalbeskrivelsen fuldstændig anderledes end den, man bruger i dag?
- 2) Hvorfor var mineralnavnene anderledes?
- 3) Hvorfor er beskrivelsen og dermed identifikationen af det enkelte mineral uhyre mangelfuld?
- 4) Hvorfor er de fleste af modellerne så lidt slidte?

Det korte, præcise, altomfattende og intetsigende svar på alle fire spørgsmål er utvivlsomt: '1783'. Men hvordan nu det? Lad os se nærmere på de fire spørgsmål:

### 1) KRYSTALLOGRAFIEN

Først må vi gøre os klart, at Romé DeLisle (1736-1790) er en kirkefader indenfor krystallografien, og Stenos lov kaldes ofte i Frankrig - og ikke helt uretfærdigt - for Romé DeLisles lov. Nok havde Steno allerede i 1666 beskrevet kantvinklens konstans, men kun hos mineralet 'Crystalus', hvad der i det mindste lige siden Plinius, som omkom ved Vesuvs udbrud i år 79, simpelthen var navnet på det, vi nu kalder bjergkrystal.



Stregtegning af Romé DeLisle  
Fra Mineralogical Record vol. 25  
No. 6, 1994, p. 52

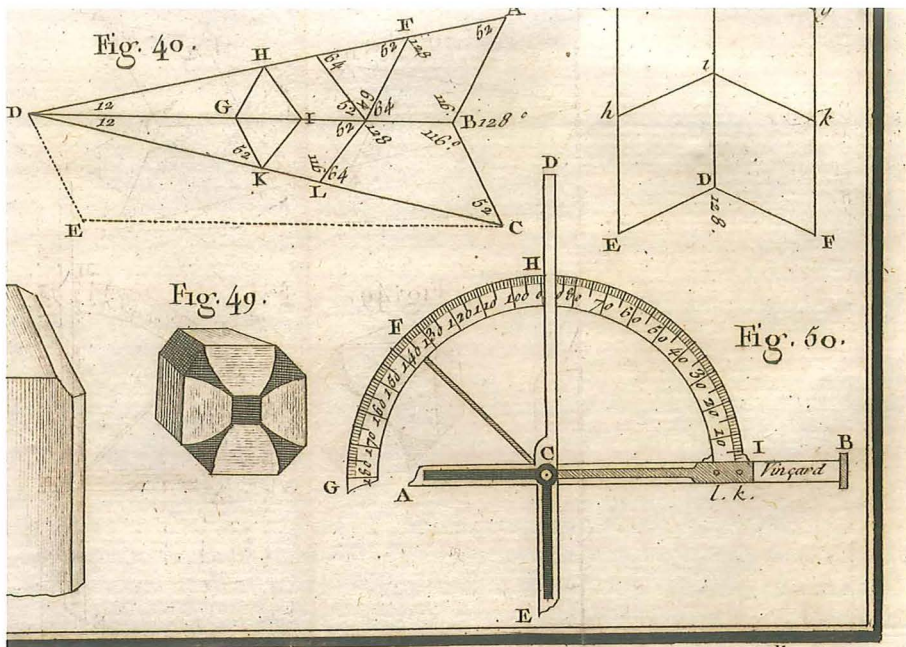
#### Romé DeLisle (1736-1796)

Som søn af en kavaleriofficer gik han efter at have studeret humaniora i Paris ind i militæret og kom til fransk Indien, hvor han blev taget til fange af englænderne i 1761. Efter tre år som krigsfange i Kina fik han lov til at tage hjem til Paris.

Som civilist satsede han nu på naturvidenskaben og blev af en rig peruviansk naturalist sat til at udarbejde et katalog over dennes mineralsamling. Det blev på 600 sider og blev publiceret i 1767. Det kom til at tjene som auktionskatalog, da samlingen blev solgt, og øjensynligt med en så stor succes, at rige samlere gang på gang satte Romé DeLisle til at lave deres mineralkataloger og gav ham adgang til deres samlinger.

