

Sur un modèle cristallographique en bois exceptionnel de la collection de l'École des Mines de Saint-Étienne : description, numérisation, reproduction

Jean Rieu, Victor Beley, Bernard Guy

► To cite this version:

Jean Rieu, Victor Beley, Bernard Guy. Sur un modèle cristallographique en bois exceptionnel de la collection de l'École des Mines de Saint-Étienne : description, numérisation, reproduction. 2021. emse-03223055

HAL Id: emse-03223055

<https://hal-emse.ccsd.cnrs.fr/emse-03223055>

Preprint submitted on 10 May 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Sur un modèle cristallographique en bois exceptionnel de la collection de l'École des Mines de Saint-Étienne : description, numérisation, reproduction

Jean Rieu*, Victor Beley**, Bernard Guy*

*Professeur émérite de l'École des Mines de Saint-Étienne

**Étudiant ENSA Paris-La Villette, ESTP Paris-Cachan et Aalto University (Finlande)

Résumé

L'École des Mines de Saint-Étienne possède une importante collection de modèles cristallographiques en bois et en terre cuite (plusieurs centaines de modèles). Un travail de restauration et mise en valeur de ces modèles a été effectué (années 2000), au cours duquel un échantillon exceptionnel a été découvert : polyèdre de 170 facettes, du système cubique. Après une description du modèle, on rapporte le travail de numérisation effectué, suivi d'une reproduction par impression 3D et de la réalisation d'un modèle en bronze par fonderie de précision.

Mots-clés : modèles cristallographiques en bois ; modèles cristallographiques en terre cuite ; Ecole des Mines de Saint-Étienne ; système cubique ; reproduction ; numérisation ; impression 3D ; fonderie de précision

1. Introduction

L'École des Mines de Saint-Étienne possède une collection minéralogique de très grande valeur patrimoniale. En plus des milliers de pièces provenant de la nature, il existe une collection de modèles cristallographiques en bois de plus de 400 pièces et une collection de modèles en terre cuite d'une centaine de pièces. Il s'agit d'un ensemble qui constitue l'une des plus importantes collections françaises. Un grand nombre de promotions d'élèves Ingénieurs Civils des Mines ont manipulé ces modèles, dans le cadre des cours de cristallographie géométrique, jusque vers les années 1970.

En 1993, les collections qui avaient perdu de leur intérêt pédagogique ont été entreposées dans les réserves de l'École des Mines jusqu'en 2009. C'est sous l'impulsion de Monsieur Philippe Jamet, directeur de l'École, que leur sauvegarde a été entreprise. Un groupe de travail a été constitué avec des minéralogistes compétents et quelques volontaires pour restaurer l'ensemble de la collection.

Nous ne traiterons pas ici de l'immense collection des pièces minérales d'origine naturelle qui mériterait, à elle seule, plusieurs publications et nous nous limiterons à cet outil pédagogique rare qui est l'ensemble des modèles cristallographiques en bois ou en terre cuite. Ces objets ont été manipulés par un grand nombre de promotions d'élèves-ingénieurs lorsque la cristallographie géométrique était au programme de leurs études.

Parmi milliers de pièces remises à jour, les modèles cristallographiques ont été retrouvés, classés, répertoriés et mis en valeur, avec une présentation nouvelle. Ils sont classés suivant les 7 systèmes de Bravais (Fig. 1 et 2).



Figures 1 et 2. Quelques modèles cristallographiques en bois de l'École des Mines de Saint-Etienne, avant (à gauche) et après (à droite) restauration. La plus grande dimension des modèles est d'environ 50mm.

Après un rappel sur l'histoire des modèles cristallographiques, sera donnée la description de ceux de la collection de l'École des Mines qui comprend, en particulier, un élément d'une qualité exceptionnelle par la prouesse technique dont il a fait l'objet, à l'époque de sa réalisation. Il s'agit d'une pièce du système cubique qui comporte 170 facettes et qui porte le numéro 416. Nous avons voulu la reproduire par les moyens modernes d'usinage sur des machines numériques et par fonderie d'art.

2. Les modèles cristallographiques

2.1. Histoire des modèles cristallographiques

Romé de l'Isle¹ (1736-1790) s'est intéressé aux formes géométriques des cristaux avec leurs formes primitives et leurs troncutures dans ses ouvrages de cristallographie de 1772 et 1783. Il eut l'idée, grâce à un goniomètre, de fabriquer des modèles en terre cuite pour l'enseignement de la cristallographie.

