



HAL
open science

Genèse de la pétrographie microscopique. Les conditions de mise en œuvre d'une nouvelle pratique d'observation au cours du XIXe siècle

Marie Itoiz

► To cite this version:

Marie Itoiz. Genèse de la pétrographie microscopique. Les conditions de mise en œuvre d'une nouvelle pratique d'observation au cours du XIXe siècle. Histoire, Philosophie et Sociologie des sciences. Université Paris Saclay (COMUE), 2017. Français. NNT : 2017SACLS601 . tel-04100858

HAL Id: tel-04100858

<https://theses.hal.science/tel-04100858>

Submitted on 18 May 2023

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.

Genèse de la pétrographie microscopique

Les conditions de mise en œuvre d'une nouvelle pratique d'observation au cours du XIX^e siècle

Thèse de doctorat de l'Université Paris-Saclay
préparée à l'Université Paris-Sud.

École doctorale n°578 : **Sciences de l'Homme et de la Société
(SHS)**

Spécialité de doctorat: Histoire des sciences et des techniques.

Thèse présentée et soutenue à Orsay, le 12 décembre 2017, par

Marie Itoiz

Composition du Jury :

Jacques Touret Professeur émérite, Vrije Universiteit Amsterdam	Président
Pascal Duris Professeur, Université de Bordeaux	Rapporteur
Muriel Guedj Maître de conférences HDR, Université de Montpellier	Rapporteur
Virginie Fonteneau Maître de conférences HDR, Université Paris-Sud/Paris Saclay	Examineur
Hervé Dole Professeur, Université Paris-Sud/Paris Saclay	Examineur
Renaud d'Enfert Professeur, Université de Picardie Jules Verne	Directeur de thèse
Pierre Savaton Maître de conférences HDR, Université de Caen Normandie	Co-Directeur de thèse



Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mes deux directeurs de thèse, Renaud d'Enfert et Pierre Savaton pour leurs conseils méthodologiques et leurs suggestions tout au long de ce travail de thèse. Je souhaite également remercier Hervé Dole, Pascal Duris, Virginie Fontenau, Muriel Guedj et Jacques Touret d'avoir accepté de participer à ce jury de thèse.

J'aimerais également remercier pour leur aide et leur réactivité, les archivistes de différentes institutions. A mesdames Françoise Greffe et Mireille Pastoureau des Archives de l'Académie des sciences et de la Bibliothèque de l'Institut de France pour leurs accueils, leurs disponibilités ainsi que leurs conseils lors de mes visites. A Claire Guttinger et Christophe Labaune du service d'archives du Collège de France dont la réactivité des réponses à mes questions et leur conseil ont été précieux. A Marie-Noëlle Maisonneuve de l'Ecole des Mines de Paris qui a gracieusement pris le temps de m'écouter, de m'indiquer les archives susceptibles de m'intéresser et qui les a mises à ma disposition. Merci également aux services d'archives et de documentation de la Société Géologique de France ainsi que celui du Muséum National d'Histoire Naturelle, dont la richesse et la variété d'ouvrages et de journaux est considérable.

J'ai également une pensée pour celles et ceux qui m'ont accompagné durant ce travail.

Aux membres du COMPAS, Anaïs, Romuald et Anne-Karine pour leur sollicitude, leur encouragement durant cette dernière année et le lieu de rédaction à mi-temps qu'a été mon bureau. Mes activités au sein de ce service ont été à la fois une bouffée d'air rafraichissante dans le travail d'écriture, mais aussi un véritable espace d'épanouissement pour mon travail de thèse, dans lequel la matérialité instrumentale prenait déjà une place importante.

Je souhaite également remercier les membres du GHDSO. Le mot « accueil » est faible face à la convivialité du lieu et de ses membres. Ces échanges réguliers ont été accompagnés de beaux moments intellectuels et festifs tout en construisant de très bons souvenirs. Pour tout cela et pour bien davantage encore, un grand merci à Virginie, Véronique, Delphine, et Hélène pour leur écoute, leur conseil, leur sollicitude et leur présence.

Je voulais également inclure spécifiquement un petit message à ceux qui portent l'étiquette de doctorants. Pour ces beaux moments d'échanges sur nos travaux respectifs, les fous rires, le soutien mutuel, merci à Matthias, Aurélie, Laure, Florian et Samson et bon courage à vous pour votre propre travail de thèse.

Cette page serait incomplète sans mentionner ma famille et mes amis.

A mes parents et ma sœur qui ont accepté et soutenu mon projet ainsi qu'à ma belle-famille tout aussi concernée par mon avancée.

A mes plus proches amis, Itziar, Joanne, Katia, Adrien et Louis pour nos beaux moments passés ensemble, aux échanges qui ont concerné cette part de ma vie et à toutes nos autres

discussions sur le quotidien. J'ai adoré partagé ces moments avec vous et j'espère qu'ils seront encore nombreux à l'avenir. Un grand merci également à mes différents correcteurs et relecteurs, que j'ai sollicité a de nombreuses reprises et dont le travail m'a beaucoup aidée.

Je souhaite terminer ces remerciements en les adressant à mes deux compagnons de fortune. Vivre quotidiennement avec une doctorante n'est pas le plus facile, mais ta présence et ton soutien inconditionnel ont été une véritable force. Tu sais à quel point je t'en suis reconnaissante et ces quelques lignes n'en sont qu'un pâle témoignage. Merci aussi à S. pour sa présence apaisante et réconfortante.

Sommaire.

Remerciements.....	1
Sommaire.....	3
Introduction générale.....	5
Première partie : Construction de méthodes pour étudier le règne minéral (1800-1850) ..	19
Chapitre 1 : Qualifier le règne minéral au début du XIX ^e siècle.....	23
Chapitre 2 : Différencier des méthodes pour identifier les minéraux	45
Chapitre 3 : Observer le règne minéral au microscope	73
Conclusion de la première partie	109
Deuxième partie : Construction de nouvelles méthodes pour étudier les minéraux et les roches (1829-1860).....	113
Chapitre 4 : Le prisme polarisateur de Nicol.....	115
Chapitre 5 : Lier minéralogie et lumière polarisée.....	151
Chapitre 6 : Fabriquer et utiliser des sections fines de roches (1831-1862).....	187
Conclusion de la seconde partie	209
Troisième partie : Vers la constitution du domaine de la pétrographie microscopique (1855-1895)	213
Chapitre 7 : Construction d'une méthode de pétrographie microscopique (1855-1873) ..	217
Chapitre 8 : Réception de la pétrographie microscopique allemande.....	246
Chapitre 9 : De la fixation d'une méthode vers la constitution d'un domaine (1873-1895)	276
Conclusion de la troisième partie	304
Conclusion générale	308
Annexes	316
Notices biographiques.....	355
Bibliographie	391
Index des noms	426
Index thématique.....	431
Tables des illustrations	433
Table des matières	439

Introduction générale

Alors que les études historiques identifient l'invention d'un prisme polarisateur par William Nicol (1771-1851) comme l'un des majeurs événements à l'origine de la pétrographie microscopique, peu d'attention a été portée sur le processus et le contexte même d'émergence de ce prisme dans une période où les méthodes utilisées pour l'identification des objets du règne minéral sont nombreuses, pas systématisées et relevant de plusieurs disciplines (physique, chimie, etc.). De même, le contexte d'émergence – de façon indépendante - des sections fines et du microscope utilisés l'un et l'autre de façon disjointe pendant une période au XIX^e siècle pour l'étude du règne minéral a fait l'objet de travaux spécifiques mais sans qu'une étude globale n'ait été menée. Celle-ci est pourtant une condition essentielle pour comprendre pourquoi, comment et par qui, ces trois éléments ont été réunis en méthode constitutive de la pétrographie microscopique.

Cette thèse porte donc sur l'histoire de ces trois techniques, disjointes pendant une longue période du XIX^e siècle, et de leur assemblage dans un dispositif stabilisé qui s'impose comme méthode reconnue, la pétrographie microscopique pour l'étude des roches et des minéraux à la fin du XIX^e siècle. Quels sont les savoirs et les pratiques en œuvre ? Se recourent-ils ? Comment s'échangent-ils ? Qui sont les acteurs de cette histoire ? Les inventeurs, les utilisateurs, les passeurs, mais aussi les constructeurs, trop souvent oubliés des travaux d'histoire des sciences, sont ainsi au centre de ce travail.

Le dictionnaire Larousse définit la pétrographie comme une « *Branche de la géologie qui a pour objet la description et la systématique des roches.* »¹

Mais la pétrographie peut également se définir, comme nous le retrouvons dans un certain nombre de références historiographiques² par l'assemblage de trois dispositifs visant à constituer une méthode d'observation des roches et des minéraux les constituant. Ces trois composantes sont l'usage d'un microscope, d'un double dispositif de polarisation et d'une transformation des roches, taillées en sections fines transparentes.

Cette dernière définition nous interpelle par la différence entre l'aspect méthodologique consacré à la pétrographie, très présent dans les définitions provenant de l'historiographie alors qu'il est absent dans la définition actuelle du Larousse. Par ailleurs, Jaques Touret, spécialiste

¹ Larousse, site en ligne. <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/>

² David YOUNG, *Mind over magma. The Story of Igneous Petrology*, Princeton University Press, Princeton, 2003, 686 pages, Jacques Léon Robert TOURET, « De la pétrographie à la pétrologie », *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie*, Troisième série, Tome 20, n°8, 2006, p.167-184, Beryl M. HAMILTON, « The influence of the polarising microscope on late nineteenth century geology », *Janus, Revue internationale de l'histoire des sciences, de la médecine, de la pharmacie et de la technique*, Tome 69, 1982, p.51-68, D.W. HUMPHRIES, « The contributions of H.C. Sorby (1826-1908) to microscopy », *The Microscope and crystal front*, Volume 15, n°9, Mars-Juin, 1967, p. 351-362 et Robert H. NUTTALL, « The origins of geological microscopy », *The Microscope*, Volume 25 Fourth quarter, 1977, p.245-250.

des questions relatives à la pétrographie microscopique, analyse la mise en place de la pétrographie selon trois conditions :

« - mise au point d'appareils (microscopes polarisants) véritablement performants, utilisables par tout pétrographe et non par les quelques physiciens capables de les mettre au point ;

- généralisation de l'usage des lames minces, utilisables dans tout laboratoire ou centre de recherche ;

- compréhension et interprétation des phénomènes optiques complexes intervenant lorsque la lumière polarisée interagit avec la structure cristalline. »³.

Ces trois conditions prises séparément génèrent à elles seules de nombreuses questions sur l'usage du microscope, celui des sections fines ainsi que celui de la lumière polarisée. De plus, l'assemblage du microscope, de la technique des sections fines et des dispositifs de polarisation, dernière condition pour l'établissement de la pétrographie microscopique, pose la question de la manière dont cet assemblage s'est opéré, à l'initiative de qui et surtout à quel moment ?

David Young⁴, au sein d'un travail plus vaste sur l'étude des roches endogènes, s'attache dans un chapitre, à analyser la mise en place de la pétrographie microscopique. Il effectue une synthèse des précédents travaux sur l'histoire de la pétrographie, tout en analysant la mise en place de la pétrographie sous l'angle de la construction des savoirs. David Young pose alors les acteurs clés, liés aux pratiques des sections fines, du prisme polarisateur ainsi que ceux qui ont contribué à la constitution d'une pétrographie dans les années 1870. Notre travail de mémoire de Master 2 a tenté d'explorer la mise en place de la pétrographie microscopique, sur l'ensemble du XIX^e siècle, en s'appuyant sur les acteurs mis en avant par David Young. Il nous a conduit à identifier un certain nombre de savants liés par cette historiographie⁵ à la mise en place de la pétrographie microscopique. Il a suscité d'autres questions, faisant écho aux conditions qu'énonce Jacques Touret, sur les sections fines, l'usage du microscope et les dispositifs de polarisation qui s'y combine.

Ainsi, nous nous demandons de quelle manière cet assemblage s'est constitué, à quel moment l'association microscope, dispositif de polarisation et sections fines de roches se stabilise pour constituer une méthode mais aussi comment il est utilisé par les savants. De plus, une autre interrogation surgit, également au centre de notre travail, celle des fondements

³ Jacques Léon Robert TOURET, « Le microscope polarisant à l'assaut des montagnes », *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie*, Troisième série, Tome 26, n°4, 2012, p. 68.

⁴ David YOUNG, *Mind over magma. The Story of Igneous Petrology*, Princeton University Press, Princeton, 2003, 686 pages

⁵ David YOUNG, *Mind over magma...*, *op.cit.*, Jacques Léon Robert TOURET, « Le microscope polarisant à l'assaut... », *op.cit.*, Jacques Léon Robert TOURET, « De la pétrographie à la pétrologie », *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie*, Troisième série, Tome 20, n°8, 2006, p.167-184, Alison MORRISON-LOW, « William Nicol, FRSE c, 1771-1851, Lecturer, scientist and collector », *Edinburgh Portraits, Book of the Old Edinburgh Club*, New series, Volume 2, 1992, p. 123-131., Robert H. NUTTALL, « The first microscope of Henry Clifton Sorby », *Technology and Culture*, Volume 22, n°2, Avril 1981, 1981 p. 275-280, Robert H. NUTTALL, « Andrew Pritchard, Optician and microscope maker », *The Microscope*, Volume 25 First quarter, 1977, p.65-81, D.W. HUMPHRIES, « The contributions of H.C. Sorby (1826-1908) to microscopy », *The Microscope and crystal front*, Volume 15, n°9, Mars-Juin, 1967, p. 351-362.

techniques de la pétrographie : d'où viennent ces trois composantes techniques de la pétrographie, quelles étaient antérieurement leur utilisation et pour quoi faire ?

C'est en tenant compte de l'ancrage important de la pétrographie microscopique aux objets techniques, ancrage qui constitue à la fois sa définition et sa méthode que nous avons pris le parti de baser notre approche de la pétrographie sur les pratiques savantes et l'usage des instruments.

Beaucoup de travaux récents d'histoire des sciences insistent sur l'importance de l'étude des instruments offrant des perspectives nouvelles de recherches et mettant en lumière de nouveaux acteurs et de nouvelles institutions⁶. Malgré ces perspectives prometteuses, ce « tournant instrumental » reste un terrain d'abord difficile à la fois au niveau méthodologique et au niveau des archives disponibles. Comment accéder aux pratiques à travers des écrits, dont de plus la plus large partie disponible n'est pas constituée de cahiers de laboratoire mais d'imprimés ?

Nous souhaitons avant tout clarifier ce que nous entendons par les mots de pratique, et également de méthode. Nous utiliserons le mot pratique pour désigner ce que les savants utilisent comme instrument, montage ou matériaux distincts, la manière dont ils combinent ces différents éléments pour constituer une méthode et comment ils les utilisent⁷. Il nous faut poser ici une première limite de notre travail. L'identification des instruments, la façon dont ils sont assemblés est une chose mais identifier le rapport à l'objet dans les gestes, l'importance de l'expérience de l'utilisateur est beaucoup plus difficile à atteindre par l'intermédiaire de sources écrites, publiées ou manuscrites.

Nous définissons par méthode, un ensemble de manipulations codifiées nécessitant des instruments ou des outils dans le but d'obtenir des résultats précis et identifiables⁸. Les deux sont indissociables mais dans le cadre d'une recherche sur les aspects techniques de la pétrographie, il nous apparaît nécessaire de distinguer d'un côté les instruments utilisés et de l'autre la manière de les mobiliser dans un but précis.

De plus, le travail réalisé par Jean-Hugues Barthélémy⁹ sur les réflexions de Gilbert Simondon nous a permis de poser une réflexion préalable sur l'instrument par la distinction faite avec l'outil. L'instrument est un objet technique qui permet de prolonger et d'adapter le corps pour obtenir une meilleure perception. L'outil, quant à lui, prolonge et améliore le corps non plus pour une meilleure perception mais pour accomplir un geste. En ce sens, même si le degré de complexité est un élément pour distinguer un outil d'un instrument, la notion de fonction est essentielle dans la différenciation. Ainsi, en appliquant la seule notion de complexité, le microscope est un instrument, car plus complexe et favorisant une opération et

⁶ Muriel GUEDJ, *Itinéraire en histoire des sciences : des concepts et des objets pour des questions nouvelles*, Mémoire pour l'habilitation à diriger des recherches, 2016, 111 pages, Lisa TAUB, « Introduction: reengaging with Instruments », *Isis, Focus: The history of scientific instruments*, Volume 102, n°4, Décembre 2011, 2011, p.689-696

⁷ Jérôme FATET (coord.), *A quoi servent les instruments scientifiques ? Réflexions et études de cas sur les rôles et les fonctions des instruments dans la pratique scientifique*, Collection Savoirs scientifiques et Pratiques d'enseignement, Presses universitaires de Limoges, Limoges, 2016, 240 pages.

⁸ Basée sur Larousse, site en ligne. <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/>

⁹ Jean- Hugues BARTHELEMY, « Des instruments de connaissances », *Hors-série Sciences et Avenir*, n°140, Octobre-Novembre, 2004, p. 47-50

le prisme polarisateur est un outil en raison de sa moindre complexité. Or, en tenant compte de la fonction pour distinguer un outil d'un instrument, le prisme n'est pas un outil mais un instrument. Cela m'a donc conduit à définir les prismes polarisateurs comme un dispositif, c'est-à-dire, un « *ensemble d'éléments agencés en vue d'un but précis* »¹⁰.

Une fois posée ces notions, il est nécessaire d'explicitier les questions successives qui ont structuré notre travail sur les fondements techniques de la pétrographie microscopique.

Durant notre travail de mémoire de Master 2, nous avons rencontré une litholamelleuse, qui produit des sections fines de roches, pour les laboratoires de géologie de l'université de Bordeaux. Cet entretien nous avait permis, à ce moment, d'identifier les différentes étapes de préparation des sections fines mais aussi de prendre conscience du fait que les sections fines actuelles sont des objets standardisés. Ainsi, cet entretien a été à l'origine de nombreux questionnements sur l'objet, que nous avons poursuivi pendant ce travail de thèse. Il n'était plus uniquement question pour nous d'identifier les acteurs, savants et fabricants régulièrement liés à cette technique ou à son usage. Il s'est agi de s'interroger sur la constitution des sections fines, c'est-à-dire sur la façon dont elles sont fabriquées, par qui, quand et sur le type d'objet est réduit en section fines ?

Nous souhaitons ici préciser notre choix d'utiliser l'expression section fines, plutôt que lame mince. L'expression « thin section » est utilisée dans toute la littérature anglo-saxonne, primaire ou secondaire pour désigner ce que les auteurs francophones nomment « plaque(s) mince(s) ». Or, dans la littérature du XIX^e siècle, l'expression « plaques minces » peut correspondre tout aussi bien qu'à des plaques de cristal ou à des plaques de roche plus ou moins épaisse. Dans le cadre de notre travail sur la pétrographie microscopique, nous avons choisi d'utiliser l'expression section fine pour évoquer des objets traditionnellement opaques, comme des roches, minéraux ou végétaux fossiles, façonnés de telle sorte qu'ils soient suffisamment fins pour être transparents et positionnés entre deux plaques de verre. Nous distinguons les sections fines des lames minces biologiques par les différences de techniques de fabrication mise en œuvre. Nous parlerons de plaque mince lorsque la transparence n'est pas clairement mentionnée, tout comme la disposition de l'objet entre des plaques de verres. Par ailleurs, nous conserverons les mentions de l'expression « plaque minces » dans les citations des savants de la période, tout en précisant s'il s'agit de section fine ou non.

L'historiographie avec les travaux de David Young¹¹, Robert Nuttal¹² et Jim Bennet¹³, a identifié à ce propos des acteurs¹⁴, William Nicol, Henry Sorby ou encore Adolph Oschatz, des

¹⁰ CNRTL, Centre National des Ressources Textuelles et Lexicales. Site en ligne.

¹¹ David YOUNG, *Mind over magma. The Story of Igneous Petrology*, Princeton University Press, Princeton, 2003, 686 pages

¹² Robert H. NUTTALL, « Andrew Pritchard, Optician and microscope maker », *The Microscope*, Volume 25 First quarter, 1977, p.65-81 et Robert H. NUTTALL, « The first microscope of Henry Clifton Sorby », *Technology and Culture*, Volume 22, n°2, Avril 1981, 1981 p. 275-280.

¹³ Jim A. BENNETT, « Instrument makers and the 'déclinaison' of science in England': The effect of institutional change on the elite makers of the early nineteenth century », dans P.R. Clercq (ed.), *Nineteenth-century scientific instruments and their makers*, Leiden, 1985, p. 13-27.

¹⁴ David YOUNG, *Mind over magma...*, *op.cit.*, Jacques Léon Robert TOURET, « Le microscope polarisant à l'assaut des montagnes », *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie*, Troisième série, Tome 26, n°4, 2012, p.

types d'objets réduits en sections fines¹⁵, roches, minéraux, végétaux fossiles. Nous avons donc orienté notre recherche d'information vers ces sources, tout en gardant en mémoire les différentes interrogations que nous avons. La consultation des sources imprimées, telles que des traités, des articles nous a amené à identifier des changements dans les techniques décrites par les savants, suscitant des questions sur l'évolution des techniques utilisées, mais également sur la mécanisation parfois visible des étapes de fabrication des sections fines. De plus, les techniques décrites étant très spécifiques, nous avons souhaité savoir si elles avaient pour origine les acteurs les mobilisant, c'est-à-dire des savants essentiellement, ou si elles provenaient d'autres personnes, comme des artisans.

Une fois encore, l'identification de l'origine des techniques de fabrication des sections fines est complexe, car les acteurs ne mentionnent pas systématiquement d'où proviennent les savoir-faire qu'ils détiennent. Par ailleurs, l'analyse des étapes de fabrications des sections fines nécessite de prêter attention aux moindres éléments décrits par les auteurs afin de ne pas passer à côté d'une pratique ou d'un usage. De plus, nous avons bien conscience que les récits imprimés de fabrication ne permettent pas d'appréhender les gestes, ni même les temps de préparation nécessaires à la production de ces objets.