I 1770 publicerede Romé DeLisle sin første 'Essai de Crystallographie ...', hvori krystallerne blev defineret. Selvom den var

en væsentlig udvidelse af Linnés fortegnelse måtte den revideres, og et problem var, at man endnu ikke kunne lave nøjagtige, projicerede tegninger. Derfor blev Romé DeLisles assistent Carangeot (1742-1806) sat til at lave modeller af krystallerne, og det var under dette arbejde, at han opfandt sin vinkelmåler og lagde grunden til Romé DeLisles berømmelse. Det reviderede 4 binds værk udkom i 1783, men allerede året efter tog Haiüy den krystallografiske førertrøje med sin teori om krystallernes struktur. Romé DeLisle var meget kritisk overfor Haiüy's teorier og Haiüy ignorerede Romé DeLisle's arbejder. Haiüy havde de bedste forbindelser, så Romé DeLisle blev aldrig medlem af det franske akademi.

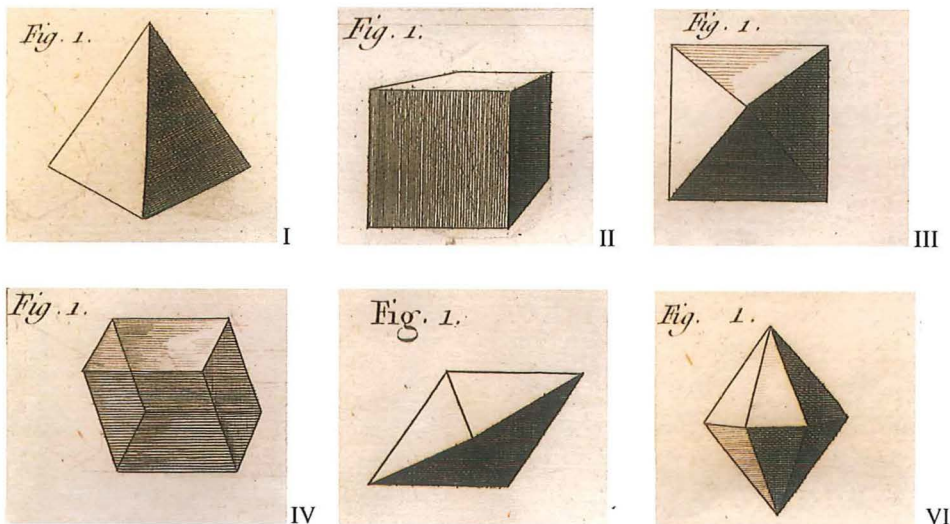


Figur 1. Del af Romé DeLisle's planche VIII med Carangeots kontaktgoniometer som figur 50.

Romé DeLisle var den første der benyttede begrebet krystal i den moderne betydning i hans 'Essai de Cristallographie ou Description des figures géométriques, propres à différens Corps du Régne Minéral, connus vulgairement sous le nom des Cristaux. Paris 1772'. Læg også mærke til at han ikke brugte betegnelsen 'mineraux', men 'legemer fra mineralriget' - mineraler var noget, der kom ud af en mine. Under udarbejdelsen af en meget tiltrængt anden udgave skulle Romé DeLisles assistent Carangeot lave modeller af krystallerne, modeller som skulle kunne reproduceres og sælges sammen med bøgerne. Herunder opfandt han en egnet vinkelmåler til krystaller, nemlig det kontaktgoniometer der ses på Romé DeLisle's planche VIII som figur 50 og her på figur 1. Derfor blev det Romé DeLisle, der ud fra vinkelmålinger af talrige mineraler viste den almene gyldighed af Stenos lov.

Den krystallografiske systematik og beskrivelse skulle altså først 'opfindes' i 1783. Man havde som forbillede Linnés morfologisk baserede 'Systema Naturæ' fra 1735, man kunne bruge vinkelmåleren, man kunne regne rumgeometrisk, og man kendte til symmetrilinie, symmetriplan og sandsynligvis symmetripunkt; men symmetriakser, krystalsystemer og krystalklasser blev først opdaget langt senere. Romé DeLisle valgte at beskrive krystallerne i grupper, der blev afledt





Figur 2. Romé DeLisle's 6 grundformer. I tetraeder, II terning, III det retvinklede - dvs. kubiske- oktaeder, IV det rhomboidale parallelepipedum, dvs. vort trigonale rhomboeder, V det rhomboidale oktaeder, dvs. vor orthorhombiske bipyramide, VI dodekaedret med trekantede flader, dvs. vor hexagonale bipyramide.

ud fra seks grundformer, I til VI, som han modificerede, dels ved at lade andre flader afskære kanter og hjørner og dels ved at ændre dimensionerne, hvad der gjorde at grupperne ikke harmonerer med senere tiders krystalsystemer.