Parallèlement, l'abbé René Just Haüy² (1743-1822) a défini les bases de la cristallographie, dès 1784, dans son « Essai d'une théorie sur la structure des cristaux », suivi de son « Exposition abrégée de la théorie sur la structure des cristaux », en 1792, où il relie la forme des cristaux à la structure élémentaire de leurs éléments de base (molécules intégrantes qui deviendront, en 1840, les mailles). Il a eu l'idée de faire fabriquer des modèles en bois.

Le musée Teyler³, à Harlem (Pays-Bas) possède une collection d'environ 700 pièces achetées par son premier conservateur Martinus Van Marum (1750-1837), qui connaissait bien les deux savants français.

La société Krantz⁴, à Bonn, fabrique des modèles en bois depuis 1880. Elle a commencé sous l'impulsion du professeur de minéralogie Paul Heinrich von Groth (1843-1927) qui fut aussi l'initiateur des collections de Strasbourg, lorsque l'Alsace a été rattachée à l'Allemagne en 1870. De 1874 à 1918, il a fait fabriquer plus de 2500 modèles. A partir de 1919, c'est Georges Friedel (1865-1933), qui avait été professeur à l'École des Mines de Saint-Étienne depuis 1907, qui a continué son œuvre, mais sans poursuivre cette politique d'acquisition.

En plus des modèles bois ou en terre cuite ou en plâtre, on peut trouver, dans certaines collections, des modèles en verre, en carton, en fils métalliques ou en métal massif.

2.2. Classification des modèles de l'École des Mines de Saint-Étienne

Les modèles en bois de l'École des Mines appartiennent à deux familles. La plus ancienne est issue d'une série de 410 modèles. L'École en possède 250 qui présentent un numéro de repérage. L'autre, plus récente, est issue du catalogue Krantz DANA Set 282, composée de 198 modèles et 84 macles et composés qui présentent, en plus d'un numéro, le logo de la société Krantz. L'École possède 112 de ces 198 modèles.

Par ailleurs, une trentaine de pièces diverses en bois, sous forme de courtes séries et de tailles variables, sont présentes

dans la collection mais, comme pour les modèles en terre cuite (Fig. 3), elles ne sont pas encore répertoriées.



Figure 3. Modèles en terre cuite ou plâtre de l'École des Mines de Saint-Étienne. Leurs dimensions sont comprises entre 15 et 35mm.

Pour la série des modèles en bois la plus ancienne, une trentaine de fiches cartonnées comportant chacune 12 dessins faits à la main et donnant la description de chaque modèle ont été retrouvées (Fig. 4). Il n'en manque que 3. Ces fiches ne sont pas signées, mais elles datent probablement de l'époque de Friedel. Comme elles comportent environ 410 dessins, on peut supposer que les 410 modèles ont un jour existé. Il n'en reste que 250 environ. Les fiches ont été manipulées par de très nombreux étudiants et ne sont plus toujours bien lisibles. De plus, leur séjour dans les réserves a nui à leur état. Néanmoins, grâce aux techniques d'infographie, après numérisation et traitement d'images, leur copie est maintenant lisible. C'est à partir de ces copies que de nouvelles étiquettes ont été réalisées pour chaque pièce.