D'autres pistes d'étude, sur l'usage du microscope et des sections fines, nous ont été apportées par la lecture de Christine Blondel¹⁶ dans « Electrical instruments in 19th century France, between makers and users ». Ainsi, d'après elle, il est possible de questionner l'espace d'utilisation de l'instrument, sa fonction sociale ainsi que les connaissances tacites d'utilisation de l'instrument. L'étude de la commercialisation d'un instrument permet ainsi de s'interroger sur sa disponibilité à une époque donnée et dans une aire géographique déterminée. Elle suggère des pistes intéressantes que nous n'avons pas pu mettre en œuvre ici, comme travailler à la réplification d'expériences, suivre une collection d'instrument bien spécifique ou encore étudier l'instrument du côté du fabricant dans des logiques commerciales voire industrielles. L'approche de Christine Blondel nous a ainsi conduit à prendre en compte la notion de standardisation, d'un objet, ici des sections fines de roches. Les travaux de Robert Nuttall sont complémentaires de ceux de Christine Blondel dans le sens où ils nous ont conduit à aborder d'autres aspects importants pour l'étude de certains objets, tels que la commercialisation via les catalogues de fabricants.

La commercialisation est liée à la fabrication des sections fines¹⁷, à leur diffusion mais aussi à leur utilisation par des savants. Il nous est ainsi apparu comme nécessaire de poser la question de la vente de ces objets par des fabricants pour aussi discuter de la circulation des objets en dehors du pays à l'origine de la technique de fabrication.

67-80, Jacques Léon Robert TOURET, « De la pétrographie à la pétrologie », *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie*, Troisième série, Tome 20, n°8, 2006, p.167-184,

¹⁵ Robert H. NUTTALL, « The origins of geological microscopy », *The Microscope*, Volume 25 Fourth quarter, 1977, p.245-250 et Brian STEVENSON, « Cornelius Poulton (1814-1854) –Victorian era microscopist », *Micscape Magazine*, Mars 2009

¹⁶ Christine BLONDEL, « Electrical instruments in 19th century France, between makers and users », *History and technology*, vol.13, 1997, p. 157-182

¹⁷ Robert H. NUTTALL, « Andrew Pritchard, Optician and microscope maker ... », *op.cit.*

La question de la circulation est l'occasion pour nous d'aborder les limites géographiques de notre étude. Les auteurs qui abordent l'histoire de la pétrographie microscopique évoque généralement deux aires géographiques principales. La Grande Bretagne tout d'abord, avec Edimbourg et Londres qui sont les points d'origine de la technique des sections fines, du prisme polarisateur de William Nicol et d'une méthode d'observation microscopique combinant microscope et section fine de roches. La seconde est l'Allemagne, avec Heidelberg ou Leipzig et la mise en place d'une méthode de pétrographie microscopique. Plus récemment, David Young¹⁸ et Jacques Touret¹⁹ ont ajouté une troisième zone géographique, la France avec Paris, où un trio de savant-Auguste Michel-Lévy, Alfred Lacroix, Ferdinand Fouqué- participe à la diffusion de la pétrographie microscopique. Carl-Henry Geschwing²⁰, tout comme Young, aborde, quant à lui, la réception de la pétrographie microscopique aux Etats-Unis. Nous aborderons brièvement les Etats-Unis dans notre travail, tout en nous inscrivant dans les aires géographiques identifiées par l'historiographie, à savoir la France, la Grande Bretagne et l'Allemagne. Certains des dispositifs abordés dans ce travail, comme celui des sections fines sont localisés en Grande Bretagne, mais aussi en Allemagne, tandis que l'usage du microscope est traité du point de vue français, car une première méthode l'utilisant, est proposée dans ce pays en 1815. Nous avons donc porté attention aux circulations d'objets et des pratiques dans cet espace géographique, avec la difficulté néanmoins que ces circulations ne sont pas mentionnées, ou très rarement dans nos sources. Ainsi, la question de la circulation, associée à celle de la commercialisation, dont les catalogues sont des sources de visibilité des objets, est conditionnée par cette approche. Nous n'avons que peu d'informations sur les vecteurs de circulation, si bien que la circulation d'un objet ou d'une pratique ne se repère essentiellement que par ses mentions dans une source imprimée. Nous ne réduisons pas le fait que l'apparition d'un objet ou d'une pratique dans une source imprimé datée, signifie que cet objet ou cette pratique est acquis par les savants à ce moment. Nous considérons que même si nous n'avons pas identifié de traces, il est fort probable que l'objet, son usage ou les pratiques afférentes soit mobilisés avant d'être évoqués dans les sources imprimés de l'époque.

Un dernier questionnement transversal à notre travail est celui de l'usage des sections fines dans des pratiques ou des méthodes savantes. En effet, dans le cas de la pétrographie microscopique, les sections fines sont par définition incluses dans celle-ci. Mais, étant donné que la production de section fines de végétaux fossiles date de 1831, soit près de 20 ans avant l'usage de section fines de roches, n'était-il pas envisageable qu'elles soient constitutives d'autres pratiques ou méthodes ? Nous avons pu ainsi remarquer que les sections fines de végétaux fossiles ont pu être combinées à l'usage du microscope.

L'antériorité de l'usage du microscope combiné à des sections fines pose la question à la fois des motivations des savants à combiner ces deux éléments, mais également celle de l'usage plus général du microscope à cette époque en minéralogie. Ces réflexions ont été nourrie par le

¹⁸ David YOUNG, *Mind over magma. The Story of Igneous Petrology*, Princeton University Press, Princeton, 2003, 686 pages

¹⁹ Jacques Léon Robert TOURET, « De la pétrographie à la pétrologie », *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie*, Troisième série, Tome 20, n°8, 2006, p.167-184.

²⁰ Carl-Henry GESCHWIND, « The beginnings of microscopic petrography in the United States, 1870-1885 », *Earth Sciences History*, Volume 13, n°1, 1994, p.35-46.

travail de Yakov M. Rabkin²¹, qui distingue quatre stades de développement d'un instrument, que nous avons retenu comme cadre de travail : 1) la découverte de moyens appropriés pour l'observation de phénomènes ; 2) l'exploration de ce phénomène avec des instruments manufacturés spécifiques ou des prototypes commerciaux ; 3) l'utilisation généralisée des instruments commerciaux ; 4) les applications de routine de l'instrument pour contrôler la production industrielle ainsi que la recherche.

Cette question plutôt générale à propos de l'usage du microscope dans le domaine de la minéralogie conduit à discuter ce que relève l'historiographie²² sur les réactions des savants à la mise en place d'une pratique d'observation microscopique des roches, dans les années 1850-1860. En effet, en réaction à la pratique microscopique utilisant des sections fines de roches, certains savants ont émis la réflexion selon laquelle les montagnes ne peuvent s'observer à travers un microscope. Or, cette même historiographie, avec des auteurs comme David Young²³, relève un usage du microscope dans les années 1830. L'instrument est aussi utilisé dans une pratique d'observation non pas des roches, mais des végétaux fossiles taillés en sections fines. Ce paradoxe nous a interpellé sur les raisons de ces réactions, est-ce l'usage du microscope qui est décrié, auquel cas, tout usage antérieur, comme celui de l'observation des végétaux fossiles, serait marginal ? Sinon à quoi est due cette réaction ? Nous avons donc décidé d'étudier ces deux hypothèses.

A propos de l'usage du microscope avant 1860, nous avons cherché au sein de sources comme des articles ou des traités de minéralogie, des mentions de l'instrument. Il s'avère que le microscope est régulièrement utilisé à cette époque. Ce constat étant fait, nous nous sommes demandé à quoi servait l'instrument et ce qu'il permettait d'observer ? Il s'est alors agit d'identifier la méthode dans laquelle s'insérait cet instrument, mais aussi ce qui a motivé les savants dans un premier temps à l'utiliser. Nous avons alors réinterrogé nos sources pour identifier ces éléments. Ainsi, le microscope sert à observer des roches réduites en poudre dans le but d'identifier les minéraux et par conséquent la roche à laquelle ils appartiennent. Cependant, l'identification de cette méthode ne nous a pas permis d'en savoir davantage sur l'origine ou encore sur les raisons de la mobilisation du microscope. Le travail d'Ellenberger²⁴ permet de comprendre pourquoi nous ne trouvons pas des mentions de l'origine de la méthode. L'auteur pose la question de la réception d'une méthode ainsi que celle de l'anonymisation de celle-ci lorsque son usage devient commun au sein des pratiques.

Ainsi, en étudiant la publication à l'origine en 1815²⁵ de cette méthode incluant le microscope, analysée par Ellenberger, il nous a été possible de découvrir les motivations à

²¹ Yakov M. RABKIN, «Rediscovering the instrument: research, industry and education », dans Robert Bud, Susans E. Cozzens (eds), *Invisible connections, Instruments, Institutions and science*, Institutes for advanced Optical technologies, volume IS 9, USA, 1992, p. 57-72.

²² David YOUNG, *Mind over magma. The Story of Igneous Petrology*, Princeton University Press, Princeton, 2003, 686 pages

²³ David YOUNG, *Mind over magma...*, *op.cit.*,

²⁴ François ELLENBERGER, « Louis Cordier (1777-1861), initiateur de l'étude microscopique des laves: percée sans lendemain ou innovation décisive ? », *Earth Sciences History, Journal of the history of the earth sciences society*, Volume 3, n°1, 1984, p.44-53.

²⁵ Pierre Louis CORDIER, *Mémoires sur les substances minérales dites en masses, qui entrent dans la composition des Roches Volcaniques de tous les âges*, Imprimerie de Mme V^c Courcier, 1815, Paris, 87 pages.

l'origine de l'insertion du microscope, mais aussi d'identifier certains éléments qui se retrouvent dans les pratiques microscopiques ultérieures. Nos recherches sur l'usage du microscope nous ont également conduit à l'analyse d'un article de 1800, dans lequel l'auteur²⁶ préconise déjà l'usage de l'instrument pour répondre à ces limites méthodologiques d'identification des roches. L'étude de ces deux publications nous a montré alors l'existence de critiques émises par les savants dans cette première moitié du XIX^e siècle à propos de l'identification des roches. Cela nous a amené à nous questionner sur ces méthodes, d'autant que l'usage relevé du microscope s'inscrit dans ces dernières. Nous avons alors cherché à identifier les méthodes utilisées durant cette première moitié du XIX^e siècle pour identifier les minéraux et les roches. Il s'est alors agi de se demander comment les savants faisaient pour reconnaître un minéral ou une roche inconnue, comment ils la décrivaient et quelles manipulations devaient-ils effectuer pour obtenir ces informations ? Nous avons à ce propos, analysé des traités de minéralogie, dans le but d'identifier les pratiques liées à la reconnaissance des minéraux et des roches. Cette étude a suscité également d'autres questions, notamment à propos du vocabulaire utilisé par les savants, son évolution mais aussi sur la pratique de classification omniprésente dans les traités²⁷.

Revenons à présent à notre seconde hypothèse liée à la réaction des savants quant à l'usage du microscope. En effet, nous nous sommes demandé à quoi est due la réaction de ces savants à propos de l'usage du microscope, d'autant que nos recherches ont conclu à l'utilisation régulière de ce dernier bien avant les années 1860. Pour répondre à cette question, nous avons analysé les pratiques de ces savants, comme Henry Sorby ou Ferdinand Zirkel pour identifier les éléments nouveaux qu'ils introduisent dans l'observation des roches. Nous supposons que ce n'est pas tant l'usage du microscope que sa combinaison avec des sections fines de roches pour leur identification, pratique nouvelle, qui suscite ces remarques, entraînant une modification du statut de l'instrument. Il semblerait cependant que ce nouvel usage du microscope ne se substitue pas au premier et que les deux pratiques microscopiques coexistent.

La définition de la pétrographie microscopique implique l'usage d'un microscope polarisant. Tandis que l'usage combiné du microscope et des sections fines a été soulevé, nous n'avons pas encore abordé la combinaison de l'instrument avec un dispositif de polarisation. Le microscope polarisant est très largement utilisé à partir de 1875-1880, il est à de nombreuses reprises évoqué dans la littérature²⁸. L'insertion de l'usage de la lumière polarisée, alors qu'elle ne l'est pas dans les méthodes d'identification des minéraux pose la question de sa nécessité. A quoi cela sert-il d'utiliser de la lumière polarisée pour observer des roches en sections fines au microscope ? De plus, quels sont les dispositifs de polarisation utilisés ? Comment se

²⁶ Louis Benjamin FLEURIAU DE BELLEVUE, « Mémoire sur les cristaux microscopiques et en particulier sur la séméline, la mélilite, la pseudo-somnite et le selce-romano », *Journal de Physique et de Chimie et d'Histoire Naturelle et des Arts*, Tome 51, 1800, p. 442-461.

²⁷ Pascal DURIS, « Système artificiel ou méthode naturelle ? » dans *Linné. Classer la nature, Pour la Science*, Coll. « Les génies de la science », n°26, 2006, p.64-77.

²⁸ Robert H. NUTTALL, « The origins of geological microscopy », *The Microscope*, Volume 25 Fourth quarter, 1977, p. 245-250, Jacques Léon Robert TOURET, « Le microscope polarisant à l'assaut des montagnes », *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie*, Troisième série, Tome 26, n°4, 2012, p. 67-80, Beryl M. HAMILTON, « The influence of the polarising microscope on late nineteenth century geology », *Janus, Revue internationale de l'histoire des sciences, de la médecine, de la pharmacie et de la technique*, Tome 69, 1982, p.51-68.

positionnent-ils sur le microscope ? Ces questions nécessitent alors de s'intéresser aux pratiques pétrographiques qui utilisent la lumière polarisée, en interrogeant nos sources imprimées sur cet aspect spécifique. En effet, il s'agit alors de se questionner sur l'usage de la lumière polarisée dans les pratiques de pétrographie microscopique, le moment de cette apparition, les éventuelles limites à cet usage. De plus, nous nous interrogeons sur la manière dont les savants l'utilisent, à quel moment et dans quel but. Par ailleurs, à la lecture des travaux de Caroline Kaspar²⁹, d'autres questions surgissent à propos de la mise en place d'une méthode, basée sur l'usage d'un microscope polarisant pour identifier les caractères optiques des minéraux, dans les années 1860. Il s'agit alors d'analyser la méthode mise en place par un savant- Alfred Des Cloizeaux-, ainsi que les instruments et dispositifs de polarisation qu'il utilise mais aussi l'insertion de cette méthode dans les méthodes d'identification déjà existante.

Cependant, en dehors des interrogations spécifiques liées à la mise en place de cette méthode utilisant la lumière polarisée, nous avons questionné l'usage plus général de celle-ci, tout comme ses liens avec la minéralogie. Un ensemble d'auteurs, tels que Frédéric Leclercq³⁰, André Chappert³¹ et Jed Z. Buchwald³² ont étudié la découverte de la polarisation de la lumière au début du XIX^e siècle. Cette découverte est également le moment où des discussions sur la nature de la lumière –particulaire ou ondulatoire- sont remises en avant. Il n'est pas question pour nous dans ce travail d'aborder cet aspect de la lumière, mais bien de s'intéresser aux travaux liés à la lumière polarisée. Nous nous interrogeons alors sur les modalités de production de la lumière polarisée, à savoir quels sont les dispositifs de polarisation utilisés, leur nature et leur forme. Nous nous questionnons aussi sur les liens qui existent entre minéraux et lumière polarisée. En effet, il s'avère que de nombreux dispositifs sont fabriqués à partir de minéraux. Ce constat issu de nos sources mais également de l'historiographie³³ nous interpelle quant aux liens qui existent entre la lumière polarisée et les minéraux. La méthode décrite par Caroline Kaspar dans les années 1860, nous permet d'affirmer que les minéraux ne servent pas uniquement à produire de la lumière polarisée mais qu'ils peuvent être étudiés au moyen de cette dernière. Cependant, ceci est-il valable uniquement dans les années 1860 ? Nous nous interrogeons sur l'antériorité de cette pratique d'observation mais aussi sur la manière dont la lumière polarisée est utilisée comme révélateur de caractères distinctifs pour identifier des

²⁹ Caroline KASPAR, *Optique et Minéralogie au XIX^e siècle. L'approche interdisciplinaire d'Alfred Des Cloizeaux*, Thèse de doctorat, Université de Lyon-1, 286 pages, Caroline KASPAR et Philippe JAUSSAUD, « L'œuvre minéralogique et pétrographique des pharmaciens du Muséum », Revue d'histoire de la pharmacie, Volume 93, n°347, 2005, p.403-412, Caroline KASPAR, « Des Cloizeaux et l'optique : l'influence d'une nouvelle méthode d'investigation en minéralogie au 19^{ème} siècle », Acte de Colloque, XIV Colloque National de la Recherche dans les IUT, 29 et 30 mai 2008, 2008, 8 pages.

³⁰ Frédéric LECLERCQ, *Jean Baptiste Biot (1774-1862) et la théorie corpusculaire de la lumière*, Thèse de doctorat, Université de Lille-1, 2008, 448 pages, Frédéric LECLERCQ, « Biot, la polarisation chromatique et la théorie des accès », *Revue d'histoire des sciences*, Tome 64, n° 1, 2011, p. 121-156.

³¹ André CHAPPERT, Etienne Louis Malus (1775-1812) et la théorie corpusculaire de la lumière, Collection « L'Histoire des sciences. Textes et études », Vrin, Paris, 1977, 283 pages, André CHAPPERT, L'édification au XIX^e siècle d'une science du phénomène lumineux, Vrin, Mathesis, Paris, 2004, 382 pages.

³² Jed Z., BUCHWALD « Experimental Investigations of double refraction from Huygens to Malus », *Archive for History of exact Sciences*, Volume 21, n°4, 1980, p. 311-373 et Jed Z. BUCHWALD, *The rise of the wave theory of light. Aspects of Optical Theory and experiment in the first third of the nineteenth century*, The University of Chicago Press, 1989, 467 pages.

³³ Frédéric LECLERCQ, *Jean Baptiste Biot (1774-1862) et la théorie corpusculaire de la lumière*, Thèse de doctorat, Université de Lille-1, 2008, 448 pages et Caroline KASPAR, *Optique et Minéralogie au XIX^e siècle. L'approche interdisciplinaire d'Alfred Des Cloizeaux*, Thèse de doctorat, Université de Lyon-1, 286 pages,

espèces minérales entre elles. Afin d'y répondre, nous avons effectué des recherches visant à identifier les liens entre minéraux et lumière polarisée, et ce dans les années consécutives à sa découverte, soit de 1810 à 1830.

Par ailleurs, dans notre recherche sur les dispositifs de polarisation, nous avons choisis de nous attarder sur un dispositif de polarisation précis, le prisme de Nicol. Son usage a déjà fait l'objet d'un travail de Leó Kristjánsson³⁴, montrant combien le prisme est utilisé dans différents montages à partir des années 1850. Or, tout comme le fait remarquer Alison Morrison-Low³⁵, il n'y a que peu d'informations sur l'objet et beaucoup de questions restent sans réponses. Toujours en nous inscrivant dans une approche par les pratiques, nous sommes intéressée à l'origine de la fabrication de ce prisme. Il s'est alors agi d'identifier les matériaux utilisés par Nicol, d'en questionner le choix tout en incluant son prisme dans un contexte plus large. La présence du prisme en France dans les années 1860, soit près de 30 ans après son invention en Ecosse a également été l'occasion de se demander de quelle manière le dispositif a circulé ou encore s'il a été commercialisé.

Nous avons décidé de répondre à ces questions en analysant les publications de son inventeur, mais également en remettant le prisme dans son contexte, où l'offre disponible pour de tels dispositifs existe et dans laquelle les prismes polarisateurs ne sont pas rares. Cette analyse des autres prismes existants, à travers une approche des lignées techniques selon Bertrand Gille³⁶, nous a permis d'identifier les caractéristiques spécifiques de ce prisme et de comprendre les raisons de son usage très important par la suite.

Pour mener à bien ce travail, nous avons étudié un corpus de textes imprimés entre 1800 et 1890. Ce corpus est varié puisqu'il contient des traités, des articles ainsi que des catalogues de fabricant issus des trois pays évoqués plus haut, la Grande Bretagne, la France et l'Allemagne. Sa constitution est basée à la fois selon les acteurs identifiés par l'historiographie de la pétrographie. Elle englobe également une recherche de sources imprimées sur l'ensemble de la période chronologique suivant la mise en place d'une nouvelle méthode.

Ainsi, les journaux constitutifs de notre corpus appartiennent aux trois aires géographiques concernées par notre travail. Ils peuvent être reliés à des institutions, comme les *Comptes-rendus de l'Académie des sciences* ou bien les *Transactions of the Royal Society of London* ou bien être hors des institutions et issus d'initiatives indépendantes de savants, comme c'est le cas pour le *Annalen der Physik und chemie*, mentionné aussi comme les « Poggedorf's

³⁴ Leó KRISTJANSSON, « Iceland spar and its legacy in science », *History of geo-and space sciences*, n°3, 2012, p. 117-126 et Leó KRISTJANSSON, « Iceland spar: the Helgustadir calcite locality and its influence on the development of science », *Journal of Geosciences Education*, Volume 50, n°4, 2002, p. 419-427.

³⁵ Alison MORRISON-LOW, « William Nicol, FRSE c, 1771-1851, Lecturer, scientist and collector », *Edinburgh Portraits, Book of the Old Edinburgh Club*, New series, Volume 2, 1992, p. 123-131.

³⁶ Bertrand GILLE, *Histoire des techniques*, Editions de la Pléiade, édition Gallimard, 1978, France, 1652 pages.

Annalen », son éditeur, ou encore le journal de Robert Jameson, *The Edinburgh New Philosophical Journal*.