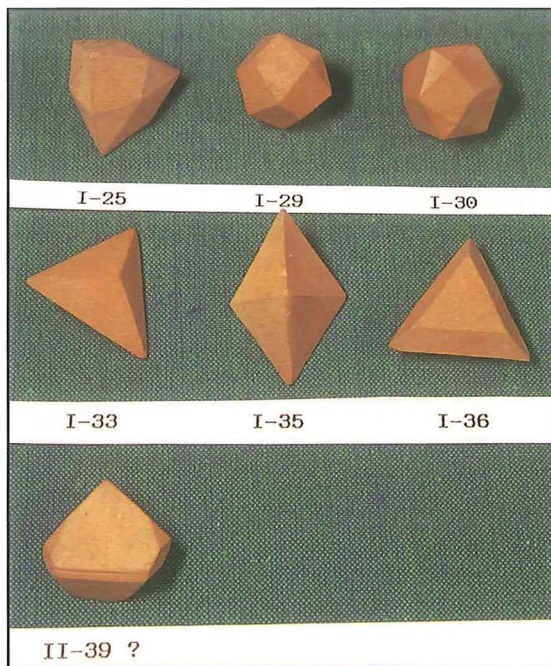
De seks grundformer og deres talrige modifikationer viste Romé DeLisle på syv plancher, I - VII. Vi ser grundformerne på figur 2 som faksimile udklip fra hans guldene plancher, alle betegnet figur 1, fordi de var udgangspunkt for hans modifikationer. Vort arvegods af krystalmodellerne ses på figur 3 til 7, hvor modellernes numre er DeLisle's egne. Til sammenligning henviser jeg til de fine billeder i Ole Johnsens bog fra 2000 som (O.J. side nummer, figur nummer).

I Tetraedret og dets modifikationer, figur 3 (O.J. side 29, figur 30a & b).

II Terningen eller hexaedret og dens modifikationer, også figur 3 (O.J. side 27, figur 26a).

III Det retvinklede oktaeder, dvs. vort kubiske oktaeder og dets modifikationer, figur 4 (O.J. side 27, figur 26f).

IV Det rhomboidale parallelepipedum, dvs. vort trigonale rhomboeder og dets modifikationer, figur 5 (O.J. side 38, figur 47a & b).



Figur 3. Geologisk Museums modeller fra Romé DeLisle's gruppe I, baseret på tetraedret og fra gruppe II, baseret på terningen.

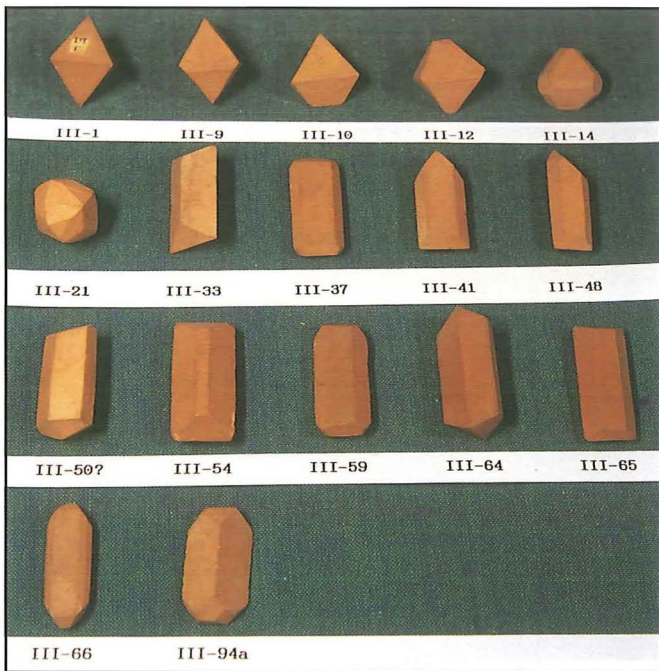
V Det rhomboidale oktaeder, dvs. et legeme med 8 flader med rhombeformet grundrids, f. eks. den orthorhombiske bipyramide og dens modifikationer, figur 6 (O.J. side 210, figur 301).

VI Dodekaedret med trekantede flader, dvs. vor hexagonale bipyramide og dens modifikationer, også figur 6 (O.J. side 36, figur 43 a & b).