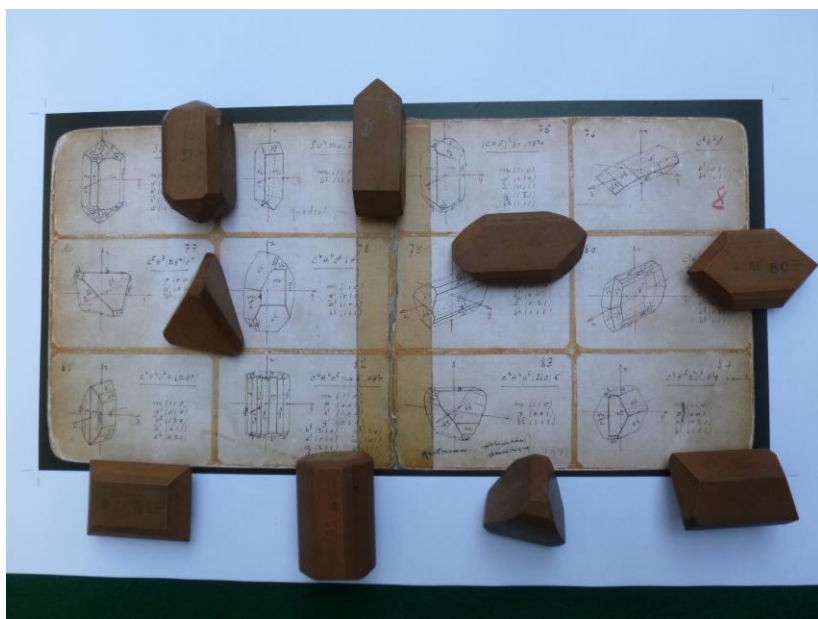


Figure 4. Exemple de fiche cartonnée (20 x 15cm) avec dessins, indications et modèles correspondants.

En comparant les dessins et les échantillons effectivement présents dans la collection, on note l'absence d'environ 160 pièces. Ces lacunes sont probablement à l'origine de l'acquisition ultérieure des pièces de chez Krantz. Après une longue recherche et de nombreux contacts, il a été possible de retrouver la correspondance entre les échantillons de l'École des Mines et ceux du catalogue Krantz fabriqués pour illustrer l'ouvrage de E. S. Dana et W. E. Ford⁵ (1932). Le catalogue « Dana set 282 » a été constitué par le Pr. William E. Ford et il a été complété par le Pr. Cornelius S. Hurlbut, Jr., de Harvard University. Grâce à ces documents, les 112 modèles Krantz de l'École des Mines ont pu être identifiés.

Tous les modèles sont donc maintenant définis. On peut penser, bien qu'il y ait quelques doublons, que la série Krantz est complémentaire de l'ancienne et a été achetée pour combler les lacunes dues aux pièces égarées. Pour la présentation, les

modèles de la série Krantz ont été placés à la suite des modèles anciens, pour chaque type de forme cristalline. Les étiquettes de la série Krantz ont été créées à partir des catalogues Krantz et des figures de l'ouvrage de Dana et Ford ⁵.

La nature du bois des deux séries est différente. Monsieur Jean-François Telley, du conservatoire des Meilleurs Ouvriers de France de Saint-Étienne, pense que la série ancienne serait en bois de tilleul et la série Krantz, en bois de poirier.

3. Étude du modèle cubique n°416

3.1. Description

La pièce la plus remarquable de la collection est celle qui porte le numéro 416 (Fig. 5).



Figure 5. Modèle n° 416 à 170 facettes. Système cubique. Diamètre : 60mm.

Il s'agit d'une sorte de sphère en bois de poirier, facettée qui comporte 170 facettes de {001} à {123}. Nous ignorons comment elle a été fabriquée d'un seul bloc. Son créateur a certainement utilisé un goniomètre car les angles entre les facettes sont exacts. La technique d'usinage est inconnue. On peut toutefois penser qu'on est parti d'un cube et que chaque facette {hkl} a été orientée à partir des faces du cube avec les angles calculés. Cependant, la distance au centre du cube a été laissée à l'appréciation de l'opérateur qui a optimisé pour pouvoir faire apparaître le plus grand nombre de facettes possible. C'est la raison pour laquelle la pièce a perdu un peu de sa « sphéricité ».

On peut se demander pour quelle raison elle a été réalisée. Plus que pour son intérêt pédagogique, c'est certainement son caractère exceptionnel lié à la performance technique qui a guidé son créateur.

Devant cette prouesse technique datant d'une centaine d'années, nous avons, d'une part, réalisé la même pièce avec les moyens modernes d'usinage numérique et, d'autre part, fait faire une copie en bronze par moulage de précision.

Identification des 170 facettes

Pour le système cubique, les facettes sont repérées à partir du trièdre de référence formé par les arêtes du cube. Il existe donc 6 facettes correspondant aux faces du cube. Elles sont notées (100), (010), (001), ($\bar{1}00$), (0 $\bar{1}0$), (00 $\bar{1}$) et, plus généralement {hkl}.

Les plans diagonaux du cube {110} sont au nombre de 12.

Les facettes également inclinées sur les axes {111} du cube sont au nombre de 8.

On compte également 24 facettes {012}, 24 facettes {013}, 24 facettes {112}, 24 facettes {113} et 48 facettes {123}.