Les traités sont quant à eux des lieux de clarification, d'explicitation de notions, de savoirs et de pratiques déjà existantes le plus souvent. Ils sont aussi des supports contribuant à la fixation de pratiques peu visibles ou en cours d'intégration par la communauté. Ils complètent les données extraites des articles et mémoires à la fois pour les détails techniques et les pratiques qu'ils détaillent, qui sont parfois éludés dans les articles. Mais ils permettent aussi de rendre compte de nouvelles pratiques et d'en dater ou retracer leur origine.

Le fait d'exploiter des articles, des mémoires et des traités contribue non seulement à croiser les informations, mais également à recueillir des informations de nature différente sur les pratiques et l'usage des instruments. Le format des articles, parfois de tailles réduites, permet de constituer un corpus le plus exhaustif possible et alors représentatif des pratiques d'observation et d'études des savants de l'époque, sous réserve qu'elles soient restituées fidèlement par leurs auteurs. Les mémoires quant à eux, sont plus développés. Nous y retrouvons le même type d'études, que dans les articles, mais ils sont également des lieux de présentation de nouvelles méthodes, comme c'est le cas pour ceux publiés par Benjamin Fleuriau de Bellevue ou encore Auguste Michel-Lévy. Le discours n'est pas le même et les auteurs mettent davantage en scène leurs résultats et leurs méthodes que dans les articles. Les traités quant à eux sont plus explicatifs, ils exposent de manière détaillée les méthodes et les instruments à utiliser. Ce sont des sources riches pour identifier les pratiques, mais il est parfois difficile d'identifier l'application effective par des savants des contenus décrits ainsi que leur impact sur les pratiques réelles des savants.

Nous avons conscience des limites qu'implique l'utilisation de ce corpus de sources imprimées pour étudier des pratiques. Les données extraites sont issues d'un travail de reconstruction des résultats par les savants eux-mêmes, qui sont parfois présentés de manière synthétique avec des omissions dans les méthodes ou les instruments utilisés. C'est un corpus qui peut être considéré comme parcellaire ou incomplet par rapport à des sources d'archives telles que les carnets de laboratoires. Or, nous avons dépouillé les carnets de laboratoire de Ferdinand Fouqué³⁷, l'un des savants qui a participé à la mise en place de la pétrographie en France. Les indications qu'il donne à propos des méthodes ou des instruments qu'il utilise y sont très succinctes voire absentes. Elles ne permettent pas mieux d'identifier les méthodes, ni mêmes les instruments utilisés par celui-ci. En effet, Fouqué ne mentionne pas, par exemple, dans son premier carnet l'utilisation du microscope. Les autres carnets ne contiennent aucune information relative aux méthodes d'observation. Cela signifie que l'usage des objets destinés à effectuer ses observations est banal. Il faudrait faire un travail d'étude systématique des carnets de laboratoire des savants que nous avons identifiés pour vérifier s'ils sont tous similaires à ceux de Fouqué. Mais l'identification, la localisation de ces carnets est souvent difficile, de plus ils arrivent qu'ils ne soient pas tous conservés, d'où notre choix d'utiliser ces sources imprimées, articles, traités et catalogues de fabricants pour appréhender ces pratiques.

³⁷ Ferdinand André FOUQUE, « Carnet de pétrographie microscopique », Académie des sciences, Fonds Fouqué 28J, carton 3, 9.01, 1866-67, 101 pages.

Par ailleurs, nous tenons à signaler que notre revue des journaux allemands et l'analyse des traités en allemand n'a pas été aussi exhaustive que souhaitée. En effet, nous avons tiré autant d'informations que possible sur l'analyse des pratiques dans la limite de notre absence de maîtrise de la langue allemande. Nous espérons avoir recueilli l'essentiel, mais nous n'avons pas pu conduire d'analyse aussi systématique sur les traités allemands que pour ceux en français constituant notre corpus.

L'association de nos questions et la constitution de ce premier corpus selon la méthode exposée ci-dessus nous a permis d'intégrer des sources inédites ou bien encore peu connues.

L'un des principaux apports de notre travail réside dans l'exploitation du fonds Ferdinand Fouqué conservé à l'Académie des sciences. Le fonds a été classé à notre demande et nous a permis, en le réinterrogeant via notre approche des pratiques, d'éclaircir certains points par rapport à la période d'apparition et d'usage de méthodes microscopiques françaises. Nous avons eu accès à la correspondance de Fouqué, à ses cahiers de laboratoire sur la pétrographie microscopique et les synthèses artificielles qu'il a conduites, ainsi qu'à une traduction en français d'un ouvrage de Ferdinand Zirkel. Nous avons complété ces recherches par la revue de sa correspondance dans le fonds de l'Institut de France afin d'identifier ses correspondants. Ce travail permet de remettre Fouqué à sa juste place dans une historiographie qui met en avant Auguste Michel-Lévy et Alfred Lacroix pour leurs travaux pétrographiques, réduisant Fouqué au rang de collaborateur ou de maître. Nous avons complété ce travail sur Fouqué par l'analyse des archives présentes au Collège de France.

Par ailleurs, dans le but de répondre aux questions sur l'origine du prisme de Nicol et des sections fines, nous avons analysé l'ensemble des articles publiés à notre connaissance par William Nicol. Nous avons complété ces analyses par une recherche dans des journaux comme le *The Edinburgh philosophical journal*, le *The Edinburgh new philosophical journal* (son successeur), le *The London and Edinburgh philosophical magazine and journal of science* et le *The Edinburgh journal of science*, entre 1819 et 1840, pour identifier des traces du prisme de Nicol.

L'ensemble des sources imprimées constituant ce corpus correspond ainsi à près de 70 traités différents ainsi que plus de 215 articles provenant des divers journaux présentés auparavant.

Dans le cadre de la rédaction de notre thèse, nous avons opté pour un plan chronologique plutôt qu'un plan thématique selon des instruments ou des objets de recherches, ce qui nous aurait contraint à des rappels multiples. Ce travail est donc construit en trois parties correspondant à l'identification de trois périodes au sein desquelles de nouvelles pratiques ou des méthodes apparaissent et sont adoptées. Ce découpage chronologique nous permet, de plus, de suivre en parallèle sur des périodes communes, les pratiques mobilisant des instruments comme le microscope et son usage combiné avec par exemple les sections fines. Nous avons

également construit des frises chronologiques synthétiques et des représentations graphiques qui, nous l'espérons, serviront de repères au lecteur.

La première période, de 1800 à 1850, correspond à la constitution d'une méthode d'identification des minéraux mais aussi à l'insertion du microscope pour observer les roches réduites en poudre et les végétaux fossiles taillés en sections fines. La seconde période, de 1850 à 1866, est celle de la mise en place de pratiques microscopiques comme celle où les roches sont taillées en sections fines et observées au microscope, ou bien celle de l'observation des cristaux au microscope polarisant. La troisième période, de 1855 à 1895, se scinde en deux moments : le premier, jusqu'en 1873, voit l'installation d'une pratique de pétrographie microscopique et s'achève avec la constitution d'une méthode pétrographique ; le second, de 1873 à 1895, à la consolidation de la méthode de pétrographie microscopique, d'une part par des résultats d'observation, et d'autre part par l'apport de critères méthodologiques complémentaires amenant vers la construction d'un domaine scientifique.

La première partie de la thèse pose ainsi la question des méthodes d'observation et de détermination des objets du règne minéral en cours au début du XIX^e siècle. Elle nous permet de poser le contexte des pratiques d'observations des cristaux, minéraux, roches et fossiles. Dans un premier temps, il nous a semblé nécessaire de faire un travail sur le sens que les savants de l'époque donnent à ces mots, et comment cela bouge. Non seulement, il ne va pas de soi que ce que nous entendons aujourd'hui par « cristaux », « minéraux », « roches » et « fossiles » désignent les mêmes objets au XIX^e siècle, mais l'évolution du sens de ces mots, que nous avons essayé de suivre par leurs définitions dans les ouvrages de l'époque, donnent accès à des informations sur le processus de pensée. C'est l'objet de notre chapitre 1. Nous abordons également la question des classifications de ces objets pour identifier les méthodes utilisées. Dans le chapitre 2, nous analysons les pratiques liées à l'identification de ces objets, spécifiquement pour les minéraux, les roches et les cristaux, quels sont les critères utilisés et à quelles méthodes et pratiques sont-ils reliés. Le troisième chapitre porte sur l'évolution des méthodes, et donc des pratiques, utilisées par les savants dans le but d'améliorer la caractérisation et par conséquent l'identification et la classification des objets pour l'étude des végétaux fossiles et des roches. Un point particulièrement important est que ces méthodes ont en commun l'utilisation du microscope.

La deuxième partie part du constat de l'utilisation du microscope pour les végétaux fossiles dès les années 1830 et a pour objectif de s'interroger sur l'adaptation, la transformation de la technique d'observation à d'autres objets du règne minéral. Ainsi dans le chapitre 4, nous étudions un prisme polarisateur de lumière, le prisme de Nicol, du nom de son inventeur, évoqué plus haut. Cette étude exhaustive se justifie par le fait que Nicol fabrique et étudie également des sections fines de végétaux fossiles mais aussi de manière très ponctuelle en 1840 des sections fines de roches. Par ailleurs, cette étude soulève des questions relatives à l'usage de la lumière polarisée et de son lien avec la minéralogie et les minéraux. C'est pourquoi, dans le chapitre 5, nous analysons les travaux du début du XIX^e siècle en rapport avec la lumière polarisée utilisée pour les minéraux, mettant à jour certains caractères spécifiques permettant de distinguer des cristaux les uns des autres. Les résultats de ces travaux sont en partie utilisés par la suite pour distinguer les minéraux dans les classifications. L'enjeu de ce chapitre est

également de montrer comment, premièrement, le minéralogiste Alfred Des Cloizeaux, dès les années 1860, construit une méthode de détermination précise, basée sur l'usage du microscope polarisant afin d'identifier des caractères optiques discriminant. Deuxièmement, durant la même période, entre 1850 et 1860, apparaît une autre pratique d'observation mobilisant également le microscope, celle du géologue Henry Sorby. Le dernier chapitre de la seconde partie, le chapitre 6, traite plus particulièrement de cette pratique d'observation microscopique des roches taillées en section fine dont l'origine proviendrait d'après nous de la méthode mise en place dans les années 1830 en Grande Bretagne à propos des végétaux fossiles. Nous revenons alors sur les instruments qu'utilise Sorby ainsi que sur la manière dont il fabrique ses sections fines, tout en abordant un autre foyer de production de sections fines de roches en 1850, l'Allemagne.

La troisième partie pose quant à elle la question de la manière selon laquelle la pétrographie microscopique se constitue comme méthode d'identification des roches sur la période de 1855 à 1895. Le chapitre 7 a pour objet l'émergence de cette méthode d'observation en partant des pratiques microscopiques déjà en cours dans les années 1850 en Allemagne. Ceci pose également la question de l'influence de Sorby mais aussi de la présence d'un contexte favorable au développement de ces observations microscopiques en sections fines, grâce aux travaux de Zirkel, Rosenbusch et Vogelsang. Enfin, nous aborderons également au sein de ce chapitre la constitution d'un ensemble technique qui constitue la base de cette méthode pétrographique ainsi que du renouvellement du sens du mot pétrographique à partir de 1866. Le chapitre 8 porte quant à lui sur la question de l'appropriation de cette méthode par des savants étrangers par rapport à l'Allemagne. Nous nous intéresserons particulièrement au cas de la France, pour lequel le contexte semble favorable au nouveau type d'observations microscopiques que suggère Sorby mais également les savants allemands Zirkel, Rosenbusch et Vogelsang. C'est sous l'influence de trois savants, Fouqué, Michel-Lévy et Lacroix, que la pétrographie microscopique se développe en France et sa méthode acquiert son état définitif avec l'utilisation optimale de la lumière polarisée. Nous abordons également le cas de l'Angleterre et du développement des observations microscopiques au regard du contexte spécifique lié à Sorby et à celui des travaux allemands. Enfin, le chapitre 9 est centré sur la réception de cette pratique notamment au sein de la communauté française et sur son adoption. Il aborde également la question de l'illustration des observations à travers l'insertion de planches dans les traités ou les articles relatifs à la pétrographie microscopique.

Ce travail sur la pétrographie microscopique met à jour un très grand nombre de praticiens parfois peu connus. Nous avons décidé de mener un travail biographique sur ces praticiens, et nous avons choisi de regrouper les informations les concernant dans une annexe, plutôt que d'insérer des éléments biographiques systématiques qui pouvaient surcharger le texte.

Première partie : Construction de méthodes pour étudier le règne minéral (1800-1850)

L'histoire naturelle est un « *savoir socialement et culturellement dominant* ³⁸ » à l'époque moderne et qui se définit par l'étude des trois règnes qui la composent, le règne animal, minéral et végétal. Pour René Just Haüy (1743-1822) :

« *La classification générale des êtres qu'embrasse l'étude de l'histoire naturelle considérée dans son ensemble, peu être rapportée à deux termes de comparaison, qui sont la vie et le mouvement spontané. De leur réunion se forme le caractère distinctif des animaux : les plantes vivent et ne se meuvent point à leur gré, les minéraux sont privés de l'une et de l'autre facultés* » ³⁹.

Cet extrait de Haüy ne nous permet pas d'identifier le contenu de ce troisième règne. On peut dès lors s'interroger sur la manière dont les objets du règne minéral sont nommés et définis par les savants. Cette citation nous permet aussi de questionner l'expression « *étude de l'histoire naturelle* » que mentionne Haüy. Que signifie-t-elle ? En effet, l'étude des règnes est classiquement fondée sur l'observation, la description et la comparaison des objets, mais à nouveau Haüy ne précise pas la méthode utilisée par les savants de son époque pour décrire et comparer ces objets. Dans le cas plus spécifique du règne minéral, comment ces objets sont-ils décrits ? Quelles méthodes s'appliquent pour décrire, identifier et classer les minéraux ? Pourtant, Haüy fournit un premier indice lorsqu'il parle de caractères. Il distingue les trois règnes selon deux caractères, la vie et le mouvement. Par exclusion de l'un ou des deux caractères, les règnes sont à priori définis. Ainsi, le règne minéral contient des objets dépourvus de vie et de mouvement. Il semblerait alors que les « caractères » soient utilisés pour décrire les propriétés des objets. C'est un élément fondamental pour différencier les objets les uns des autres. Se pose alors la question de l'usage des caractères pour distinguer les différents objets du règne minéral. L'usage de ces caractères revient également à s'interroger sur la nature des caractères utilisés, la manière dont ils sont mis au jour, mais aussi comment ils sont utilisés pour comparer et classer les objets. Ainsi, la question des méthodes d'identification et des pratiques plus spécifiques d'examen des caractères se pose. De plus, nous étudions également la présence de méthodes innovantes, provenant de l'insertion de nouvelles pratiques ou de nouveaux caractères pour répondre aux besoins d'identification et de classement précis. En effet, certaines remarques des savants montrent que les méthodes appliquées ne sont parfois pas

³⁸ Marie-Noëlle BOURGUET et Pierre-Yves LACOUR, « Les mondes naturalistes : Europe (1530-1802) », dans PESTRE Dominique (dir), *Histoire des sciences et des savoirs, T.1, De la Renaissance aux lumières*, Éditions du seuil, Paris, 2015, p.255

³⁹ René Just HAÜY, *Traité de minéralogie*, Tome premier, Imprimerie de Delange, Paris, 1801, p.1-2

suffisamment discriminantes pour permettre l'identification des espèces. L'une des réponses instrumentales apportée à ces limites méthodologiques est l'insertion du microscope pour étudier deux objets appartenant au règne minéral, les roches et les végétaux fossiles. Nous allons alors identifier ces limites avancées par les savants et analyser en quoi l'insertion de ce nouvel instrument parvient à solutionner ces problèmes en créant de nouvelles méthodes d'observation et de détermination.

Pour répondre à ces nombreuses interrogations, nous avons effectué, dans un premier temps, des recherches au sein de dictionnaires, dont les différentes éditions du *Dictionnaire de l'Académie française* (1762, 1798 et 1832), et d'encyclopédies, dont l'*Encyclopédie* de Diderot et d'Alembert, afin d'identifier les définitions et les usages des mots à cette époque.

Nous avons ajouté à ce premier corpus, un ensemble de traités de minéralogie mais aussi de géologie. Ces ouvrages ont été choisis, à la fois, pour leur contenu relatif à la minéralogie ou la géologie, mais aussi compte tenu de leur période de publication qui va de la fin du XVIII^e siècle à la première moitié du XIX^e siècle. Nous avons également pris en compte des ouvrages dont les auteurs ont connu une certaine postérité l'historiographique, tels que Alexandre Brongniart (1770-1847), Balthazar Sage (1740-1824) ou encore Louis-Jean Marie Daubenton (1716-1799). Nous avons également adjoint à ce corpus le traité de Jean Pierre Louis Girardin (1803-1884) et Henri Lecoq (1802-1871), *Elemens de Minéralogie*, dont le but est de présenter les principaux éléments liés à la minéralogie à cette époque. Il est en ce sens un bon ouvrage de synthèse des pratiques et du vocabulaire utilisé en 1826. L'analyse de ces diverses sources permet ainsi d'identifier le vocabulaire utilisé par les savants, les définitions qu'ils proposent mais aussi d'analyser les méthodes qu'ils utilisent pour caractériser, identifier et classer les minéraux et les roches.

Notre corpus inclut également des sources imprimées propres à répondre à nos questions sur l'usage du microscope. Une partie est régulièrement citée par l'historiographie à propos des sections fines de végétaux fossiles car elles nécessitent des observations microscopiques. Nous avons donc complété notre corpus avec l'ouvrage de Thomas Witham⁴⁰, mais aussi avec les articles de William Nicol, ainsi qu'avec certains ouvrages d'Alcide d'Orbigny comme sa *Paléontologie des coquilles et des mollusques étrangers à la France*⁴¹. Nous avons centré notre analyse de ces documents sur les pratiques d'observations utilisées, les commentaires que pouvaient faire les savants à leur propos. Nous avons également porté une attention particulière sur la méthode microscopique mise en place qui nécessite la fabrication de sections fines. Dans l'exemple des roches, nous avons inclus le mémoire de Cordier, mais également celui de Fleuriau de Bellevue dans le but d'analyser leurs discours en faveur de l'usage de l'instrument, ainsi que les pratiques associées à cet instrument et la construction dans le cas de Cordier d'une méthode de détermination. Nous avons également étudié des articles provenant de journaux tels

⁴⁰ Thomas Henry WITHAM, *Observation on fossil vegetables accompanied by representations of their internal structure, as seen through the microscope*, Editeur Neill & Co, Edimbourg, 1831, 48 pages et planches

⁴¹ Alcide d'ORBIGNY, *Paléontologie des coquilles et des mollusques étrangers à la France*, Editeurs Gide et C^{ie}, Paris, 1846, 160 pages et planches.

que les *Annales de chimie et de physique*, les *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences* et les *Annales des Mines*.

Cette partie comporte trois chapitres. Le premier s'intéresse aux mots utilisés, à leur variation et à leurs usages par les savants. Ce vocabulaire concerne les objets du règne minéral, à savoir les fossiles, les minéraux et les roches, sur une période qui va de la fin du XVIII^e siècle et aux années 1830. Il s'agit alors d'identifier les variations des usages et des noms utilisés mais aussi d'analyser la constitution des classifications des minéraux et des roches alors en vigueur.

Le second chapitre aborde quant à lui, la méthode minéralogique. Il comprend une analyse de cette méthode, constituée de trois types de méthodes distinctes – méthode physique, chimique et cristallographie- visant l'utilisation de caractères discriminants dans le but d'identifier et de classer les minéraux et les roches. J'aborde aussi la question de l'origine des pratiques mises en œuvre dans ces trois méthodes d'identification des caractères.

Le dernier chapitre de cette partie démontre dans quelle mesure les méthodes d'identification en vigueur au début du XIX^e siècle pour les roches et les végétaux fossiles révèlent des insuffisances d'après les savants et de quelle manière l'insertion du microscope conduit à deux nouvelles méthodes d'observation pour pallier ces limites d'identification.

Chapitre 1 : Qualifier le règne minéral au début du XIX^e siècle

D'après René Just Haüy (1743-1822) les trois règnes peuvent être réduits en deux classes distinctes, les êtres organiques et les êtres inorganiques⁴². Toujours d'après lui, au sein des êtres inorganiques se tiennent les minéraux, mais également d'autres objets comme les fossiles. Il semblerait qu'il y ait une confusion entre les noms de fossiles et de minéraux où tous les objets inclus dans la terre appartiendraient à la minéralogie et seraient alors des minéraux. Cette remarque présente en note de bas de page dans le *Traité de minéralogie* de Haüy conduit à s'interroger sur ce que les auteurs de la fin du XVIII^e siècle et jusqu'à 1830 entendent derrière les noms de fossiles et de minéraux.

La confusion sous-entendue nous interpelle quant aux mots à utiliser pour qualifier correctement les objets du règne minéral à cette époque. Quels mots sont alors utilisés ? Possèdent-ils le même sens que nous leur attribuons actuellement ? Pour y répondre, il nous semble alors approprié de revenir sur les définitions de ces noms pour en clarifier le sens d'utilisation selon la période.

Il s'agit également de s'interroger sur la pratique de classification chère aux naturalistes à cette époque. En effet, les tableaux de classification sont très présents dans les traités de minéralogie de cette période. Ils prennent une place considérable et, comme dans l'ouvrage de Daubenton, en constituent la majeure partie. A ce propos nous examinons sur la manière de classer les minéraux et les roches et sur les variabilités identifiables entre les auteurs. Cette analyse des tableaux permet alors de s'interroger sur les causes de cette variabilité et sur la manière dont les différentes catégories des tableaux sont construites. Les tableaux et l'activité classificatoire à propos des minéraux contribuent à questionner la base de ces classifications, à savoir la construction d'une définition de l'espèce minérale.

Ainsi, dans un premier temps, nous aborderons les différents noms et définitions associés pour qualifier les objets du règne minéral. Puis, dans un second temps, nous reviendrons sur l'un des aspects de la pratique naturaliste à savoir la classification.