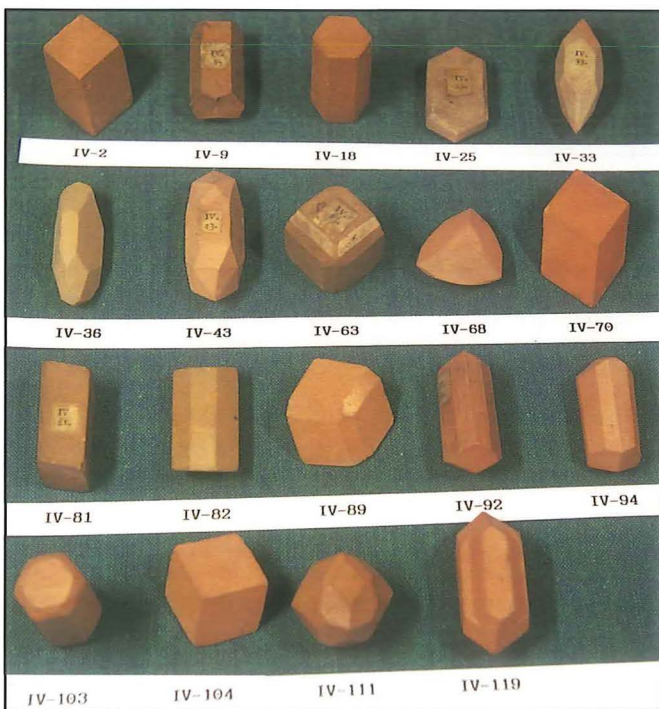
Hertil kom

VII Diverse modifikationer af kombinationer af oktaeder og parallelepipedum, en opsamlingskasse forårsaget af at klassifikationen ikke er stringent. Heri befinder sig bl.a. staurolits korstvillinger uden angivelse af, at det skulle være tvillinger, figur 7 (O.J. side 267, figur 399).

Hos Romé DeLisle er der indeholdt i beskrivelsen af den enkelte krystal, hvor mange flader krystallen har af hver slags: trekantede, firkantede, smalle rektangler, femkantede, sekskantede, og så videre. Grundformerne optræder næsten som vore krystalformer, dvs. som mængder af flader; men begrebet 'krystalform' bruges ikke. Beskrivelserne er simple, men vanskelige at bruge, for man skal nok have haft krystallerne i hånden i samme rækkefølge som Romé DeLisle for at kunne komme til samme resultat.

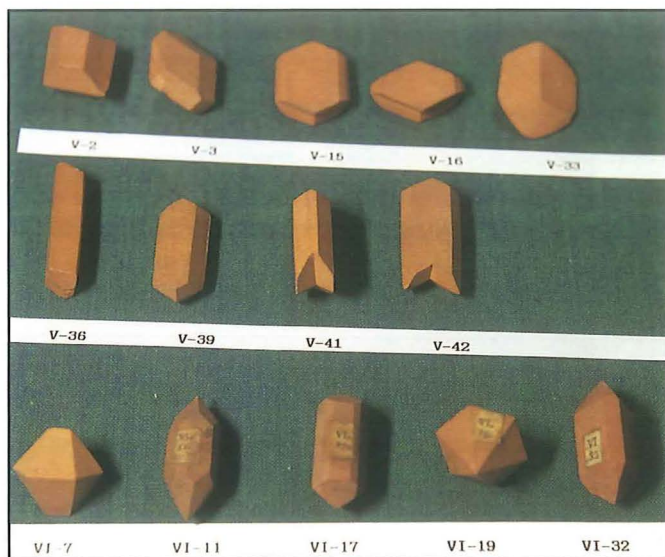


Figur 4. Geologisk Museums modeller fra Romé DeLisle's gruppe III, baseret på det kubiske oktaeder.