Les angles θ entre tous les couples de facettes que l'on veut représenter sont calculés avec les formules :

$$\cos \theta = \frac{\vec{n} \cdot \vec{n}'}{\bar{n}\bar{n}'}$$

$$\vec{n} \cdot \vec{n}' = hh' + kk' + ll'$$

$$\bar{n}\bar{n}' = \sqrt{h^2 + k^2 + l^2} \cdot \sqrt{h'^2 + k'^2 + l'^2}$$

Où $\vec{n}(h, k, l)$ et $\vec{n}'(h', k', l')$ sont les vecteurs associés aux faces d'indices (h, k, l) et (h', k', l') respectivement.

3.2. Réalisation d'une copie par usinage numérique

Un modèle informatique 3D a été réalisé à l'aide du logiciel de modélisation Rhinoceros 5© de la société Cadlink, Bordeaux, France. Ce logiciel a été conçu pour les designers, les architectes, les agenceurs et même les bijoutiers-joailliers. Il fournit les outils pour fabriquer ou imprimer 3D tout projet à partir de données numériques, mais aussi de dessins ou de modèles physiques. Ses avantages sont une grande précision, une adaptation à tout type de projet, un apprentissage rapide, en plus d'un relativement faible investissement.

De par la symétrie cubique du modèle, il a suffi de modéliser un secteur de 1/8 de sphère (indices tous positifs) et de le reproduire dans les 7 autres secteurs (Fig. 6). Une sphère de 50 mm de diamètre a été coupée par des plans correspondant aux différentes facettes, en respectant leurs angles relatifs et en faisant varier manuellement la distance de chaque facette par rapport au centre de la sphère, comme l'avait probablement fait le créateur du modèle original, pour pouvoir faire apparaître toutes les facettes souhaitées. Notre optimisation a conduit à un ensemble assez régulier pratiquement tangent à une sphère intérieure de 45 mm de diamètre.

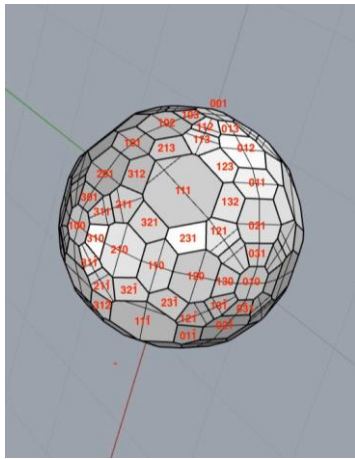


Figure 6. Modèle numérique du modèle cristallographique n° 416. Diamètre 65mm

3.3. Reproduction

Il s'agissait alors de réaliser la pièce. La première méthode d'usinage envisagée a été de la fabriquer dans un bloc de bois. Plusieurs options étaient envisageables. Les faces auraient pu être découpées et taillées avec des méthodes artisanales, comme pour le modèle original, avec des outils à main ou avec une scie ou une fraiseuse équipée d'un goniomètre. Cette méthode aurait pu procurer la précision nécessaire, mais la véritable difficulté aurait été de tenir la pièce sur une machine car sa tenue serait devenue de plus en plus difficile, au fur et à mesure de la découpe des faces. Nous n'avons trouvé aucun technicien capable de réaliser ce travail.

Pour contourner cette difficulté, nous avons envisagé de réaliser la pièce en deux moitiés qui seraient collées ensemble. Mais, n'ayant pas pu avoir accès à une fraiseuse numérique à 5 axes, nous avons repoussé momentanément cette idée pour réaliser la pièce par enlèvement de matière.

Plutôt que d'utiliser un processus soustractif, nous avons opté pour l'impression 3D avec du bio-plastique thermoplastique PLA (acide polylactique, polymère biodégradable obtenu à partir d'amidon de maïs, fondant à 175°C), à partir du modèle numérique décrit précédemment, en positionnant les facettes pour délimiter un volume inclus entre toutes ces facettes. Il aurait été possible de réaliser la pièce en entier, mais, pour obtenir plus de précision, elle a été réalisée en deux moitiés qui ont été assemblées par collage (Fig. 7).

Les indices ont été imprimés sur du papier transfert et collés sur les facettes.



Figure 7. Pièce réalisée par impression 3D à partir du modèle numérique. Diamètre 65mm.