⁴² René J. HAÜY, *Traité de minéralogie*, Tome premier, Imprimerie de Delange, Paris, 1801, p.2.

I. Circonscrire les objets du règne minéral par leurs définitions

Cette première partie étudie les objets appartenant au règne minéral, à savoir les fossiles, les minéraux ainsi que les pierres et la manière dont les savants définissent ces objets entre la fin du XVIII^e siècle et 1850. Il s'agit de revenir sur l'usage et la signification des mots utilisés par les savants, mais aussi sur la structuration de ces définitions afin d'identifier une éventuelle variabilité sur la période.

1. Les fossiles, vers une restriction de la définition de l'objet

La définition du mot fossile englobe dans la seconde moitié du XVIII^e siècle de nombreux objets appartenant au règne minéral, pour au début du XIX^e n'en conserver qu'un type, qui contient les restes d'animaux et de végétaux contenus dans les couches de la terre. En effet, le mot fossile est défini par Paul Henry Thiry d'Holbach (1723-1789) dans l'*Encyclopédie* de Diderot et d'Alembert comme « [...] toutes les substances qui se tirent du sein de la terre. »⁴³.

Par ailleurs, l'auteur distingue deux types de fossiles :

« On distingue deux espèces de fossiles, 1^o. ceux qui ont été formés dans la terre, & qui lui sont propres; on les appelle fossiles natifs. Tels sont les terres, les pierres, les pierres précieuses, les cristaux, les métaux, &c. 2^o. ceux qui ne sont point propres à la terre, que l'on appelle fossiles étrangers à la terre. Ce sont des corps appartenans, soit au règne minéral, soit au règne végétal: tels que les coquilles, les ossemens de poissons & de quadrupèdes, les bois, les plantes, &c. que l'on trouve ensevelis dans les entrailles de la terre où ils ont été portés accidentellement. »⁴⁴

Bien que la localisation des fossiles soit précisée, une distinction apparaît donc entre les fossiles selon l'endroit où ils ont été formés, dans la terre ou non. Le point commun à ces deux types de fossiles (natifs et étrangers) est qu'ils sont définis par des listes d'objets. Cependant, les fossiles de la seconde catégorie sont inclus dans deux domaines de l'histoire naturelle, soit le règne animal soit le règne végétal, montrant que ces objets appartiennent à deux catégories différentes, à priori incluses dans le règne minéral.

Cette définition des fossiles est construite sur un aspect commun aux objets qu'elle contient, leur localisation dans la terre. Elle permet de réunir des objets différents, identifiés sous forme de liste dans une supra-catégorie, mais confère au mot fossile un usage très vaste. Or, au début du XIX^e siècle, les définitions du mot fossile sont considérablement réduites.

⁴³ « Fossiles », dans Denis DIDEROT et Jean le Rond D'ALEMBERT, *Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, Paris, 1751-1772. Tome 7, p.209

⁴⁴ « Fossiles », dans Denis DIDEROT et Jean le Rond D'ALEMBERT, *Encyclopédie...*, op.cit., p.210.

Ainsi, René-Just Haüy dans son *Traité de minéralogie* de 1801 parle des végétaux fossiles et y explique qu'il est possible de trouver du bois pétrifié dans la terre⁴⁵. Le savant précise que cela est dû à la conversion d'un corps organique en minéral. Il ajoute aussi que certains auteurs de son époque considèrent que ces corps enfouis appartiennent au domaine de la minéralogie et que le nom de fossile est substitué à celui de minéraux. L'exemple d'Haüy témoigne de la persistance de l'usage du mot fossile pour désigner des objets issus de la terre, comme peuvent l'être les minéraux. Elle apporte également un éclairage sur la manière dont des objets du règne végétal se retrouvent au sein de la terre, fossilisés. Cette définition montre l'existence de réflexions et de travaux sur les fossiles visant à éclaircir cette question et participant à la construction d'une définition plus restreinte. Par ailleurs, Pierre Joseph Odolant Desnos (1722-1801) dans son *Précis de Minéralogie moderne* de 1828 décrit les trois branches de la minéralogie dont la troisième est considérée comme mixte. En effet, elle s'occupe des êtres organisés et des corps inorganiques, à savoir les fossiles. L'auteur parle de « *paléontographie* » dont l'objet d'étude est les restes de végétaux et d'animaux⁴⁶. Le savant considère que l'étude des corps fossiles fait partie intégrante de la minéralogie, mais qu'elle doit être une branche séparée. La nature des fossiles les rattache à la minéralogie car ils sont inorganiques, mais leur nature de corps organisés les exclut de cette catégorie.

Ainsi, dans les années 1820, la définition des fossiles se réduit par rapport à celle de l'*Encyclopédie*. Elle ne concerne à présent que les objets organiques transformés en minéral. Par conséquent, tous les corps inorganiques ne présentant pas d'organisation sont exclus de la catégorie des fossiles.

Cette restriction du mot fossile à quelques objets semble définitive dans les années 1830, comme le montre la définition extraite du dictionnaire de l'*Académie française* de 1835 :

« [...] Il se dit également Des dépouilles, des débris, ou des formes, des empreintes de corps organisés, qu'on trouve dans les couches de la terre. Animal fossile. Ivoire fossile. Coquillage fossile. Plante fossile. Bois fossile. »⁴⁷

Cette définition reprend la localisation des fossiles, mais également la notion d'organisation propre à distinguer les fossiles des autres corps inorganiques. Pour autant, l'exclusion de cette catégorie d'objets de la définition du mot fossile interroge sur la manière dont ils sont nommés et définis.

2. Les minéraux : de la liste à la généralisation pour définir

La définition des fossiles à la fin du XVIII^e siècle se réduit tout en excluant d'autres objets provenant de la terre, nommés minéraux. La manière de définir ces derniers évolue pour

⁴⁵ René J. HAÜY, *Traité de minéralogie*, Tome 1, Paris, 1801, p.2-3 (Note de bas de page).

⁴⁶ Joseph Jacques ODOLANT DESNOS, « Précis de Minéralogie moderne », *Encyclopédie portative ou Résumé universel des sciences, des lettres et des arts*, Première partie, Tome 1, Paris, 1828, p. 13.

⁴⁷ Notice « Fossile » dans *Dictionnaire de l'Académie française*, 6^{ème} édition, Tome 1, 1835, p.788.

atteindre, dès les années 1830, un degré de généralisation construit en miroir des deux autres règnes de l'histoire naturelle. A ce propos, la notice de l'*Encyclopédie* sur les minéraux, rédigée par d'Holbach revient sur l'appartenance des minéraux aux fossiles. Elle définit les minéraux comme étant :

« [...] toutes les substances qui se trouvent dans le sein de la terre ; alors c'est un synonyme de fossiles [...].⁴⁸»

L'association minéraux et fossiles n'était pas présente dans l'article sur les fossiles. Cette modification montre combien le travail de définition est complexe et fluctuant quand bien même il s'agit du même auteur. Pour autant, d'Holbach ne s'arrête pas là et définit les minéraux comme :

« [...] tous les corps non vivans & non organisés qui se trouvent dans l'intérieur de la terre & à sa surface; tels sont les terres, les pierres, les métaux, les demi - métaux, les substances inflammables, les sels & les pétrifications. »⁴⁹.

Il s'agit d'une définition étendue de la notion de minéraux. Elle est construite par rapport aux autres règnes de l'histoire naturelle en définissant les minéraux comme non vivants et non organisés au contraire des végétaux et des animaux. A ce parallèle s'ajoute une liste d'objets, considérés comme étant des minéraux.

L'auteur propose aussi une définition plus restreinte qui comprend :

« [...] les sels, aux substances inflammables, aux métaux & aux demi - métaux, c'est - à - dire, aux seules substances qui entrent dans la composition des mines ou glebes métalliques.⁵⁰».

Cette seconde définition montre que la liste des objets considérés comme des minéraux est variable, puisqu'elle exclut, par exemple, les pierres. La présence de ces deux définitions montre également qu'il n'y a pas de consensus sur les objets considérés comme étant des minéraux.

Les mêmes caractéristiques présentes dans la définition de l'*Encyclopédie* se retrouvent dans les traités de minéralogie de la seconde moitié du XVIII^e siècle et du début du XIX^e siècle. En effet, en 1759, Jean-Gottlob Lehmann (1719-1767) dans *L'art des mines* définit les minéraux comme étant les sels, les substances inflammables, le soufre, le cobalt (sans argent) et toutes les substances fossiles. Cette dernière catégorie comprend toutes les terres non métalliques et toutes les espèces de pierres communes et précieuses⁵¹. Jacques Christophe Valmont de Bomare (1731-1807) en 1774 dans la seconde édition de son *Minéralogie ou nouvelle exposition du*

⁴⁸ Notice « minéraux » dans Denis DIDEROT et Jean le Rond D'ALEMBERT, *Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, Paris, 1751-1772, Volume 10, p.534.

⁴⁹ Notice « minéraux » dans Denis DIDEROT et Jean le Rond D'ALEMBERT, *Encyclopédie ...*, *ibid.*

⁵⁰ Notice « minéraux » dans Denis DIDEROT et Jean le Rond D'ALEMBERT, *Encyclopédie ...*, *ibid.*

⁵¹ D'après Johann Gottlob LEHMANN, *L'art des Mines ou introduction aux connaissances nécessaires pour l'exploitation des mines métalliques*, traduit de l'Allemand, Tome 1, Paris, 1759, p 85-86

règne minéral précise que le minéral est « *un objet quelconque du règne minéral* »⁵². Cependant, tout comme Lehman, Valmont de Bomare précise que les minéraux comprennent « *les sels, les bitumes, les soufres, les pyrites* »⁵³. L'auteur mentionne que certains savants y ajoutent les demi-métaux et les métaux minéralisés. En 1807, Alexandre Brongniart (1770-1847) dans son *Traité élémentaire de Minéralogie* décrit les minéraux comme « *des corps inorganisés qui existent naturellement dans la terre ou à sa surface* »⁵⁴.

Les définitions que proposent ces trois auteurs sont construites autour de listes d'objets variables d'un auteur à l'autre. Brongniart reprend la notion « *d'inorganisés* » dans son propos afin de définir, en regard des autres corps de l'histoire naturelle, les minéraux. Plus tardivement, en 1826, Jean Girardin (1803-1884) et Henri Lecoq (1802-1871) dans *Elemens de Minéralogie* définissent quant à eux les minéraux comme « *des corps inorganisés qui existent dans la nature* »⁵⁵ et Alexandre Edouard Baudrimont (1806-1880), en 1839⁵⁶ décrit les minéraux comme des produits naturels qui n'ont jamais vécu⁵⁷.

Avant Brongniart, quelques essais de généralisation de la définition des minéraux sont perceptibles. Valmont de Bomare fait référence au règne minéral dans un essai de généralisation de sa définition. Mais définir un minéral comme un objet du règne minéral ne permet pas vraiment d'éclaircir son sens. La généralisation de la définition semble acquise à partir du début du XIX^e siècle, comme le montre l'exemple de Brongniart. Les minéraux sont alors reliés à un objet naturel issu de la terre, situé soit en surface soit en profondeur. Par ailleurs, les minéraux sont également définis par leur rapport à la vie. Ce sont des corps inorganiques, par conséquent non vivants et non produits par un organisme vivant. Cette manière de définir les minéraux fait référence aux deux autres règnes de l'histoire naturelle, le règne animal et végétal, organique et vivant.

Bien que n'apparaissant pas dans les définitions précédentes, les cristaux sont également des objets appartenant au règne minéral. La définition que propose Valmont de Bomare va dans ce sens, tout en apportant davantage d'informations pour les distinguer des minéraux :

« *En histoire naturelle, ce nom se donne à toutes les substances minérales, qui ont pris d'elles-mêmes une figure constante & déterminée. Il y a donc autant de différentes espèces de cristaux, qu'il y a de substances qui affectent une figure régulière un grand nombre de pierres calcaires, gypseuses, vitrifiables, ignescentes ou scintillantes, réfractaires, de métaux, de demi-métaux, les sels fossiles, les pyrites sont dans ce cas ; il est aisé de les reconnaître à leurs*

⁵² Jacques Christophe VALMONT DE BOMARE, *Minéralogie ou nouvelle exposition du règne minéral*, Seconde édition, Tome 1, Imprimeur Vincent, Paris, 1774, p. xlvj

⁵³ Jacques C. VALMONT DE BOMARE, *Minéralogie ...*, *ibid.*

⁵⁴ Alexandre BRONGNIART, *Traité élémentaire de Minéralogie avec des applications aux arts*, Tome 1, Imprimerie de Crapelet, Paris, 1807, p.1

⁵⁵ Jean GIRARDIN et Henri LECOQ, *Elemens de Minéralogie appliquée aux sciences chimiques*, ouvrage basé sur la méthode de M. Berzelius, T.1, Paris, 1826, p. 1

⁵⁶ Alexandre BAUDRIMONT, « Partie Anorganique comprenant la Minéralogie et la géologie » dans G.J. MARTIN SAINT-ANGE et F.E. GUERIN, *Traité élémentaire d'Histoire Naturelle*, Paris, 1839, 279p.

⁵⁷ Alexandre BAUDRIMONT, « Partie Anorganique comprenant la Minéralogie... », *op.cit.*, p.3

formes distinctes ; & cette figure déterminée ne change rien aux qualités ou propriétés essentielles »⁵⁸.

Ces éléments de définition ont pour origine les travaux de Romé de L'Isle qui étudie les caractéristiques de ces objets. A ce propos, Romé de l'Isle dans *Cristallographie*, définit les cristaux comme « [...] *tous les corps du règne minéral auxquels on trouva une figure polyèdre & géométrique* [...] »⁵⁹.

La définition qu'en propose Haüy est proche puisqu'il fait aussi référence à des formes polyédriques. Il définit les cristaux comme « *l'assemblage des molécules des substances minérales en polyèdres terminés par des faces planes* »⁶⁰. Cette définition introduit les notions de molécules, ici entendue comme molécule intégrante concept central de la théorie de formation des cristaux chez Haüy.

En dehors de la définition de Valmont, qui s'inscrit dans la continuité de celle des minéraux, les définitions que proposent Romé de L'Isle et Haüy sont centrées sur les caractéristiques de ces corps, à savoir leurs assemblages géométriques et réguliers.

Faire référence à des caractéristiques communes dans le but de définir des objets participent au processus de généralisation de la construction des définitions et par conséquent tout objet possédant ces caractères appartient au groupe.

3. Les « roches », une définition en construction

A la fin du XVIII^e siècle, la multiplicité des termes utilisés par les savants comme cailloux, roches et pierres opacifie la nature de l'objet considéré plus tardivement sous le nom de roche et contribue à complexifier la construction d'une définition commune et englobante.

Daubenton dans son *Tableau méthodique des minéraux suivant leurs différentes natures* de 1795, parle de « pierres ». Le mot est utilisé par exemple dans le titre de son premier ordre « *Sables, Terres et Pierres* »⁶¹, mais aussi pour décrire les classes comme la « *1^{ère} classe : Pierres qui étincellent par le choc du briquet* »⁶² ou encore la « *3^{ème} classe : Terres et pierres qui font effervescence* »⁶³. Barthélémy Faujas de Saint Fond (1741-1819) parle également de « *Pierre* »⁶⁴ lorsqu'il décrit l'observation à l'œil nu d'un basalte dans sa *Minéralogie des*

⁵⁸Jacques C. VALMONT DE BOMARE, *Minéralogie ou nouvelle exposition du règne minéral*, Seconde édition, Tome 1, Imprimeur Vincent, Paris, 1774, p. XXVJ

⁵⁹Jean Baptiste ROME DE L'ISLE, *Cristallographie ou description des formes propres à tous les corps du règne minéral*, Tome 1, Imprimerie de Monsieur, Paris, 1783, p.6.

⁶⁰ René J. HAÜY, *Essai d'une théorie sur la structure des cristaux, appliquée à plusieurs genres de substances cristallisées*, Imprimerie Demonville, Paris, 1784, p. 2.

⁶¹ Louis Jean-Marie DAUBENTON, *Tableau méthodique des minéraux suivant leurs différentes natures Et avec des caractères distinctifs, apparens ou faciles à reconnoître*, 5^{ème} édition, Imprimerie de Du Pont, Paris, an 4 de la République (1795-96), p.1.

⁶² Louis J.-M. DAUBENTON, *Tableau méthodique ...*, *ibid.*

⁶³ Louis J.-M. DAUBENTON, *Tableau méthodique ...*, *op.cit.*, p.15

⁶⁴ Barthélémy FAUJAS DE SAINT-FOND, *Minéralogie des volcans, ou description de toutes les substances produites ou rejetées par les feux souterrains*, Imprimerie de Clousier, Paris, 1784, p.2

volcans. Valmont de Bomare dans sa *Minéralogie ou nouvelle exposition du règne minéral* utilise également le mot pierre dans les titres de ses classifications : « *Quatrième classe. Pierres [Lapides]* »⁶⁵, tout comme *L'art des Mines* de Lehmann⁶⁶ qui mentionne aussi le mot, pierre, dans sa classification.

Par ailleurs, pour Valmont de Bomare les pierres sont « [...] *composées de substances ou terreuses ou sablonneuses & endurcies au point de ne plus s'amollir dans l'eau.* »⁶⁷. Il parle aussi de « *pierres de roches composées* »⁶⁸ définies comme « [...] *l'assemblage de deux, de trois pierres, ou mêmes davantage, qui sont plus ou moins dures, de différentes couleurs & propriétés, & dans diverses proportions [...]* »⁶⁹. D'après le *Traité élémentaire de Minéralogie* de Brongniart de 1807, les pierres sont les minéraux qui résultent « [...] *de la combinaison des terres entre elles ou avec les alcalis, et renfermant quelque fois, comme principe accessoire des acides, des combustibles ou des métaux.* »⁷⁰.

Pierre Louis Antoine Cordier (1777-1861) quant à lui utilise un autre mot, celui de roche. En effet, dans son *Mémoire sur les substances minérales dites en masses*⁷¹ de 1815, Cordier utilise l'expression « *roche volcanique* ». Cependant, l'usage du mot roche est peu présent dans les autres traités. Il est parfois inclus dans des expressions, telles que « *pierres de roches composées* »⁷² chez Valmont de Bomare ou encore « *le cristal de roche* »⁷³ pour Haüy. Par ailleurs, Brongniart en 1825 mentionne les roches homogènes alors définies comme des minéraux en masses, tandis que les roches composées sont des mélanges naturels et constants de minéraux, qui se présentent en masse étendue. Cette définition de Brongniart montre que la distinction entre les minéraux en masses et les roches n'est pas encore bien précise, bien que l'usage du mot roche s'ancre dans le vocabulaire.

Ces différents exemples illustrent les multiples noms mobilisés par les savants pour qualifier des objets ou bien pour les caractériser. De plus, les recherches dans les dictionnaires ou l'*Encyclopédie* confirment ces divers usages.

Les pierres au sens de l'histoire naturelle dans l'*Encyclopédie*, sont associées au mot « *lapides* » et sont définies comme :

⁶⁵ Jacques C. VALMONT DE BOMARE, *Minéralogie ou nouvelle exposition du règne minéral*, Seconde édition, Tome 1, Imprimeur Vincent, Paris, 1774, p.168

⁶⁶ Johann G. LEHMANN, *L'art des Mines ou introduction aux connaissances nécessaires pour l'exploitation des mines métalliques*, traduit de l'Allemand, Tome 1, Paris, 1759, p. 142.

⁶⁷ Jacques C. VALMONT DE BOMARE, *Minéralogie ...*, *op.cit.*, p. 168.

⁶⁸ Jacques C. VALMONT DE BOMARE, *Minéralogie ...*, *op.cit.*, p. 425.

⁶⁹ Jacques C. VALMONT DE BOMARE, *Minéralogie ...*, *ibid.*

⁷⁰ Alexandre BRONGNIART, *Traité élémentaire de Minéralogie avec des applications aux arts*, Tome 1, Imprimerie de Crapelet, Paris, 1807, p.261.

⁷¹ Pierre L. CORDIER, *Mémoire sur les substances minérales dites en masses, qui entrent dans la composition des Roches Volcaniques de tous les âges*, Imprimerie de Mme V^c Courcier, 1815, Paris, 87 pages.

⁷² Jacques C. VALMONT DE BOMARE, *Minéralogie ...*, *op.cit.*, p. 425.

⁷³ René J. HAÜY, *Traité de minéralogie*, Tome 1, Paris, 1801, p. vi.

« [...] des corps solides & durs, non ductiles, formés par des particules terreuses, qui, en se rapprochant les unes des autres, ont pris différens degrés de liaison. Ces corps varient à l'infini pour la consistance, la couleur, la forme & les autres propriétés »⁷⁴.

Les pierres sont alors décrites selon un ensemble de propriétés. La solidité et la dureté sont décrites en premier, tout comme les diverses formes prises. Là où les minéraux sont définis par une liste et leur localisation, les pierres le sont par les propriétés qu'elles détiennent. Le mot « caillou » est aussi présent. D'Holbach, pour l'*Encyclopédie* propose de le définir comme une « [...] *matière vitrifiable produite par l'argille & analogue au sable vitrifiable, grès, granit, &c.* »⁷⁵. Les cailloux peuvent être présents en grandes masses, souvent par couche ou en petites masses et en très grande quantité, que ce soit à la surface ou à l'intérieur de la terre. L'auteur spécifie que les cailloux sont étudiés sous deux aspects, l'histoire naturelle ou bien la chimie. Cette dernière définit alors le caillou comme « [...] *une pierre qui est dans la classe des terres ou pierres vitrifiables* »⁷⁶.