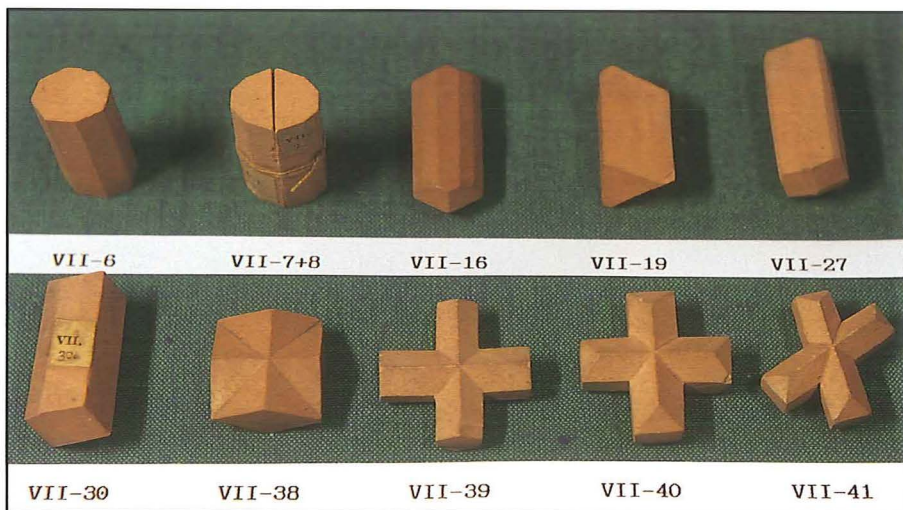
Figur 5. Geologisk Museums modeller fra Romé DeLisle's gruppe VI, baseret på det trigonale rhomboeder.





Figur 6. Geologisk Museums modeller fra Romé DeLisle's gruppe V, baseret på den orthorhombiske bipyramide, og fra gruppe VI, baseret på den hexagonale bipyramide.

Romé DeLisle benyttede flere slags modifikationer af grundformerne. For eksempel vil vi betegne III-9, III-10 og III-12 i figur 4 som fortrukne udgaver af oktaedret III-1. I figur 3 er I-35 en tvilling af tetraedre, mens I-36 er en flad spineltvilling af oktaedre. I I-25 er tetraedret blevet til et hexakistetraeder (sammenlign med O.J. side 29, figur 30c). Vort trigonale rhomboeder ses i figur 5 som IV-104, hvor ændringen til IV-89 blev betegnet som afskæring af kanter med seks sekskantede flader, hvor vi vil sige en kombination af et positivt og et negativt rhomboeder (O.J. side 38, figur 47 a & b). I figur 5 ser vi IV-18, som vi kalder et hexagonalt prisme med pinakoid; men man må gennem Romé DeLisle's tavler for at se, hvordan han til calcits rhomboeder først tilføjer et hexagonalt prisme i IV-9, derpå skifter til turmalinkrystaller uden at skelne mellem rhomboeder og to trigonale enkeltpyramider (O.J. side 294, figur 444) for så at komme til det hexagonale prisme med pinakoid IV-18 i smaragd (sammenlign med rød beryl i O.J. side 291, figur 439). Krumme flader ser vi i figur 6 som V-33, der forestiller gips (sammenlign med diamant i O.J. side 91, figur 122). En af gipsens tvillinger ses som V-42 i figur 6 (sammenlign O.J. side 216, figur 309). I figur 6 skal VI-19 forestille kvarts, men viser den hexagonale bipyramide, medens kvartsmodellen i VI-32 (begge med de originale numre) viser den trigonale bipyramide, svarende til at begge er tvillinger uden at dette anføres (sammenlign O.J. side 356, figur 544 og figur 545). I figur 7 viser VII-7+8 en sammenbundet tvilling af urea, mens de tre staurolittvillinger VII-39 til VII-41 end ikke omtales som tvillinger.



Figur 7. Geologisk Museums modeller fra Romé DeLisle's gruppe VII, baseret på kombinationer af oktaeder og parallelepipedum.

## 2) MINERALNAVNE

Nogle af mineralnavnene hos Romé DeLisle er næppe til at genkende. For eksempel dækker hans 'schorl' ikke kun vor tids sorte turmalin, men også andre sorte, blanke, hårde mineraler som hornblende og augit. Mineralnavnene var på Romé DeLisle's tid ligesom i dag dels de fra bjergværkerne arvede, dels navne som mineralets beskriver har fundet på, gerne efter særlige egenskaber, efter findestedet eller efter en kendt person. Navnene oversatte man frejdigt til sit eget sprog, og ældre mineralhåndbøger som Dana (1951) opregner mængder af forældede navne. En væsentlig forskel er, at der er sket en stor frasortering af overflødige navne, først foretaget af forfatterne til store samleværker, og siden 1960 foretaget af The International Mineral Associations Commission for New Minerals and Mineral Names, som efter puristiske, krystalkemiske kriterier har bortluget mange gode gamle navne.