Réalisation d'une copie par fonderie de précision

Une copie à l'identique du modèle a été réalisée par fonderie de précision avec la technique de la cire perdue, à la société Solyfonte, à Montbrison (42600).

La pièce originale a été noyée dans du silicone pour former un bloc qui a été découpé pour libérer la pièce et laisser un vide de la forme de la pièce. Divers aménagements ont été opérés pour introduire la cire dans la cavité du bloc, tout en permettant de ne garder qu'une mince épaisseur de cire, afin de réaliser, au final, une pièce creuse, mince, plus légère et de meilleure qualité de surface.

La pièce en cire a été équipée d'accessoires pour la coulée du bronze et l'évacuation de l'air. Le tout, intérieur et extérieur, a été recouvert ou rempli de matériau réfractaire. Après chauffage, la cire, redevenue liquide, a été éliminée et remplacée par du bronze en fusion coulé sous vide.

Après démoulage, des opérations de finition très spéciales ont été réalisées pour faire disparaître les accessoires de moulage, obstruer la pièce creuse pour ne laisser aucun orifice et obtenir un état de surface lui donnant un aspect patiné. Les chiffres, en creux, ont été mis en valeur par une peinture glycérophthalique. La réalisation de cette copie est un véritable travail d'orfèvrerie (Fig. 8).

Deux pièces ont été réalisées. Jean Rieu en a offert une à l'École des Mines de Saint-Étienne.

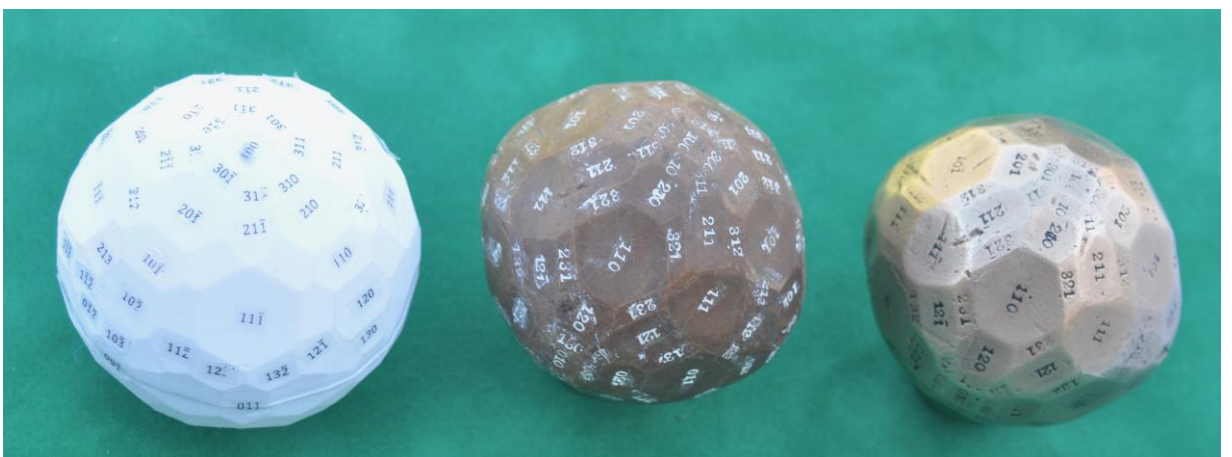


Figure 8. Les trois modèles :de gauche à droite : copie numérique, original, moulage bronze. La copie en PLA mesure 65mm de diamètre. L'original en bois et la copie en bronze ne mesurent 65 mm qu'entre les facettes {001}.

4. Conclusion

Notre souhait serait que cette collection soit mieux connue et plus appréciée, afin que les modèles retrouvent leur caractère pédagogique pour l'enseignement de la cristallographie. Cette matière n'est plus beaucoup enseignée, alors que les physiciens du solide utilisent fréquemment les orientations des facettes des cristaux pour les études des clivages fragiles de certains cristaux métalliques, par exemple, ou l'analyse des plans de glissement de solides métalliques.

La découverte de cette pièce unique qui soulève l'admiration, non seulement du minéralogiste, mais de tout ingénieur qui s'intéresse au comment de son obtention nous a conduit à en faire l'analyse et à tenter de la reproduire par les techniques de l'ingénieur les plus actuelles (méthodes numériques) ou les plus artistiques et traditionnelles (fonderie de précision utilisée pour de nombreuses statues et œuvres d'art).