Pour le mot roche, mobilisé par Cordier, au sein de l'*Encyclopédie*, le mot roche s'attache au domaine de l'architecture⁷⁷ ou bien à celui de l'hydraulique⁷⁸. Il n'y a pas de relation directe ou tout du moins de définition du mot roche qui se rattache à la minéralogie ou à l'histoire naturelle. Le dictionnaire de l'*Académie française* propose quant à lui comme synonyme du mot roche celui de « *roc* »⁷⁹ défini alors comme une « *masse de pierre très-dure, qui a sa racine en terre* »⁸⁰. Les auteurs mentionnent aussi que le mot roche est associé à des expressions comme « *crystal de roche* » ou encore « *eau de roche* ». L'absence du mot roche dans les différentes notices confirme que l'usage du mot n'est pas courant dans la dernière moitié du XVIII^e siècle. Il est cependant davantage mobilisé dans les années 1820, comme en témoigne l'ouvrage de Girardin et Lecoq. Ces derniers définissent les roches comme « *un mélange mécanique de plusieurs espèces minérales* »⁸¹, reprenant assez clairement les propos et le concept de Cordier. Ils classent les roches en deux catégories, les « *phanérogènes* » et les « *adélogènes* ». La première catégorie correspond au fait que les composants sont perceptibles à l'œil nu, tandis que pour la seconde, les composants ne sont pas distinguables. L'identification

⁷⁴ Notice « pierre » dans Denis DIDEROT et Jean le Rond D'ALEMBERT, *Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, Paris, 1751-1772, Tome 12, p. 574-76.

⁷⁵ Notice « caillou » dans Denis DIDEROT et Jean le Rond D'ALEMBERT, *Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, Paris, 1751-1772, Tome 2, p.533

⁷⁶ Notice « caillou » dans Denis DIDEROT et Jean le Rond D'ALEMBERT, *Encyclopédie ...*, *op.cit.*, p. 535.

⁷⁷ « *C'est la pierre la plus rustique & la moins propre à être taillée. Il y a de ces roches qui tiennent de la nature du caillou, & d'autres qui se délitent par écailles. On appelle roche vive la roche qui a ses racines fort profondes, qui n'est point mêlée de terre, & qui n'est point par couche comme dans les carrières.* »

Notice écrite par JAUCOURT, « Roche » dans Denis DIDEROT et Jean le Rond D'ALEMBERT, *Encyclopédie ...*, *op.cit.*, Tome 14, p. 311-312

⁷⁸ « *un monceau de cailloux, de pétrifications, de coquillages de différentes couleurs, élevé & formant un rocher, au haut duquel est un jet qui retombe sur ce cailloutage. Ce peut être encore une fontaine rocaillée, adossée contre un mur, imitant la caverne d'où sortent des bouillons & nappes d'eau.* » notice écrite par D'ARGENVILLE, « Roche », dans Denis DIDEROT et Jean le Rond D'ALEMBERT, *Encyclopédie... op.cit.*, Tome 14, p.312

⁷⁹ *Dictionnaire de l'Académie française*, 4^{ème} édition, Tome 2, 1762, p. 646 et 5^{ème} édition, p. 507.

⁸⁰ *Dictionnaire de l'Académie française*, 4^{ème} édition, Tome 2, 1762, p. 646. Notons que la définition du mot roc est légèrement différente dans la 5^{ème} édition. C'est « une masse de pierre très-dure, qui tient à la terre. » 5^{ème} édition, p. 507.

⁸¹ Jean GIRARDIN et Henri LECOQ, *Elemens de Minéralogie appliquée aux sciences chimiques*, ouvrage basé sur la méthode de M. Berzelius, T.2, Paris, 1826, p. 228.

d'une roche prend aussi en compte les différentes parties constituantes de celle-ci. Ces dernières sont considérées comme essentielles, accessoires ou accidentelles. L'exemple ci-dessous permet de comprendre comment les auteurs assimilent les parties constituantes aux minéraux (colonne de droite) :

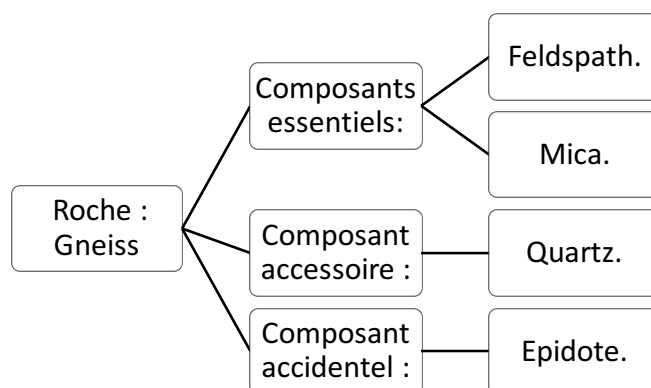


Figure 1 : Exemple de la répartition des parties constituantes du gneiss⁸².

L'influence de Cordier dans la manière de définir les roches chez les deux auteurs est transparente. Ainsi, les roches sont décomposées en différents constituants, les minéraux. Ces mêmes minéraux sont classés en trois catégories selon leur présence récurrente ou non au sein d'une roche.

Plus tardivement, en 1840, Jean-Jacques-Nicolas Huot (1790-1845) définit les roches « *comme des substances minérales simples ou mélangées qui forment des dépôts, des masses, des couches assez importantes pour être considérées comme parties constituantes de la croûte terrestre* »⁸³. Il évoque également, comme d'Aubuisson de Voisins deux classes différentes, les roches homogènes et simples ou bien hétérogènes et composées⁸⁴.

Les exemples tirés des traités ainsi que les définitions montrent la coexistence de nombreux mots entre 1780 et 1800-1810 pour qualifier des objets qui présentent des caractéristiques similaires. Les définitions sont construites non pas comme pour les minéraux à partir de listes, mais en fonction des propriétés de l'objet. Ainsi, que ce soit des cailloux, des pierres ou encore des roches, ils ont comme points communs d'être tirés de la terre et d'être durs. Notons également que les explications des définitions mobilisent des termes comme pierres pour définir leurs propres objets. Ce référencement participe à la confusion des définitions. Ce n'est qu'autour de 1815 que le mot roche va être utilisé de manière plus systématique pour qualifier des objets, reléguant progressivement les autres expressions à l'état de synonyme.

⁸² D'après Jean GIRARDIN et Henri LECOQ, *Elemens de Minéralogie appliquée aux sciences chimiques*, ouvrage basé sur la méthode de M. Berzelius, T.2, Paris, 1826, p. 230.

⁸³ Jean-Jacques-Nicolas HUOT, *Nouveau manuel complet de géologie ou Traité élémentaire de cette science*, Librairie encyclopédique de Roret, Paris, 1840, p.21.

⁸⁴ Jean François D'AUBUISSON DE VOISINS, *Traité de géognosie ou exposé des connaissances actuelles sur la constitution physique et minérale du globe terrestre*, Nouvelle édition, Tome premier, Imprimerie de Levrault, Strasbourg, 1828, p.269.

II. Classer le règne minéral pour l'identifier

D'Holbach précise dans l'article « Minéralogie » de l'*Encyclopédie* :

« Plusieurs naturalistes modernes ont cherché à ranger les minéraux dans un ordre systématique, ou suivant une méthode semblable à celle que les Botanistes ont adoptée pour le regne végétal »⁸⁵.

A ce propos, il évoque aussi des naturalistes, tels que Linné, Wallérius, ou encore Lehmann qui classent le règne minéral. Il expose rapidement les différentes classifications proposées par les savants, montrant ainsi la diversité et les difficultés de classer ces objets. D'ailleurs, la notice se termine par un commentaire sur l'usage des caractères extérieurs pour différencier les minéraux et des connaissances nécessaires pour les identifier (voir à ce propos Annexe 1, 1.2 Minéralogie, p. 322)

Cet article permet de mettre en lumière la manière dont les savants s'attellent au problème de la classification du règne minéral. Les savants étudiant les minéraux se rattachent explicitement à l'histoire naturelle et tentent d'en appliquer les mêmes méthodes. Il en ressort des tableaux méthodiques variés. Cependant, ce n'est pas sans poser des problèmes. En effet, les limites des catégories instituées pour les autres règnes ne sont pas valables pour les objets du règne minéral. Chacun tâche alors de choisir une base de classification, qui a pour résultat de faire émerger une grande diversité de classifications minéralogiques dites physiques ou bien chimiques.

1. La minéralogie dans l'histoire naturelle vue par les savants

Entre la fin du XVIII^e siècle et le milieu du XIX^e siècle, les savants précisent en quoi consiste la minéralogie en la rattachant explicitement à l'histoire naturelle.

Ainsi, Valmont de Bomare définit la minéralogie comme :

⁸⁵Notice « Minéralogie » dans Denis DIDEROT et Jean le Rond D'ALEMBERT, « Minéralogie », *Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, Paris, 1751-1772, volume 10 p. 543

« [...] l'énumération et la description des eaux, des terres, des sables, des pierres, des minéraux, des demi-métaux, des métaux et de toutes les substances ou corps fossiles qui se trouvent à la surface ou dans l'intérieur de notre globe »⁸⁶.

Cette définition de la minéralogie est quasi identique à celle qu'il propose de l'histoire naturelle. D'après lui, c'est la « [...] science qui s'occupe de l'énumération et de la description des différents corps que renferment les minéraux, les végétaux et les animaux »⁸⁷.

L'inscription de la minéralogie dans l'histoire naturelle se retrouve chez d'autres auteurs, comme Brongniart, qui en 1807 dans son *Traité élémentaire de Minéralogie* rappelle que la minéralogie fait partie de l'histoire naturelle et que les mêmes principes s'y appliquent⁸⁸. Que veut dire Brongniart lorsqu'il mentionne les principes de l'histoire naturelle ?

La réponse est apportée par Valmont de Bomare. Il précise que le naturaliste regarde, recueille et range méthodiquement. Ainsi, l'application de ces principes conduit les savants à observer, collecter et ranger les objets du règne minéral. A ce propos, Haüy dans son *Essai d'une théorie sur la structure des cristaux* de 1784 parle de trier et de comparer les différentes formes des cristaux⁸⁹. Il y développe des principes de classification, d'ordonnement et d'identification. Cette mise en ordre préconisée par Haüy l'est également par Daubenton à travers ce qu'il nomme la distribution méthodique. Cette dernière permet d'après Daubenton de ne pas se perdre dans la multitude des objets⁹⁰.

Pour autant, la manière de classer n'est pas explicitée par ces savants. Brongniart le fait, en apportant des précisions quant à la méthode à utiliser pour ordonner ces différents objets :

« [...] apprendre à distinguer les corps qui sont réellement différents, et à rapprocher ceux qui ont entre eux des rapports ou nombreux ou très importants. Il cherche à connaître et à apprécier la place que les diverses espèces de minéraux tiennent dans cet ensemble d'être qu'on nomme la nature, et à s'instruire du rôle qu'ils y jouent »⁹¹.

La méthode de classification que préconise Brongniart est de rassembler les objets qui ont le plus de rapports entre eux et de séparer ceux qui n'en ont pas.

Il en est de même pour Odolant Desnos en 1828 dans son *Précis de Minéralogie moderne*. Il définit la minéralogie comme l'étude des espèces individuelles dans leur état parfait, leurs variations ou leurs altérations, afin d'établir des caractères distinctifs qui servent à reconnaître

⁸⁶ Jacques C. VALMONT DE BOMARE, *Minéralogie ou nouvelle exposition du règne minéral*, Seconde édition, Tome 1, Imprimeur Vincent, Paris, 1774, p. 2

⁸⁷ Jacques C. VALMONT DE BOMARE, *Minéralogie ... op.cit.*, p.1.

⁸⁸ Alexandre BRONGNIART, *Traité élémentaire de Minéralogie avec des applications aux arts*, Tome 1, Imprimerie de Crapelet, Paris, 1807, p.2

⁸⁹ René J. HAÛY, *Essai d'une théorie sur la structure des cristaux, appliquée à plusieurs genres de substances cristallisées*, Imprimerie Demonville, Paris, 1784, p.5

⁹⁰ Louis J.-M. DAUBENTON, « Avertissement », *Tableau méthodique des minéraux suivant leurs différentes natures*, 5eme édition, Paris, an 4 de la République (1795-96), page d'avertissement.

⁹¹ Alexandre BRONGNIART, *Traité élémentaire de Minéralogie ...*, *op.cit.*, p.2

et à classer, et ce d'après leurs analogies⁹². Il évoque au cours d'une introduction historique de nombreux savants comme Wallérius, Lehmann, Valmont de Bomare, Werner, Faujas de Saint Fond, Brongniart, Berzelius, Haüy ou encore Daubenton, Cordier et Romé de l'Isle⁹³, qui ont également participé à classer et ordonner le règne minéral.

Alexandre Edouard Baudrimont (1806-1880) s'inscrit dans cette démarche puisqu'en 1839 il précise que :

« [...] les espèces minérales dont le nombre augmente tous les jours, ne pourraient être étudiées sans ordre, il a donc été indispensable de les classer »⁹⁴.

Il ajoute également que la minéralogie étudie et classe les minéraux. L'exemple d'Odolant-Desnos et de Baudrimont illustre la persistance de l'idée d'ordonner le règne minéral. Les savants cités par Odolant-Desnos montrent que la pratique de la classification existe depuis bien avant le milieu du XVIII^e siècle. Mais cette introduction historique met en avant le fait qu'il n'y a pas jusque-là de classification satisfaisante pour les savants.

La minéralogie fait corps avec l'histoire naturelle d'après les savants qui la définissent. L'observation, la récolte et le classement font partie de la minéralogie et s'appliquent à tous ces objets, minéraux, roches, fossiles ou encore cristaux. Les auteurs de traités de minéralogie estiment alors nécessaire, comme Baudrimont le signale ci-dessus, de classer ces objets. Mais comment classer ces divers objets ? L'application des méthodes de classifications des autres règnes est-elle seulement possible pour le règne minéral ?

2. Construire des classifications minéralogiques

Les classifications minéralogiques sont avant tout représentées par des tableaux, ordonnés en plusieurs niveaux distincts comme par exemple les classes, les ordres ou les espèces. Chaque niveau est nommé et défini par le savant. Il construit sa classification selon des critères qui lui sont propres, mais qui s'inspirent aussi des classifications des autres règnes de la nature.

Faire figurer les classifications minéralogiques dans les traités

Les traités montrent combien la classification est importante dans la minéralogie, notamment par la présence de tableaux.

Daubenton est un exemple particulièrement signifiant puisqu'il publie un *Tableau méthodique des minéraux suivant leurs différentes natures*. La cinquième édition de l'ouvrage

⁹² Joseph J. ODOLANT DESNOS, « Précis de Minéralogie moderne », *Encyclopédie portative ou Résumé universel des sciences, des lettres et des arts*, Première partie, Tome 1, Paris, 1828, p. 7.

⁹³ Joseph J. ODOLANT DESNOS, « Précis de Minéralogie moderne », *op.cit.*, p. 7-11.

⁹⁴ Alexandre BAUDRIMONT, « Partie Anorganique comprenant la Minéralogie et la géologie » dans G.J. MARTIN SAINT-ANGE et F.E. GUERIN, *Traité élémentaire d'Histoire Naturelle*, Paris, 1839, p.46.

se réduit à un tableau précédé d'un avertissement de deux pages ⁹⁵. Le tableau ci-dessous représente un extrait de la première classe de Daubenton. Il est organisé en trois colonnes, hiérarchisant de gauche à droite les sous-catégories de la classification, à savoir, genres, sortes et variétés. Des typographies différentes sont utilisées pour distinguer les informations présentes dans ces colonnes. Les informations en italiques, communes aux deux premières colonnes concernent les caractères descriptifs de ces objets.

(3)

GENRES.	SORTES.	VARIÉTÉS.
2. Pierres demi-transparentes, substance quartzreuse, couches concentriques, ou cassure écailleuse.	2. Calcédoines, <i>transparence laiteuse.</i>	<ul style="list-style-type: none"> 1. d'un blanc laiteux. 2. rougeâtres. 3. bleuâtres. 4. veinées. 5. onix. 6. irisées. <i>OPALES.</i> 7. arrondies et solides. <i>GIRASOLS.</i> 8. arrondies et creuses. <i>ENHYDRES.</i> 9. en stalactites. 10. en sédiment. 11. spongieuses. <i>HYDROPHANES.</i>
	3. Cornalines, <i>beau rouge.</i>	<ul style="list-style-type: none"> 1. pâles. 2. foncées. 3. onix. 4. herborisées. 5. en stalactites.
	4. Sardoines, <i>orangé.</i>	<ul style="list-style-type: none"> 1. pâles. 2. foncées. 3. veinées. 4. onix. 5. herborisées. 6. noirâtres.
	5. Pierres à fusil, <i>grises, blondes, rousses, noirâtres.</i>	<ul style="list-style-type: none"> 1. tuberculeuses. 2. par lits.
	6. Prases, <i>vertes.</i>	<ul style="list-style-type: none"> 1. vertes. 2. nuées. 3. tachées.
	7. Jades, <i>poli gras.</i>	<ul style="list-style-type: none"> 1. blanchâtres. 2. olivâtres. 3. verts.
	8. Petrosilex, <i>transparence de cire, cassure écailleuse.</i>	<ul style="list-style-type: none"> 1. blanc. 2. rougeâtre. 3. veiné.

Figure 2 : Extrait du Tableau méthodique de Daubenton, « Première classe : Pierres qui étincellent par le choc du briquet ».

⁹⁵ Notons que l'auteur en fin d'ouvrage propose une section sur les minéraux dont on ne connaît pas assez la nature, qui est sous forme de liste, ainsi qu'une addition à son tableau qu'il présente en deux pages.

L'ouvrage de Brongniart comprend également de multiples pages représentant les différentes stratifications de sa classification, dont il explique la construction et le contenu des subdivisions sur près de 23 pages⁹⁶. Voici ci-dessous un extrait de son tableau. Nous avons choisi cette page afin de montrer comment s'organisent graphiquement ces différentes divisions. La représentation du tableau est proche de celle de Daubenton, avec trois colonnes contenant les sous-divisions de plus en plus restreintes. Les classes et les ordres sont quant à elles signifiées au lecteur sous forme de lignes. Les caractères sont également représentés par une typographie en italique.

⁹⁶ Ce développement correspond à l'article III Classification des minéraux, extrait de Alexandre BRONGNIART, *Traité élémentaire de Minéralogie avec des applications aux arts*, T1, Imprimerie de Crapelet, Paris, 1807 p. 41-64.

M É T H O D I Q U E .

75

GENRES.	ESPÈCES.	SOUS-ESPÈCES ET VARIÉTÉS.
BARYTE.	sulfatée.	pure. cristallisée. crétée. bacillaire. fibreuse. radiée. concrétionnée. compacte. terreuse. fétide. grenue.
	carbonatée.	
STRONTIANE.	sulfatée.	cristallisée. fibreuse. terreuse.
	carbonatée.	

CLASSE III. LES PIERRES.

Les terres combinées entre elles, et quelquefois avec des principes accessoires alcalins, acides ou métalliques.

ORDRE I. LES PIERRES DURES,

sèches, et après au toucher, une dureté assez considérable pour rayer le verre à vitre blanc.

*Ittria, silice
et glucyne.....
Zircone et si-
lice.....*

Gadolinite.

Zircon.

Quartz.

Jargon.
Hyacinthe.

hyalin cristallisé.
laminaire.
amorphe.
concrétionné.
limpide.
irisé.
avanturiné.
chatoyant.
gras.
laiteux.
jaune.
verdâtre.
rose.
Améthiste.
saphirin.
enfumé.
noir.
Prase.
rubigineux jaune.
Sinople.

*Silice presque
pure.*

Figure 3 : Extrait du tableau méthodique de Brongniart.

L'ouvrage de Valmont de Bomare, *Minéralogie ou nouvelle exposition du règne minéral*, comprend de nombreux tableaux, méthodiques eux aussi. Celui ci-dessous est extrait de la

quatrième classe, celle des Pierres⁹⁷. A la différence de Brongniart et de Daubenton, Valmont de Bomare n'a pas construit ses tableaux pour qu'ils entrent dans le format de l'ouvrage. Ce sont des tableaux, de grand format, qui se déplient. Ils sont insérés à la suite de chaque nouvelle classe. Les colonnes représentent les divisions de son tableau. Il n'accroche pas de caractères à ces différentes divisions, mais précise les pages correspondant à chaque catégorie d'objets. Voici ci-dessous un extrait incomplet de la quatrième classe, celle des Pierres⁹⁸. A titre d'indication, pour deux ordres nous avons mentionné le nombre de représentants.

Classe (IV)	Ordres	Genres	Sous-divisions.	Espèces
Les pierres	Les pierres argileuses.	6	7	38
	Les pierres ignescentes ou scintillantes.	5	9	64

Figure 4 : Représentation de la classe des Pierres de Valmont de Bomare.

Ces différents extraits de tableaux méthodiques permettent de constater qu'ils ne contiennent pas uniquement des noms de roches ou de minéraux. Ils incluent également des caractères descriptifs, associés à ces sous-divisions. Cet usage associé aux différentes informations présentes dans les tableaux méthodiques, nous interpelle sur la manière dont les savants construisent ces derniers.

Comment définir des catégories pour les classifications minérales

Les tableaux méthodiques présents dans les traités de minéralogie sont construits en utilisant le même vocabulaire que pour les autres règnes. Cet usage se complique lorsqu'il est question de sa directe applicabilité aux objets minéralogiques. La nécessité de construire une définition propre à l'espèce minéralogique apparaît alors.

⁹⁷ Jacques C. VALMONT DE BOMARE, *Minéralogie ou nouvelle exposition du règne minéral*, Seconde édition, Tome 1, Imprimeur Vincent, Paris, 1774, p.178 et suivantes.

⁹⁸ Jacques C. VALMONT DE BOMARE, *Minéralogie ... ibid.*

Une classification est d'après Girardin et Lecoq la « *distribution méthodique d'une collection d'êtres, de quelques natures qu'ils soient en plusieurs groupes distincts les uns des autres que l'on a nommés classes, familles, genres et espèces* »⁹⁹.

Une illustration de ces groupes est représentée par les figures ci-dessous extraites des tableaux méthodiques de trois ouvrages.