## 3) BESKRIVELSE OG IDENTIFIKATION

Et særligt problem er vanskeligheden ved at finde ud af hvilke mineraler, der er afbildet. Tekstens beskrivelser af mineralerne henviser nok til afbildningerne, men mineralbestemmelsen er ret usikker undtagen for ædelsten og for velkendte malme. Som redskaber til bestemmelsen havde Romé DeLisle kun lokalitetsangivelsen, håndstykkebeskrivelsen - især farven, som vi jo ikke stoler på, vægtfyldemåling og enkelte kemiske reaktioner som f. eks.: bruser svagt med syre.



Kemien var nemlig i sin vorden, og de fleste grundstoffer var endnu ikke kendt. For eksempel blev kalium først opdaget i 1807 og aluminium i 1825. Selvom Lavoisier havde påvist oxygen i 1772, så diskuterer Romé DeLisle hele kemien ud fra den forældede flogiston teori, som lader forbrænding skyldes, at det upåviselige 'flogiston' forlader det brændende stof.

Så selvom det var Romé DeLisle's tanke at bestemme mineralerne ud fra vinkelmålinger, måtte han for at bestemme de autentiske vinkler benytte navnene i mineralsamlinger, hvad der let kunne give fejl.

Referencesamlinger var netop ved at blive opbygget ved de første bjergakademier. Disse startede i 1767 i Freiberg i Sachsen, i 1770 i Schemnitz i Ungarn, i 1773 i Sankt Petersborg, i 1775 i Clausthal i Harzen, men først i 1783 i Paris.

#### 4) MANGLENDE SLID

Romé DeLisle's gamle krystalmodeller er forbavsende lidt slidt, og nok er de hårde, men også skøre. Jeg gætter på, at det meget begrænsede slid skyldes deres ringe anvendelighed, som må have været årsag til at Haiüy's nu udslidte modelsamling blev anskaffet kun 3 år senere. Men hvorfor er de fleste af modellerne så væk? Kunne de ikke bare have ligget ubrugt siden år 1800? En mulig forklaring er at en del, der ikke var altfor mærkelige, kortvarigt blev taget i brug under den store ekspansion af undervisningen omkring 1960, og at knækkede modeller er blevet smidt ud (ingen vidste, at de var klenodier), kun overleverne endte i skuffen med rester.

#### KONKLUSION

Overfor et materiale som dette, får man let den form for storhedsvanvid, hvor man med en tilfreds gniden sig i hænderne ynker forfædrene; men pas på: for hvordan ser vort arbejde og vore metoder ud om 221 år! Endnu for 100 år siden var mineralogien domineret af vinkelmåling - i Romé DeLisles ånd - og våd kemisk analyse. For 70 år siden lå vægten på polarisationsmikroskopi. I dag er vort fag domineret af røntgendiffraktion og grundstofanalyse med elektronmikrosonde, men for eksempel er forståelsen af mineralernes elektromagnetiske egenskaber endnu i sin vorden og kræver at Schoenflies's og Fedorow's 230 3-dimensionale rumgrupper fra 1891 udvides med et par tusind 4-dimensionale grupper som omtalt af B. K.Vainshtein i 1981. Hårdhed er eksperimentelt usikkert og aldrig forstået; vægtfyldebestemmelse, som er afgørende for mineralets formel, er i dag noget af det mest usikre, vi kan foretage os; lysbrydningsindex kan måles men næppe beregnes; selv for et så velundersøgt mineral som diamant er der tvivl om krystalklassen, måske var Romé DeLisle slet ikke

så tosset da han afbildede diamant både som afledt af tetradret i I-33 i figur 3 og som afledt af oktaedret III i figur 2.

Som bekendt er det svært at spå om fremtiden, men antager vi, at der kommer ca. 1% nye mineraler om året i 221 år, så er  $1.01^{221}$  ca. 9, hvorved vor tids ca. 3.800 mineraler skulle blive til ca. 35.000 i år 2225, medens Romé DeLisle kun skulle have haft 400 - 500 mineraler. Umiddelbart lyder dette vildt, men måske er det for beskedent, hvis man betænker, at den gigantiske faglige ekspansion der er sket i det krystallografiske nabo-område omkring halvledere, kan brede sig til mineralogien.

Jeg må derfor konkludere, at der ikke er mere grund til at ynke Romé DeLisle, end der er til at ynke vor tids forskere, for jeg tror, at den der har navngivet faget, bevist dets grundlov og opstillet den første (ubrugelige) systematik stadig vil blive husket i år 2225.