Avoir un outil d'une telle valeur scientifique, esthétique et historique devrait inciter à une meilleure compréhension de la nature des cristaux naturels dont la beauté n'est plus à démontrer.

Remerciements

Le travail principal exposé ici a été effectué par Jean Rieu. Bernard Guy, professeur à l'École des Mines a été chargé de la mission de sauvegarde des collections et a fait confiance à Jean Rieu pour la collection des modèles cristallographiques en bois, souvenirs de lointaines études sous la direction de Louis Neltner (1903-1985). Victor Beley, étudiant à l'École d'architecture ENSA Paris-La Villette et à l'École Spéciale des Travaux Publics ESTP Paris-Cachan a contribué à la numérisation du modèle. Une partie de son travail a été réalisée lors qu'il étudiait à Aalto University, en Finlande. Il a participé à la version anglaise du texte.

Nos remerciements s'adressent tout particulièrement à :

Monsieur Philippe Jamet, directeur de l'École des Mines qui a pris conscience de la qualité patrimoniale des collections de l'École des Mines et qui a décidé de les remettre en valeur. Monsieur Pascal Ray, actuel directeur de l'École des Mines, partage le même souci de la sauvegarde des collections.

Merci à toute l'équipe de géologues et de minéralogistes (Jean-Luc Bouchardon, Marc Doumas, Jacques Moutte) qui nous ont aidés et donné de précieuses informations. Mais notre travail sur les modèles n'est rien à côté de l'immense et remarquable chantier entrepris sur les minéraux par Yves Masson et Jean Chalié.

Merci à Vincent Rieu et son équipe de l'imprimerie Brailly, à Saint-Genis-Laval, pour la numérisation et le traitement des images du catalogue ancien et l'impression des étiquettes.

Merci aussi à nos correspondants qui nous ont aidés à retrouver les références des échantillons Krantz : Madame le Dr. F. Krantz, de la société Krantz, à Bonn, Madame Lydie Touret, de l'École des Mines de Paris, Monsieur le Dr. J. Abella i Creus, de Barcelone et de Monsieur le Dr. Claude Hootelé, de Bruxelles.

Merci à Monsieur Christophe Saint-Romain de la société Solyfonte pour la réalisation des moulages de précision.

Ce travail est dédié à celui qui fut l'un des plus grands directeurs de l'École des Mines de Saint-Étienne, Louis Neltner (1903-1985). Non seulement, il nous a initiés à la cristallographie, mais il nous donné le goût de la recherche et de l'enseignement, ainsi que l'amour de la montagne. Lorsque les étudiants passaient leur examen de cristallographie, ils devaient déterminer la nature d'une dizaine de modèles en bois. Le premier test consistait à essayer de faire rouler chaque pièce comme on le ferait pour un dé à jouer. Si le modèle roulait un peu, il y avait de fortes chances pour qu'il soit du système cubique. Une pensée également pour Jacques Lévy (1937-2012) qui a enseigné la cristallographie et a utilisé les modèles en bois. Il est parti avant d'avoir vu notre collection remise en valeur.

Références bibliographiques

¹ Romé de l'Isle J-B.L. (1783) « Cristallographie, ou description des formes propres à tous les corps du règne minéral, dans l'état de combinaison saline, pierreuse ou métallique », Imprimerie de Monsieur, Paris.

² Haüy abbé R. J. (1784) « Essai d'une théorie sur la structure des cristaux, appliquée à plusieurs genres de substances cristallisées », Gougué et Née de La Rochelle, Libraires, Paris.

³ Krantz A. (1875) « Catalogue of Minerals, Rocks, Fossils, Modèles en plâtre et modèles en bois des cristaux », Rheinischen Mineralien-Comptoir, Bonn.

⁴ Touret L. (1991) « Un rare exemple de cabinet du XVIIIème siècle : le cabinet des fossiles au Musée Teyler de Haarlem (Pays-Bas) », Travaux du Comité Français d'histoire de la Géologie, www.annales.org/archives/cofrhigeo/cabinet-19eme.html

⁵ Dana E.S. & Ford W.E. (1932) « A Textbook of Mineralogy with Extended Treatise on Crystallography and Physical Mineralogy », John Wiley & sons, 4th edition.