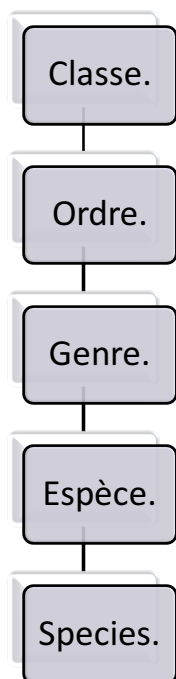


Figure 5 : Classification selon Valmont de Bomare¹⁰⁰.

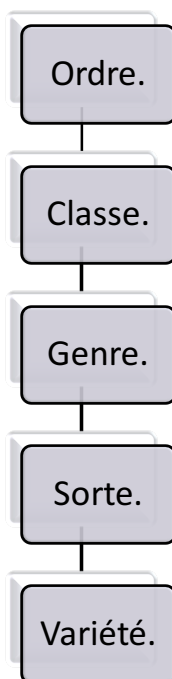


Figure 6 : Classification selon Daubenton¹⁰¹.



Figure 7 : Classification selon Brongniart¹⁰².

Ces exemples montrent à la fois les noms des divisions utilisées par les savants, mais également leur ordre et les variabilités présentes selon les auteurs. En effet, Valmont de Bomare commence son tableau, tout comme Brongniart par les classes, tandis que Daubenton parle d'ordres. De manière similaire, la variété est l'ultime sous-division chez Brongniart et Daubenton. Pourtant, Daubenton n'évoque pas l'espèce minéralogique au contraire des deux autres savants.

Penchons-nous sur l'une de ces catégories, la classe afin de comprendre cette variabilité entre auteurs. Nous utiliserons les exemples de Valmont de Bomare et de Brongniart puisqu'ils positionnent tous deux la classe au même rang, à la différence de Daubenton. Chez Brongniart,

⁹⁹ Jean GIRARDIN et Henri LECOQ, *Eléments de Minéralogie appliquée aux sciences chimiques, ouvrage basé sur la méthode de M. Berzelius*, Tome 1, Imprimerie de Huzard-Courgier, Paris, 1826, p.70.

¹⁰⁰ Jacques C. VALMONT DE BOMARE, *Minéralogie ou nouvelle exposition du règne minéral*, Seconde édition, Tome I, Imprimeur Vincent, Paris, 1774, p.9.

¹⁰¹ Louis J.-M. DAUBENTON, *Tableau méthodique des minéraux suivant leurs différentes natures*, 5ème édition, Paris, an 4 de la République (1795-96), 57 p.

¹⁰² Alexandre BRONGNIART, *Traité élémentaire de Minéralogie avec des applications aux arts*, T1, Imprimerie de Crapelet, Paris, 1807, 73-84.

il existe 5 classes distinctes¹⁰³ tandis que Valmont de Bomare en propose 10 avec une onzième en guise d'appendice¹⁰⁴.

Pour Brongniart,

« Les classes renfermeront les minéraux qui se ressemblent par la manière dont leurs principes constituants sont réunis, ou par une propriété caractéristique commune à tous ces minéraux »¹⁰⁵.

Valmont de Bomare quant à lui ne propose pas de généralisation sur le contenu des classes et définit ces dernières individuellement. La deuxième, celle des Terres est décrite ainsi :

« (des terres) dont les particules tendres ne sont pas liées, & qui peuvent être pénétrées, délayées & divisées par l'eau »¹⁰⁶.

La manière dont Valmont de Bomare et Brongniart définissent les classes diffère par le degré de généralités mobilisés. Cependant, les principes sont les mêmes, à savoir la présence de caractères communs à l'ensemble des corps contenus dans la division. Ces principes sont explicitement mentionnés chez Valmont de Bomare comme la liaison de particules. Ainsi, les divisions construites par les savants le sont selon des caractères communs aux objets et leur regroupement s'effectue en fonction du nombre le plus important de caractères communs détenus. Cette construction soulève plusieurs points. Le premier est relatif au choix des caractères sur lesquels baser ces regroupements. La hiérarchie des divisions des tableaux méthodiques implique une gradation des caractères selon leur importance. Le second, qui fait l'objet du chapitre suivant concerne l'identification de ces différents caractères pour classer ces objets.

Girardin et Lecoq précisent dans leurs *Elemens de Minéralogie* que les bases permettant de construire des classifications minéralogiques sont très discutées. Cette opinion est déjà relayée par Brongniart en 1807¹⁰⁷ dans son *Traité élémentaire de Minéralogie*. D'une part, les principes utilisés pour classer les végétaux et les animaux ne peuvent s'appliquer aux substances minérales, car ces dernières n'ont pas d'organe. D'autre part, les savants ne sont pas d'accord sur les principes régissant les différentes divisions des classifications minéralogiques.

Pour résoudre ces deux problèmes, il s'agit alors de déterminer quels caractères retenir pour construire ces classifications. Cependant, comme le disent Girardin et Lecoq, « (l)es caractères distinctifs des minéraux sont donc singulièrement restreints, puisqu'au premier aspect ils ne

¹⁰³ Alexandre BRONGNIART, *Traité élémentaire de Minéralogie avec des applications aux arts*, T1, Imprimerie de Crapelet, Paris, 1807, 73-84.

¹⁰⁴ Jacques C. VALMONT DE BOMARE, *Minéralogie ou nouvelle exposition du règne minéral*, Seconde édition, Tome 1, Imprimeur Vincent, Paris, 1774, p.7.

¹⁰⁵ Alexandre BRONGNIART, *Traité élémentaire de Minéralogie avec des applications aux arts*, T1, Imprimerie de Crapelet, Paris, 1807, p.62.

¹⁰⁶ Jacques C. VALMONT DE BOMARE, *Minéralogie...*, *op.cit.*, p.7.

¹⁰⁷ Brongniart en 1807 précise que l'un des premiers problèmes pour la classification est que « les naturalistes ne s'accordent pas sur les principes » qui dirigent une classification, d'après Alexandre BRONGNIART, *Traité élémentaire de Minéralogie...*, *op.cit.*, p.42.

reposent que sur la couleur, la pesanteur, la structure, la dureté, les formes extérieures et quelques autres propriétés physiques [...] »¹⁰⁸.

De plus, d'après Brongniart, la construction d'une classification doit être basée sur la hiérarchisation des caractères. Ainsi, toujours d'après lui, pour poser une définition applicable au règne minéral, il est nécessaire de différencier les corps inorganisés d'un corps organisé mais aussi de développer des propriétés caractéristiques du groupe ainsi que des propriétés particulières pour les minéraux.

Les savants sont alors contraints d'établir leurs propres critères de classement, basés sur des caractères. Certains caractères sont dits essentiels et d'autres dits secondaires, dans le but de construire ces groupes. Des différences de considération de ces caractères essentiels et secondaires proviennent toutes les classifications minéralogiques. Cependant, comme nous l'avons indiqué précédemment, la hiérarchisation des caractères n'est pas l'unique variable dans le processus de classification, celui de la définition de l'espèce minéralogique est également primordial pour la construction d'une classification.

Brongniart dans son *Traité élémentaire de Minéralogie* établit tout un raisonnement autour de la construction de l'espèce minéralogique. Il part d'une définition de Dolomieu à savoir que l'espèce « [...] est la réunion de tous les individus dont la composition est la même »¹⁰⁹. Il revient sur la notion d'individu et discute sa construction calquée sur les deux autres règnes, tout en proposant une définition spécifique au règne minéral :

« Un individu est ce qui ne peut être divisé sans être détruit ; les échantillons de minéraux homogènes, et tous les fragmens que nous pouvons voir étant susceptibles d'être divisés en parties semblables entre elles, et au tout dont elles proviennent, sont multipliés, mais ne sont point détruits par cette division »¹¹⁰.

Il fonde alors l'espèce sur la composition chimique¹¹¹ tout en mettant quelques limites quant à une construction uniquement basée sur celle-ci. Il mobilise alors la notion de molécule intégrante pour finalement proposer une définition de l'espèce comme étant « une réunion d'individus ayant la même composition et la même forme primitive »¹¹².

Haüy définit la forme primitive ainsi « (p)armi les différentes formes sous lesquelles une même substance cristallisée peut se présenter, il y en a une que l'on doit regarder comme la forme primitive, dont toutes les autres ne sont que des modifications [...] »¹¹³. Il s'agit donc d'une forme commune que prennent les cristaux d'un même groupe, malgré les formes

¹⁰⁸ Jean GIRARDIN et Henri LECOQ, *Elemens de Minéralogie appliquée aux sciences chimiques, ouvrage basé sur la méthode de M. Berzelius*, Tome 1, Imprimerie de Huzard-Courgier, Paris, 1826, p.73.

¹⁰⁹ Alexandre BRONGNIART, *Traité élémentaire de Minéralogie avec des applications aux arts*, Tome 1, Imprimerie de Crapelet, Paris, 1807, p.46.

¹¹⁰ Alexandre BRONGNIART, *Traité élémentaire de Minéralogie...*, *ibid.*

¹¹¹ « [...] tous les minéraux composés des mêmes principes, dans des proportions déterminées, appartiennent à la même espèce » dans Alexandre BRONGNIART, *Traité élémentaire de Minéralogie...*, *op.cit.*, p.48.

¹¹² Alexandre BRONGNIART, *Traité élémentaire de Minéralogie...*, *op.cit.*, p.49.

¹¹³ René J. HAÜY, *Essai d'une théorie sur la structure des cristaux, appliquée à plusieurs genres de substances cristallisées*, Imprimerie Demonville, Paris, 1784, p. 49.

géométriques de cristallisation secondaire qu'ils peuvent présenter. Par ailleurs, Haüy qui précise que « (l)a chimie a donc été, au moins tacitement, le guide des minéralogistes, pour la détermination des espèces »¹¹⁴. Ce qui pour Brongniart s'avère exact puisqu'il définit l'espèce selon des critères chimiques et cristallographiques.

La démarche de Girardin et Lecoq est différente puisqu'ils rappellent d'abord ce qu'est une espèce en histoire naturelle. C'est « une collection d'individus qui ont entre eux plus de rapports qu'ils n'en ont avec tous les autres »¹¹⁵. Pour autant lorsqu'il est question de l'individu minéralogique, Girardin et Lecoq le définissent comme « [...] un assemblage d'un certain nombre d'éléments en certaines proportions réduits à la molécule intégrante »¹¹⁶.

L'exemple de Brongniart ainsi que celui de Girardin et Lecoq montrent que la construction d'une définition de l'espèce minéralogique est une opération complexe. La chimie ainsi que la notion de « molécule intégrante »¹¹⁷ sont à la base de la construction de Brongniart, tout comme pour celle de Girardin et Lecoq bien qu'autrement formulée. En tenant compte des variétés de construction des définitions ainsi que du contenu des divisions des classifications, différents systèmes de classification coexistent. A ce propos, Girardin et Lecoq en présentent trois principaux utilisés par les savants entre la fin du XVIII^e et la première moitié du XIX^e siècle. La première est basée sur les caractères extérieurs. Les savants Wallérius et Cronstedt s'inscrivent dans ce système. Le second type de classification utilise la composition et les caractères extérieurs des substances minérales. La classification de Werner en est un exemple. La dernière, quant à elle, est construite sur la composition ; Haüy, Berzelius, Brongniart, Beudant se basent sur ce principe. Brongniart en dénombre trois également, qu'il identifie différemment de Girardin et Lecoq. D'après lui, il y a une école empirique, une géométrique et une chimique¹¹⁸. De même, Haüy dans son *Traité de minéralogie* revient sur le fait qu'il existe différentes façons de classer le règne minéral. Il énumère les travaux classificatoires de Linné, Wallérius, Daubenton¹¹⁹, qui constituent leurs classes et ordres selon des critères distincts. Haüy identifie des caractères observables à l'œil nu, d'autres faciles à vérifier et un dernier type lié à des pratiques plus savantes, comme peuvent l'être les classifications de Cronstedt ou Bergman.

¹¹⁴ René J. HAÜY, *Traité de minéralogie*, Tome premier, Imprimerie de Delange, Paris, p.X.

¹¹⁵ Jean GIRARDIN et Henri LECOQ, *Elemens de Minéralogie appliquée aux sciences chimiques, ouvrage basé sur la méthode de M. Berzelius*, Tome 1, Imprimerie de Huzard-Courgier, Paris, 1826, p78.

¹¹⁶ Jean GIRARDIN et Henri LECOQ, *Elemens de Minéralogie ... ibid.*

¹¹⁷ Haüy parle en 1784 de molécules constituantes, expression qu'il remplacera par la suite par molécules intégrantes. Ce sont les particules qui s'agrègent et qui permettent la formation des cristaux en polyèdres. En 1801, Haüy parle de molécules intégrantes et fait le lien entre la forme spécifique de ces dernières et la forme de l'espèce cristalline. D'après René J. HAÜY, *Essai d'une théorie sur la structure des cristaux...*, *op.cit.*, p. 48-49 et René J. HAÜY, *Traité de minéralogie...*, *op.cit.*, p.xiv-xv.

¹¹⁸ Alexandre BRONGNIART, *Introduction à la minéralogie ou exposé des principes de cette science*. Article inséré dans le tome 31 du Dictionnaire des sciences naturelles au mot Minéralogie, F.G. Levrault, libraire-éditeur, Paris, 1825, p. 88.

¹¹⁹ René J. HAÜY, *Traité de minéralogie...*, *op.cit.*, p. vj-vij

Conclusion

Les définitions des objets appartenant au règne minéral ne sont pas construites sur les mêmes bases et ces définitions varient entre la fin du XVIII^e siècle et le milieu du XIX^e siècle. En effet, l'une des premières formes de définition consiste à lister les corps appartenant à l'objet, c'est le cas pour la définition des fossiles de la fin du XVIII^e siècle ainsi que pour celle des minéraux. La seconde forme mobilise les caractères que présentent les objets comme pour les pierres, les cristaux ou bien la définition du début du XIX^e siècle des fossiles.

La plupart des définitions relie leurs objets à leur présence dans la terre ou les couches de la Terre, indiquant alors explicitement que le règne concerné est le règne minéral. Par ailleurs, un certain degré de généralisation apparaît au début du XIX^e siècle, notamment dans la construction de la définition des minéraux et un peu plus tardivement pour celle des roches.

Les minéraux sont alors définis ainsi en 1826 par Girardin et Lecoq :

*« Les minéraux n'offre qu'une structure, [...], les arêtes sont vives en général, et les angles des surfaces placées entre ces arêtes ont une mesure constante qui leur permet de donner naissance à des solides polyédriques réguliers »*¹²⁰.

Les roches quant à elles, en 1826 sont définies comme le mélange mécanique des espèces minérales de toutes les masses de la terre¹²¹.

L'évolution des définitions constatées sur la période peut s'expliquer par le lien étroit qui existe entre les objets et leurs classifications. Les savants en construisant leurs classifications constatent par exemple que les fossiles et les minéraux sont des objets distincts, qui ne peuvent se présenter dans un même tableau. Cette différenciation des objets les amène alors à construire des définitions plus restreintes mais dont le degré de généralité permet d'inclure tous les objets concernés.

Etudier le règne minéral ne consiste pas uniquement à définir les objets qu'il contient, il s'agit aussi d'ordonner et de classer ces objets. Les classifications au début du XIX^e siècle occupent une place prépondérante dans les traités. Elles sont représentées sous la forme de tableaux et sont longuement commentées par les différents auteurs. Le principe de classification choisi par les savants est le même. Ils regroupent les objets en fonction du plus grand nombre de ressemblances qu'ont les objets entre eux. Ainsi, les objets n'ayant que peu de points communs, seront dans des groupes différents et éloignés. Pour autant, la nomenclature et la hiérarchisation des catégories sont variables selon les auteurs qui ne choisissent pas les mêmes critères de construction des groupes. L'une des complexités auxquelles font face les savants dans leur travail classificatoire est de parvenir à établir une définition de l'espèce minéralogique. La définition de l'espèce est la base de construction des classifications et les

¹²⁰ Jean GIRARDIN et Henri LECOQ, *Elemens de Minéralogie appliquée aux sciences chimiques, ouvrage basé sur la méthode de M. Berzelius*, Tome 1, Imprimerie de Huzard-Courcier, Paris, 1826, p.1-2

¹²¹ Jean GIRARDIN et Henri LECOQ, *Elemens de Minéralogie...*, *op.cit.*, p.227-228.

critères habituellement utilisés pour les deux autres règnes ne peuvent s'appliquer au règne minéral.

Le processus de définition et de construction des classifications met en avant la nécessité d'utiliser des caractères communs aux objets. Ces mêmes caractères doivent également être discriminants pour distinguer les objets les uns des autres. Des questions se posent alors à propos de la nature de ces caractères, des méthodes utilisées pour les révéler ainsi que l'origine de ces méthodes.

Chapitre 2 : Différencier des méthodes pour identifier les minéraux

Notre étude des traités de minéralogie va dans le sens de Marie-Noëlle Bourget et Pierre-Yves Lacour¹²² pour qui l'histoire naturelle n'est pas qu'observation, c'est également une science de collection et de classification. Ainsi, les savants construisent des classifications afin d'ordonner les différents objets du règne minéral. La construction de ces classifications nécessite de rassembler ou encore de distinguer les objets entre eux. Ceci est permis par l'usage de caractères.

D'après Haüy, le caractère est tout ce qui peut être le sujet d'une observation propre à faire reconnaître un minéral¹²³. Pour Girardin et Lecoq, les caractères sont « [...] *des propriétés très variées qui tiennent tantôt à l'arrangement de leurs molécules, tantôt à leur nature intime* »¹²⁴.

Les caractères apparaissent seulement sous une forme typographique différente dans les tableaux. Or, dès le début du XIX^e siècle, ces caractères sont détaillés dans les introductions de traités. Ils sont classés en catégories et présentés sous forme de listes, comme dans l'ouvrage de Haüy¹²⁵ ou bien celui de Brongniart¹²⁶. Ces caractères ont alors un double usage, celui d'identifier les objets mais également d'être le support de construction des classifications. Cependant, quels sont ces caractères et d'où proviennent-ils ?

Leur regroupement en catégories est variable d'un auteur à l'autre. Deux catégories prédominent, celle des caractères physiques et celles des caractères chimiques. Une dernière catégorie tend à se distinguer au début du XIX^e siècle, celle des caractères cristallographiques. Auparavant inclus dans les caractères physiques, ces caractères sont par la suite détaillés de manière indépendante, comme l'atteste l'ouvrage de Girardin et Lecoq¹²⁷.

¹²² Marie-Noëlle BOURGET et Pierre-Yves LACOUR, « Les mondes naturalistes : Europe (1530-1802) », dans Pestre Dominique (dir), *Histoire des sciences et des savoirs, T.1, De la Renaissance aux lumières*, Editions du seuil, Paris, 2015, p.255-281.

¹²³ René J. HAÛY, *Traité de minéralogie*, Tome premier, Imprimerie de Delange, Paris, 1801, p.xl

¹²⁴ Jean GIRARDIN et Henri LECOQ, *Elemens de Minéralogie appliquée aux sciences chimiques, ouvrage basé sur la méthode de M. Berzelius*, Tome 1, Imprimerie de Huzard-Courgier, Paris, 1826, p.3.

¹²⁵ René J. HAÛY, *Traité de minéralogie...*, *op.cit.*, 494 pages.

¹²⁶ Alexandre BRONGNIART, *Traité élémentaire de Minéralogie avec des applications aux arts*, Tome 1 et Tome 2, Imprimerie de Crapelet, Paris, 1807, 564 pages et 443 pages.

¹²⁷ Jean GIRARDIN et Henri LECOQ, *Elemens de Minéralogie...*, *op.cit.*, p.103

D'après Orcel¹²⁸ et Caroline Kaspar¹²⁹ les caractères susmentionnés proviennent d'autres domaines scientifiques, tels que la physique ou la chimie. Par exemple, pour Orcel :

« Si l'on veut caractériser d'un trait la physionomie de la Minéralogie par rapport aux autres Sciences de la Terre et à l'ensemble des sciences de la Nature, on peut dire qu'elle forme un domaine de convergence des sciences physiques, chimiques, physico-chimiques et biologiques »¹³⁰.

Par ailleurs, selon David Oldroyd¹³¹, il est possible que les évolutions de la chimie entre la fin du XVIII^e et le début du XIX^e siècle aient permis de mieux appréhender les minéraux et par là même aient contribué au développement de la minéralogie.

A ces réflexions fait écho la remarque de Baudrimont en 1839 :

« C'est à l'aide de la géométrie, de la physique et de la chimie que l'on étudie les minéraux. »¹³².

Ces multiples remarques engendrent des interrogations sur ces différents caractères. En effet, les caractères sont représentés dans les tableaux méthodiques. Leur rôle semble primordial dans la constitution d'une méthode d'identification et de discrimination des minéraux et des roches. Rappelons que nous avons défini une méthode comme un ensemble de manipulations nécessitant des instruments ou des outils dans le but d'obtenir des résultats précis et identifiables. Mais bien que les caractères soient inclus dans une méthode, nous n'avons pas davantage d'informations sur la manière dont elle est construite, ni même de la relation qu'ont les caractères avec cette méthode. En effet, comment les savants constatent-ils la présence ou l'absence d'un caractère ? Comment sont-ils identifiés pour un échantillon ? Ces questions non résolues par l'analyse des tableaux méthodiques, nous amènent à nous interroger sur les méthodes de reconnaissance des caractères par les savants. L'analyse de ces méthodes de détermination permet en retour de se questionner sur l'origine « extérieure » des pratiques qu'elles mobilisent, comme le mentionne Oldroyd, Orcel et Kaspar.

Ainsi, nous avons structuré notre chapitre autour des trois principaux groupes de caractères, à savoir les caractères physiques, chimiques et cristallographiques, dans le but de présenter la diversité des caractères inclus dans chacun de ces trois groupes et de se questionner sur les pratiques utilisées par les savants pour identifier ces caractères ainsi que d'élucider l'origine de ces pratiques.