## FORKLARINGER

**Krystal:** Før 1773: Det vandklare mineral kvarts. Efter 1773: Legemer, der er vokset med plane flader. Efter 1912: Alle stoffer, der har en atomar struktur, der som helt ens celler gentages regelmæssigt som et tredimensionalt gitterværk, kaldet et rumgitter. Cellens længder og vinkler kaldes gitterkonstanterne. Der findes 14 forskellige slags rumgittere.

**Krystalmorfologi:** Læren om krystallers ydre former, den ældste del af krystallografien. Symmetri i krystalmorfologien: Egenskaber, der gentager en del af en krystals ydre enten som et spejlbillede eller helt identisk efter en drejning, f. eks. efter en halv omdrejning.

**Krystalklasser:** De morfologiske symmetriegenskaber kan kombineres på 32 forskellige måder, og krystallerne inddeles i klasser, der svarer til hver af disse måder.

**Krystalsystemerne** er 6 eller 7 samlekasser for krystalklasser, der har ens forhold mellem gitterkonstanterne. Det er gerne meget lettere at bestemme et minerals krystalsystem end dets krystalklasse.

**Krystalform** betegner en mængde af ens flader, frembragt af alle krystallens symmetriegenskaber. Der er oftest flere krystalformer på en krystal.

**Tvillingekrystal:** Flere ens krystaller, der er vokset sammen, som om de var styret af en symmetriegenskab, der ikke findes i den enkelte krystal. Efter forløbet af grænsefladen skelner man mellem kontakt-tvillinger og gennemvoksnings-tvillinger.

**Våd kemisk analyse** er den klassiske metode til at bestemme et minerals kemiske sammensætning. Den er baseret på, at mineralet opløses enten efter smeltning med soda eller med syre, hvorefter mængden af de enkelte grundstoffer i opløsningen bestemmes.

**Polarisationsmikroskopi** sker med et specielt mikroskop, hvor mineralet ses med gennemfaldende polariseret lys, hvorved krystallens retningsafhængige, optiske egenskaber kan bestemmes.

**Rumgrupper:** På atomar målestok finder man nok de samme symmetriegenskaber som i de 32 krystalklasser, men også nogle, hvor en spejling eller en drejning er ledsaget af en forskydning på +/- 1/2, 1/3, 1/4 eller 1/6 af rumgitterets gitterkonstant. Alle disse egenskaber kan kombineres med de 14 rumgitre på i alt 230 måder, kaldet de 230 rumgrupper, som styrer hvordan hvert atom gentages i enhedscellen.

**Røntgendiffraction:** Røntgenstråler afbøjes lovmæssigt af elektronerne i en krystal, hvad der kan benyttes til at bestemme ikke blot mineralets gitterkonstanter og dets rumgruppe, men også positionen af hvert atom i enhedscellen. Desuden anvendes diffraktionsmøsteret som 'fingeraftryk' ved identifikation af mineralet.

**Elektronmikrosonden** er et faststof-analyseapparat, hvor en fint fokuseret elektronstråle rammer mineralet og derved frembringer røntgenstråling, som måles, hvad der giver os mineralets grundstofsammensætning, bortset fra de fire-fem letteste grundstoffer.

**4-dimensionale symmetrigrupper:** Nok beskriver rumgruppen krystallens symmetri i tre dimensioner, men elektronerne roterer og kan give atomerne en retningsegenskab (et spin), så der kan fremkomme symmetri og antisymmetri, hvad der er afgørende for de magnetiske egenskaber. For at beskrive dette må vi tilføje en slags fjerde dimension, hvorved der fremkommer 4895 'Fedorovgrupper'. Disse er forlængst i brug i krystal fysiken, men endnu ikke i mineralogien.

## Nyttige referencer

Dana, J.D. and E.S. Dana (1951): The System of Mineralogy. J.Wiley and sons, Inc.

DeLisles, Romé (1783): 'Cristallographie ou Descriptions des formes propres à tous les corps du règne mineral, dans l'état de Combinaison saline, pierreuse ou métallique. Avec fig. et tabl. synopt. de tous les cristaux connus 2<sup>e</sup> éd. Paris '.

Groth, P. (1926): Entwicklungsgeschichte der Mineralogischen Wissenschaften, 2.udg.1970, Springer-Verlag, ISBN 3 500 21860 1.

Johnsen, O. (2000): Mineralernes Verden, Gads Forlag.

Vainshtein, B.K.(1981): Modern Crystallography I. Springer-Verlag.