¹²⁸ Jean ORCEL, « Considérations générales sur les rapports entre la minéralogie et les autres sciences », *Bulletin de la société française de minéralogie et cristallographie*, Tome 77, 1954, p. 45-69.

¹²⁹ Caroline KASPAR, *Optique et Minéralogie au XIX^e siècle. L'approche interdisciplinaire d'Alfred Des Cloizeaux*, Thèse de doctorat, Université de Lyon-1, p.10.

¹³⁰ Jean ORCEL, « Considérations générales sur les rapports... », *op.cit.*, p. 46.

¹³¹ David OLDROYD, « Mineralogy and 'the chemical revolution' », *Centaurus, International magazine of the history of mathematics, science and technology*, n°19-20, 1975, p.54.

¹³² Alexandre BAUDRIMONT, « Partie Anorganique comprenant la Minéralogie et la géologie » dans G.J. MARTIN SAINT-ANGE et F.E. GUERIN, *Traité élémentaire d'Histoire Naturelle*, V^e Legras Imbert éditeurs, Paris, 1839, p.4.

I. La méthode physique

Les caractères sont classés principalement en deux catégories dont l'une d'entre elle est dite physique par les savants. Les caractères inclus dans cette catégorie sont très divers et nous nous interrogeons sur l'origine des pratiques utilisées permettant leur identification au regard du nom même de la catégorie.

Une diversité de caractères pour mieux identifier les minéraux

La mention des caractères physiques dans les traités est souvent assortie d'une définition ou d'une explication de ce qu'ils sont. Ainsi, Haüy (1801) définit les caractères physiques comme « [...] ceux dont l'observation n'apporte aucun changement notable à l'état de la substance qui les présente, ou à l'égard desquels ce changement n'est qu'une condition nécessaire pour observer un effet qui d'ailleurs appartient à la physique. ¹³³ »

Brongniart près de six ans plus tard dans son *Traité élémentaire de minéralogie* les définit comme « [...] ceux qui, d'après la définition que nous avons donnée de la physique, se manifestent sans que la nature des minéraux soit altérée ¹³⁴ ».

Plus tardivement, pour Girardin et Lecoq, « (l)es caractères physiques sont perçus par nos sens ou appréciés à l'aide d'instrumens incapables d'altérer le minéral soumis à ce genre d'épreuves ; ils ont aussi été désignés sous le nom de caractères extérieurs. ¹³⁵ »

Les caractères physiques se tirent donc de l'observation des objets à l'œil nu ou à l'aide d'instruments, sans avoir à altérer l'échantillon d'une quelconque façon. Les définitions sont généralistes et seul Brongniart fait directement référence à la physique en tant que domaine pour expliquer l'origine. L'imprécision des définitions est compensée par la présentation, sous forme de listes, de l'ensemble des caractères. La comparaison des différents traités montre que le nombre des caractères inclus dans cette catégorie est variable au cours du temps mais elle est aussi fonction des auteurs. Les deux représentations ci-dessous illustrent la diversité des caractères inclus dans cette catégorie. Nous avons choisi, par souci de visibilité, de ne pas représenter dans l'exemple de Girardin et Lecoq les sous-catégories des caractères physiques ; elles le sont dans le cas de Brongniart.

Nous constatons d'une part que les caractères physiques sont nombreux, 11 pour Brongniart et 16 pour Girardin et Lecoq. D'autre part, certains caractères se déclinent comme par exemple la phosphorescence ou bien la cassure. Ainsi, il existe trois types différents de phosphorescence et six de cassure. Cette déclinaison des caractères augmente leur spécificité et permet une identification plus précise des caractères dans un échantillon donné. Cette augmentation

¹³³ René J. HAÛY, *Traité de minéralogie*, Tome premier, Imprimerie de Delange, Paris, p.202-203.

¹³⁴ Alexandre BRONGNIART, *Traité élémentaire de Minéralogie avec des applications aux arts*, Tome 1 et Tome 2, Imprimerie de Crapelet, Paris, 1807, p.25

¹³⁵ Jean GIRARDIN et Henri LECOQ, *Elemens de Minéralogie appliquée aux sciences chimiques, ouvrage basé sur la méthode de M. Berzelius*, Tome 1, Imprimerie de Huzard-Courgier, Paris, 1826, p.3

significative du nombre de caractères par la présence de sous-catégories augmente la possibilité des minéralogistes de décrire au plus près les espèces. Les caractères sont alors discriminants pour l'identification et la classification des minéraux et des roches.

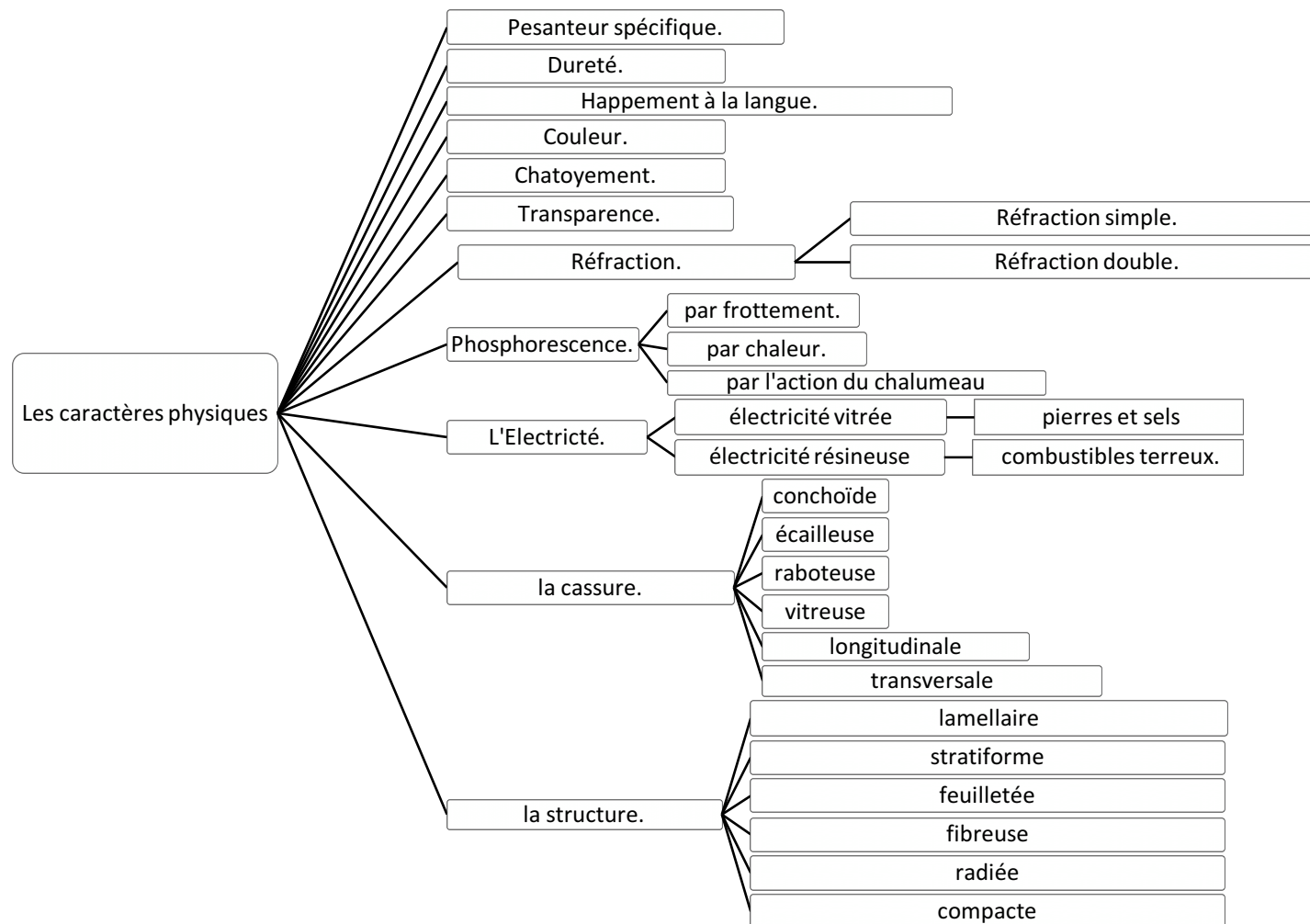


Figure 8 : Caractères physiques, d’après Brongniart 1807¹³⁶.

¹³⁶ Alexandre BRONGNIART, *Traité élémentaire de Minéralogie avec des applications aux arts*, Tome 1, Imprimerie de Crapelet, Paris, 1807, p.25-41

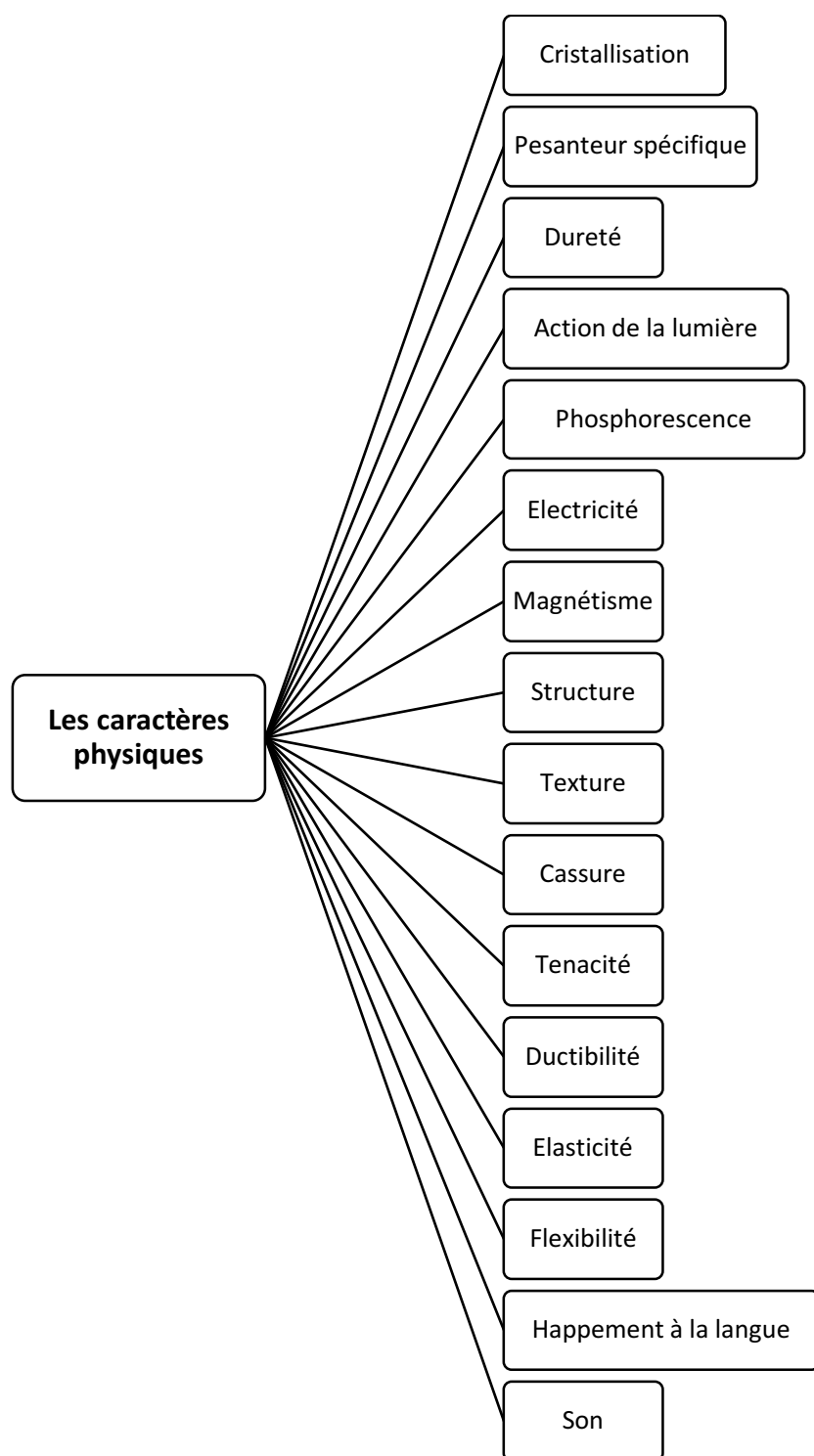


Figure 9 : Caractères physiques d'après Girardin et Lecoq¹³⁷

¹³⁷ Jean GIRARDIN et Henri LECOQ, *Elemens de Minéralogie appliquée aux sciences chimiques, ouvrage basé sur la méthode de M. Berzelius*, Tome 1, Imprimerie de Huzard-Courcier, Paris, 1826, p. 23-38.

Identifier les caractères par des pratiques issues de la physique

L'étude de deux exemples d'identification de caractères physiques permet d'illustrer le processus mis en place pour identifier des caractères sur des échantillons. De manière générale, la méthode d'identification des caractères se base sur un ensemble de manipulations expérimentales ou d'observations. C'est ce que nous entendons derrière le mot de pratique. Dans le cas des caractères physiques, nous supposons, comme leur nom l'indique, que les pratiques permettant l'identification proviennent de la physique.

Le premier exemple de caractère est l'électricité. Elle se décline selon Brongniart en deux types, l'électricité vitrée propre aux pierres, sels et surfaces polies et l'électricité résineuse pour les combustibles terreux¹³⁸. La présence de ce caractère se détecte par des manipulations, qui consistent soit à frotter l'échantillon, soit à le chauffer. L'encart ci-après détaille les manipulations à réaliser pour identifier et préciser ce caractère.

Encart 1 : Comment identifier le caractère électricité dans un échantillon¹³⁹ ?

L'électromètre est un instrument constitué d'une aiguille de cuivre dont les extrémités sont deux boules. Cette aiguille est posée sur un pivot qui la rend mobile.

Déterminer la présence d'électricité.

On procède à l'électrification du spécimen soit en le frottant, soit en le chauffant. Puis on l'approche de l'électromètre. Si l'aiguille bouge, le spécimen est électrisé.



Figure 10 : Electromètre¹⁴⁰.

¹³⁸ D'après Alexandre BRONGNIART, *Traité élémentaire de Minéralogie avec des applications aux arts*, Tome 1, Imprimerie de Crapelet, Paris, 1807, p. 33

¹³⁹ Alexandre BRONGNIART, *Traité élémentaire de Minéralogie...*, *op.cit.*, p.33-35.

¹⁴⁰ Alexandre BRONGNIART, *Traité élémentaire de Minéralogie...*, *op.cit.*, planche I, figure 14.

Déterminer le type d'électricité.

Une seconde manipulation permet ensuite d'identifier le type d'électricité.

L'électromètre est déposé sur un plateau de résine. On pose sur la base métallique de l'électromètre un doigt. On approche soit un bâton de verre ou soit un bâton de résine préalablement électrisé par frottement, ce qui charge l'instrument en électricité (soit résineuse, soit vitrée). Le temps de charge est soumis à l'estimation du praticien qui retire ensuite son doigt, puis le bâton.

On approche ensuite de l'électromètre le spécimen à tester. Si l'aiguille et le spécimen se repoussent, on estime que les deux sont chargés par la même espèce d'électricité.

En effet, l'identification du caractère électricité se décompose en deux étapes. Tout d'abord, le savant doit constater la présence ou l'absence d'électricité. Puis, il doit identifier le type d'électricité produit par l'échantillon. Le récit expérimental tiré de l'ouvrage de Brongniart est assez subjectif. En effet, les qualificatifs de « *convenables*¹⁴¹ » associés au fait que le savant « *juge* » de l'état de chargement de l'instrument sous entendent une appréciation personnelle du savant qui manipule. Ces indications traduisent des savoir-faire implicites liés à la pratique régulière de l'instrument ainsi qu'à l'expérience personnelle du savant qui effectue ces manipulations.

Le second exemple de caractère est celui de la pesanteur spécifique. La pesanteur spécifique d'après Brongniart est la pesanteur d'un corps comparée à celle d'un autre corps de volume égal¹⁴². Utiliser ce caractère vient répondre à la difficulté de réduire tous les corps à un même volume pour obtenir des données facilement comparables. Il s'agit de déterminer le poids d'un échantillon à l'air libre, puis son poids dans le liquide en utilisant un instrument spécifique, la balance de Nicholson.

¹⁴¹ Alexandre BRONGNIART, *Traité élémentaire de Minéralogie avec des applications aux arts*, Tome 1, Imprimerie de Crapelet, Paris, 1807, p.34

¹⁴² Alexandre BRONGNIART, *Traité élémentaire de Minéralogie...*, *op.cit.*, p. 26.



Légende :

a : Bassin supérieur recevant les poids et les corps destinés à être pesés dans l'air

b : Plateau inférieur destiné à recevoir les corps qui doivent être pesés dans l'eau.

e-d : Corps de la balance

e-f : Ligne d'affleurement au niveau de l'eau

i : Lest.

Mode d'emploi :

On plonge l'instrument dans l'eau de telle sorte qu'une portion du corps de la balance surnage. On charge le bassin supérieur de poids jusqu'à ce que l'eau atteigne le petit trait noir (e-f sur le document). On note le poids (P1). On charge ensuite le bassin supérieur de l'échantillon et reproduit la même opération jusqu'à ce que l'eau atteigne la limite. On note à nouveau le poids (P2).

On vide l'ensemble et on déplace ensuite l'échantillon sur le plateau inférieur. On remet la balance dans l'eau et ajoute des poids jusqu'à atteindre la limite. On note le poids obtenu (P3).

On utilise ensuite l'ensemble de ces données pour calculer le poids spécifique de son échantillon.

Figure 11 : Balance de Nicholson pour mesurer la pesanteur spécifique d'un échantillon¹⁴³.

Le principe de la balance et son usage sont basés sur le principe d'Archimède, à savoir que le poids mesuré dans le liquide est équivalent au poids du volume de liquide déplacé par l'échantillon. Par conséquent, ce volume d'eau est identique au volume de l'échantillon. Ainsi,

¹⁴³ Alexandre BRONGNIART, *Traité élémentaire de Minéralogie avec des applications aux arts*, Tome 1, Imprimerie de Crapelet, Paris, 1807, planche I, figure 13.

le volume mesuré rapporté au poids de l'échantillon permet d'en déduire sa pesanteur spécifique. Brongniart joint à titre explicatif un exemple chiffré qui vient illustrer à la fois les manipulations nécessaires de la balance, les mesures ainsi que les calculs.

Encart 2 : Déterminer la pesanteur spécifique d'un échantillon, d'après Brongniart¹⁴⁴.

Première étape : calcul du poids P' de la pierre.

Le poids de la pierre à l'air libre est donné par la relation P1-P2.

Soit la première pesée, P1 = 400dg et la pesée de la pierre P2 = 150dg.

$$P' = P1 - P2 = 250\text{dg.}$$

Le poids de la pierre est donc égal à 250dg.

Seconde étape : Identification du volume de la pierre.

On mesure le poids de l'échantillon immergé P3.

Ici, P3 = 92dg.

La densité de l'eau étant de 1, le poids de l'eau déplacé (p) est de 92dg.

Troisième étape : calcul de la densité spécifique.

On multiplie la pesanteur spécifique du liquide (a) par le poids du corps (P') et divisé l'ensemble par le poids de l'eau déplacée (p).

La pesanteur spécifique de l'eau est de 1. Ainsi, :

$$\text{Pesanteur spécifique d'un échantillon dans l'eau} = (a \times P') / p$$

$$\text{Soit : } (1 \times 250) / 92 = 2,7173$$

Girardin et Lecoq reproduisent au mot près les explications de Brongniart sur la mesure de la pesanteur spécifique. Par ailleurs, Odolant-Desnos dans son *Précis de Minéralogie moderne*, généralise son propos en faisant figurer une équation¹⁴⁵. L'usage de la balance de Nicholson est assez délicat et les auteurs renvoient les lecteurs à des ouvrages de physique pour en maîtriser plus habilement ou plus particulièrement les procédés¹⁴⁶.

¹⁴⁴ Alexandre BRONGNIART, *Traité élémentaire de Minéralogie avec des applications aux arts*, Tome 1, Imprimerie de Crapelet, Paris, 1807, p. 26.

¹⁴⁵ Joseph J. ODOLANT DESNOS, « Précis de Minéralogie moderne », *Encyclopédie portative ou Résumé universel des sciences, des lettres et des arts*, Première partie, Tome 1, Imprimerie de Decourchant, Paris, 1828, p.65.

¹⁴⁶ Alexandre BRONGNIART, *Introduction à la minéralogie ou exposé des principes de cette science*, Article inséré dans le tome 31 du Dictionnaire des sciences naturelles au mot Minéralogie, F.G. Levrault, libraire-éditeur, Paris, 1825, p.41.

Les savants dans le but de détecter un ou plusieurs caractères physiques sur un échantillon mobilisent des instruments. Dans les deux exemples ci-dessus, un électromètre ainsi que la balance de Nicholson sont utilisés. L'identification d'autres caractères implique aussi l'utilisation de corps chauffés au rouge pour la phosphorescence ou d'échantillons d'acier pour identifier la dureté. Les sens du savant sont également sollicités pour identifier la couleur, la transparence ou bien le type de cassure.

La méthode visant à ces identifications consiste en des descriptions ou des tests, de nature expérimentale avec des pratiques spécifiques à chaque caractère. Pour autant, les pratiques mobilisées proviennent à l'origine d'autres domaines que celui de la minéralogie. A ce propos, Odolant-Desnos se réfère dans son ouvrage à la section Physique de l'*Encyclopédie portative* pour éviter d'aborder avec trop de détails le caractère d'électricité. Il évoque également les physiciens tels que Davy ou Ampère¹⁴⁷ pour inscrire ce caractère dans des travaux de physique.

Les différentes pratiques d'identification des caractères présentées auparavant montrent que les manipulations visant à identifier et préciser la nature de ces caractères proviennent bien de la physique. Les savants utilisent ces pratiques pour étudier leurs objets, ici les minéraux et les roches mais aussi pour les classer. Ainsi, les savoir-faire mobilisés par les minéralogistes ont une origine distincte de celle du domaine dans lesquels ils sont exercés. Ils proviennent d'instruments utilisés en physique et de pratiques propres à ce domaine. Les minéralogistes s'approprient ces pratiques pour répondre à leurs besoins et ces savoir-faire deviennent essentiels à l'établissement de méthodes visant l'identification et la classification des espèces minérales. L'exemple de l'apparition de la pyro-électricité montre à nouveau combien les minéralogistes sont à la recherche de caractères les plus discriminants possibles. En effet, Girardin et Lecoq parlent de la pyro-électricité¹⁴⁸ en 1826 et désignent dans une liste l'ensemble des minéraux naturels (24) et artificiels (14) affectés par cette propriété. Les auteurs font ici référence aux travaux de 1825 de David Brewster¹⁴⁹. Les récentes découvertes de Brewster sur ce caractère, utilisées en minéralogie, sont alors intégrées dans les manuels assez rapidement. Cette rapidité s'explique par le besoin d'avoir une variété de caractères conséquente pour distinguer l'ensemble des espèces.

II. La méthode chimique

La seconde catégorie présentée par les auteurs de traités de minéralogie de la première moitié du XIX^e siècle est celle des caractères chimiques. D'après eux, la méthode chimique est à distinguer de l'analyse chimique. Cette dernière a pour résultat la connaissance des éléments constitutifs de l'objet et parfois de leurs proportions. Cette distinction pose alors la limite de ce

¹⁴⁷ Joseph J. ODOLANT DESNOS, « Précis de Minéralogie moderne », *Encyclopédie portative ou Résumé universel des sciences, des lettres et des arts*, Première partie, Tome 1, Paris, 1828, p. 62.

¹⁴⁸ Il s'agit de l'électrification d'un corps après sa chauffe.

¹⁴⁹ David BREWSTER, « Observations sur les minéraux pyro-électriques », *Annales de chimie et de physique*, Tome 28, 1825, p. 161-164.

que ne sont pas les caractères chimiques, sans pour autant éclairer le contenu de ce deuxième groupe de caractères. Nous nous questionnons alors sur le contenu de cette catégorie à savoir la nature des caractères mis à jour par les savants ainsi que des pratiques mobilisées pour les identifier.

Distinguer l'analyse chimique de la méthode chimique en minéralogie

Haüy en 1801 définit les caractères chimiques comme « [...] ceux dont l'épreuve occasionne la décomposition d'un minéral ou une altération sensible dans sa nature, ou une rupture de l'agrégation entre ses molécules »¹⁵⁰. Brongniart, quant à lui, ne propose pas seulement une explication, il distingue la détermination des caractères chimiques de l'analyse chimique. De plus, pour l'auteur, les caractères chimiques sont plus tranchés, moins vagues que les caractères physiques et leur description est plus minutieuse.

Girardin et Lecoq mettent également l'accent sur la différence qui existe entre caractère et analyse :

« Les caractères chimiques sont des signes faciles à produire et à observer, qui ne font qu'indiquer la nature des composans sans en faire connaître le genre de combinaison ; c'est une ébauche d'analyse qui peut se faire sur des masses aussi hétérogènes et mélangées que possible, tandis que pour arriver à la connaissance exacte de la composition d'une espèce, il faut que celle-ci soit dans le plus grand état de pureté possible [...] »¹⁵¹.

La détermination des caractères chimiques est distincte de l'analyse par le degré de précision attendu des résultats des expériences. En effet, les analyses chimiques requièrent des échantillons purs et le but des manipulations est d'en connaître la composition exacte. Les caractères chimiques quant à eux peuvent être identifiés sur tout type d'échantillon, sans porter attention à la pureté de ce dernier. Ils indiquent la nature des composants, orientant ainsi le savant dans l'identification d'un échantillon. Ils viennent compléter les caractères physiques pour construire une carte des caractères de l'échantillon.

Les définitions relatives aux caractères chimiques sont également assorties d'indications sur les pratiques mobilisées pour leur identification. Brongniart par exemple assure que ces caractères permettent de « [...] reconnoître la nature d'un minéral au moyen d'opérations brèves, simples et faciles, mais qui puissent cependant donner des notions précises et certaines de cette nature »¹⁵². Girardin et Lecoq apportent quant à eux des précisions supplémentaires. En effet, d'après eux, « (l)es caractères chimiques ne peuvent se manifester qu'en entamant,

¹⁵⁰ René J. HAÛY, *Traité de minéralogie*, Tome premier, Imprimerie de Delange, Paris, 1801, p.204

¹⁵¹ Jean GIRARDIN et Henri LECOQ, *Elemens de Minéralogie appliquée aux sciences chimiques, ouvrage basé sur la méthode de M. Berzelius*, Tome 1, Imprimerie de Huzard-Courgier, Paris, 1826, p. 45.

¹⁵² Alexandre BRONGNIART, *Introduction à la minéralogie ou exposé des principes de cette science*. Article inséré dans le tome 31 du Dictionnaire des sciences naturelles au mot Minéralogie, F.G. Levrault, libraire-éditeur, Paris, 1825, p.10.

détruisant plus ou moins le minéral. Telle est l'action du chalumeau, l'action des acides et des différens réactifs »¹⁵³.

Ainsi, les caractères chimiques sont identifiés par les savants à l'aide de réactifs et d'instruments comme le chalumeau. Leur mise à jour entame plus ou moins l'intégrité de l'échantillon et les manipulations effectuées semblent être proches de ce qui est attendu d'une analyse chimique. Il s'agit à présent d'identifier en quoi consistent ces expériences d'identification des caractères chimiques.

Dévoiler les caractères chimiques

Les caractères chimiques à l'instar des caractères physiques sont variés et permettent une identification des échantillons par des expériences rapides. Ils sont mobilisés de la même manière par les savants, à savoir qu'ils sont listés, présentés dans les tableaux méthodiques et explicités dans les traités. De prime abord, leur nombre semble plus faible au regard des longues listes appartenant aux caractères physiques, comme en témoigne l'exemple ci-dessous.

¹⁵³ Jean GIRARDIN et Henri LECOQ, *Elemens de Minéralogie appliquée aux sciences chimiques, ouvrage basé sur la méthode de M. Berzelius*, Tome 1, Imprimerie de Huzard-Courgier, Paris, 1826, p. 3.

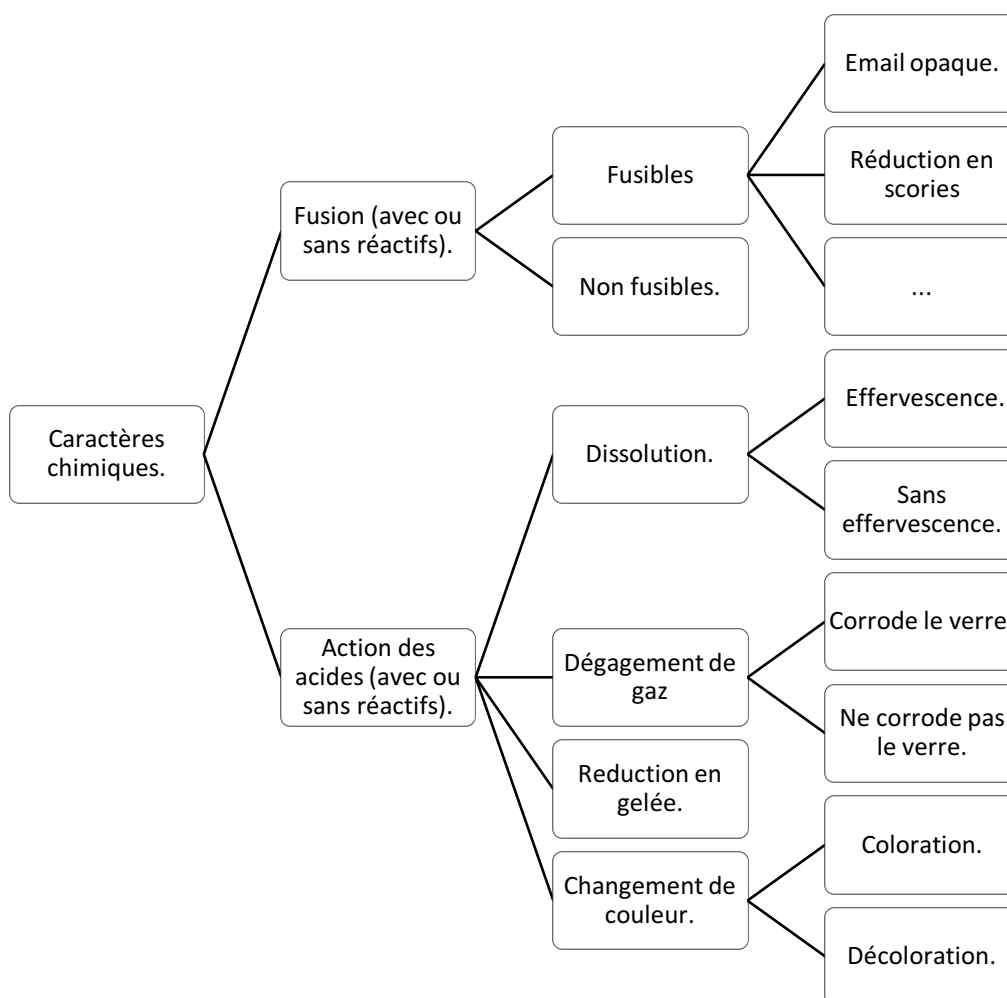


Figure 12 : Liste des caractères chimiques d'après Brongniart 1807.

Par ailleurs, les caractères chimiques ne sont pas nommés et regroupés de la même façon par les savants (voir figure ci-dessous). A titre d'exemple, les caractères chimiques qu'expose Brongniart en 1807 sont distincts de ceux présentés en 1825. Ces derniers sont déclinés en trois catégories : l'action sur les sens avec notamment la saveur et l'odeur, l'action de la chaleur avec l'usage du chalumeau et l'action des réactifs. Ces trois catégories sont d'ailleurs reprises par Girardin et Lecoq. Les auteurs n'en proposent que deux, dont l'une se divise en deux sous-catégories, dont la terminologie est différente par rapport à celle de Brongniart. Il s'avère que le contenu est identique et comprend des manipulations à propos de l'usage du chalumeau (voie sèche) et des réactifs (voie humide). Nous reviendrons dans la partie suivante sur cet emprunt de vocabulaire à la docimasia et sa signification en terme méthodologique dans la construction du groupe des caractères chimiques.

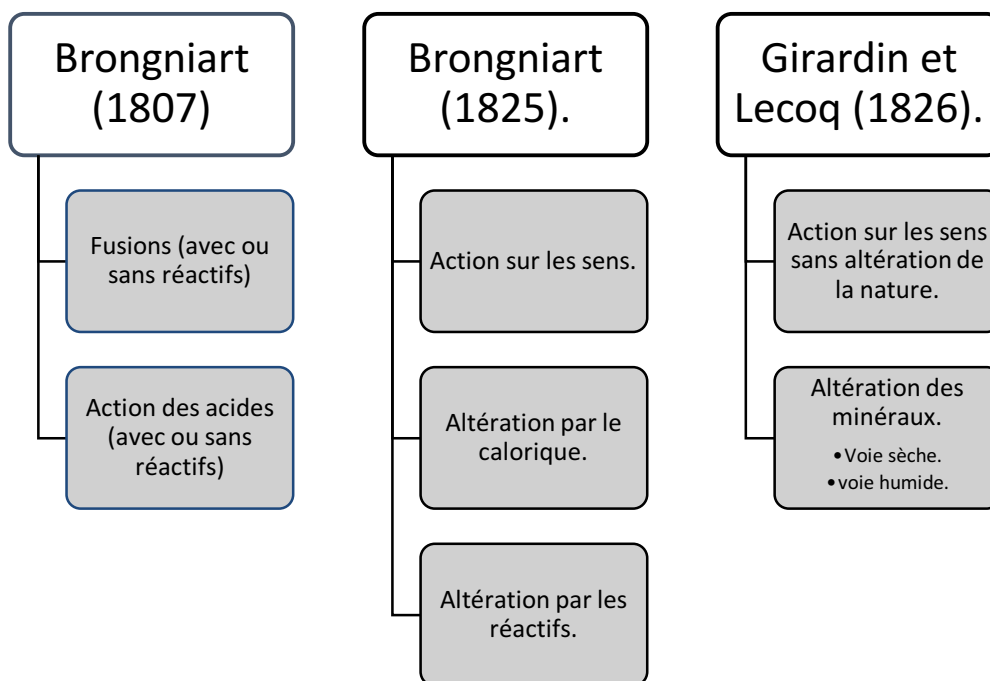


Figure 13 : Variation des catégories des caractères chimiques.

Les caractères chimiques apparaissent également dans les tableaux méthodiques comme par exemple, celui de Daubenton récapitulant les critères d'effervescence aux acides ou de solubilité dans l'eau ou même la combustibilité¹⁵⁴. L'extrait ci-dessous des *Elemens de Minéralogie docimastique* de Sage (1772) illustre également cette présence. En effet, l'auteur décrit l'aspect du soufre fondu, les couleurs qu'il prend lorsqu'il est brûlé ou bien encore sa solubilité.

Encart 3 : Exemple de la présence de caractères chimiques¹⁵⁵.

Soufre

« Le soufre est un sel neutre, composé d'acide vitriolique et de phlogistique ; il se fond aisément au feu, et s'y sublime.

Le soufre fondu paraît rouge ; en refroidissant, il cristallise, et conserve une couleur grise, il est très inflammable ; en brûlant il produit une flamme bleue, accompagnée d'une odeur très pénétrante, qu'on nomme acide sulfureux volatil.

Le soufre exposé à l'air ne s'y altère point, il n'est pas soluble dans l'eau ; les volcans en produisent une très grande quantité.

¹⁵⁴ Louis J.-M. DAUBENTON, *Tableau méthodique des minéraux suivant leurs différentes natures*, 5eme édition, Paris, an 4 de la République (1795-96), 57 p.

¹⁵⁵ Balthazar Georges SAGE, *Elemens de Minéralogie docimastique*, P. de Lormel, Paris, 1772, p. 8 et 9

La cristallisation et la couleur du soufre varient, lorsqu'il est pur, il a une couleur d'un jaune pâle, ou de citron.

On trouve quelque fois du soufre natif très transparent, mais le plus souvent il est opaque.

Il y a une montagne à six lieues de Cadix, où l'on trouve du soufre transparent cristallisé régulièrement dans des géodes calcaires cristallisées. »

Pour autant, la mention des caractères chimiques dans les tableaux méthodiques ou leur classement dans différents groupes n'indique pas la manière dont ces caractères sont mis à jour. D'après Brongniart, les caractères chimiques s'obtiennent par des opérations assez courtes et peu difficiles. Les caractères révélés sont dits bien tranchés mais ils sont aussi très variés. Au sein des traités, le contenu explicatif demeure un peu plus vague que pour les premiers caractères. Les essais dits en voie sèche ou de fusion mobilisent comme nous l'avons déjà indiqué le chalumeau, tandis que les essais en voie humide nécessitent des réactifs sous forme liquide. Les auteurs s'attachent du moins à décrire de manière très précise le chalumeau et son usage, instrument central pour identifier certains caractères. Bien que ces caractères apparaissent moins abondants, les manipulations à effectuer sont assez nombreuses. Le choix des réactifs est large comme en témoigne l'extrait ci-dessous.

TABLEAU ALPHABÉTIQUE		RÉACTIFS.	DEMONTRANT :
<i>Des RÉACTIFS usuels et des CORPS qu'ils démontrent en MINÉRALOGIE.</i>		Baryte en solution. Borax. Carbonate d'ammoniaque. Carbonate de soude.	Acide carbonique. Cobalt et Cobaltides. Sépare l'Alumine de la Glucine. Chrome, Lithine, Manganèse; sert à rendre soluble divers corps en le faisant simplement chauffer, ou même fondre avec eux : Phosphates se fondant avec lui. Soude. Cadmium, Acide arsénieux, Acide arsénique, Acide borique, Acide sulfurique, Arséniates, Arsenic, Chlore, Chlorures, Hydrochlorates, Nitrates, Osmium.
RÉACTIFS.	DÉMONTRANT :	Chaleur.	Arséniates et Sulfates. Hydrogène et hydrogénides. Plomb et Plumbides. Hydrogénides. Hydrogène pur. Mercure. Bismuth. Oxalates, Acide phosphorique. Or. Cuivre et Cuprides, Rhodium. Potasse, Soude. Etain. Cérium, Fer et Sidérides, Manganèse et Manganides, Nickel, Palladium et Palladiides, Plomb et Plumbides.
Acétate de cuivre aidé par la chaleur. Acides faibles.	Or. Sulfates fondus avec le carbonate de soude et le charbon. Platine. Argent et argyrides, Carbonates, Etain et Stannides, Titane et Titanides fondus avec le carbonate de soude. Soude.	Chaleur avec poussière de charbon. Chlore. Chromate de potasse. Combustion simple. Combustion avec oxygène. Cuivre. Eau. Eau de chaux. Etain. Fer. Hydrochlorate de platine. Hydrochlorate d'or. Hydrocyanate ferruré de potasse.	— avec limaille de cuivre. Alcalis.
Acide hydriodique. Acide hydrochlorique.	Acide borique, Acide molybdique, Acide tantanique, Acide tungstique, Antimoine, Bismuth et Bismuthides, Borax et Borates, Carbonates, Cuivre et Cuprides, Phtore et Phtorides, Tellure et Tellurides, Zinc et Zincides, Plomb et Plumbides, Acier.	Hydrocyanate simple de potasse.	Alcool. Amidon.
Acide nitrique.	Carbonates, Palladium et Palladiides, Platine et Platinides. Phtore et Phtorides. Baryte, Hydrochlorates, Plomb et Plumbides, Strontiane, Sulfates. Nitrates. Cobalt et Cobaltides, Tellure et Tellurides, Urane et Uranides, Zircon.	Nitrate d'argent.	Ammoniaque liquide.
Acide nitro-hydrochlorique. Acide phosphorique. Acide sulfurique.	Acide borique. Iode. Alumine, Cérium, Fer oxyde, Glucine, Magnésie, Manganèse oxyde, Nickel, Zircon, Ytria. Baryte, Plomb et Strontiane.		Arséniate de soude.
— avec limaille de cuivre.			
Alcool.			
Amidon.			
Ammoniaque liquide.			
Arséniate de soude.			

Figure 14 : Extrait du tableau des réactifs d'Odolant Desnos¹⁵⁶.

Les manipulations à effectuer sont distinctes selon les caractères à essayer. L'exemple ci-après illustre quelques manipulations possibles.

Encart 4 : Comment déterminer les caractères chimiques, d'après Brongniart¹⁵⁷.

Essai de fusibilité :

On l'utilise le chalumeau. On dirige le feu de l'instrument sur un petit fragment de l'échantillon alors tenu entre des pinces ou une cuillère. On décrit ensuite la couleur de la flamme, le dégagement de fumée ou de vapeur ainsi que l'aspect pris par l'échantillon.

¹⁵⁶ Joseph J. ODOLANT DESNOS, « Précis de Minéralogie moderne », *Encyclopédie portative ou Résumé universel des sciences, des lettres et des arts*, Première partie, Tome 1, Imprimerie de Decourchant, Paris, 1828, p.49.

¹⁵⁷ Alexandre BRONGNIART, *Traité élémentaire de Minéralogie avec des applications aux arts*, Tome 1, Imprimerie de Crapelet, Paris, 1807, p. 37-41

Essai aux acides :

On utilise des matériaux comme des fragments de verre, des verres de montres ou des verres en cônes inversés. On place sur le support choisi le fragment d'échantillon.

On verse ensuite les réactifs choisis, le plus souvent de l'acide chlorhydrique. On regarde alors si l'échantillon se dissout, s'il produit une effervescence, si le gaz corrode le verre. On décrit également l'aspect de l'échantillon après réaction, s'il est coloré ou par exemple sous forme de gelée.

Les observations issues de ces expériences sont alors variées. Leur recoupement permet ainsi l'identification précise de ces caractères et leur confère ainsi un degré de certitude régulièrement mis en avant par les auteurs.

Les manipulations d'identification des caractères chimiques, la similarité du vocabulaire de leur catégorie avec celle de la docimastie montrent une affiliation aux pratiques chimiques. En ce sens, Brongniart mentionne dans son ouvrage des savants qui ont permis le développement et l'usage de ces caractères, il évoque entre autres Bergman et son élève, Gahn, ainsi que Sage, Monnet, Saussure, Daubenton et Berzelius. L'auteur précise que c'est autour de 1780 que ces moyens sont mis à disposition des minéralogistes. Cependant, Brongniart ne précise pas l'origine de ces pratiques chimiques et de leurs différences avec l'analyse chimique, ce qui nous amène à nous interroger sur l'origine docimastique de ces caractères.

Une origine docimastique des caractères chimiques ?

Le lien entre chimie et minéralogie a déjà été relevé dans le premier chapitre à propos de la construction des définitions de l'espèce minérale et des classifications. Pour Jöns Jacob Berzelius (1779-1848) la minéralogie et la chimie évoluent conjointement. Il propose d'ailleurs une définition de la minéralogie inédite, davantage orientée vers la chimie :

*« La minéralogie, dans l'acception ordinaire du mot, est la connaissance des combinaisons non organiques entre les éléments, telles qu'on les trouvent produites par la nature dans ou sur notre globe, aussi que des formes différentes et des divers mélanges étrangers avec lesquels ces corps se présentent »*¹⁵⁸.

L'auteur va plus loin¹⁵⁹ puisqu'il inclut la minéralogie dans la chimie impliquant alors le fait que la base des classifications minéralogiques est chimique. La prégnance de la chimie chez Berzelius n'est pas étonnante étant donné les travaux du savant. Pourtant, d'autres que lui mettent au premier plan des critères issus de la chimie pour classer le règne minéral. Ainsi, les

¹⁵⁸ Jöns Jacob BERZELIUS, *Nouveau système de Minéralogie*, traduit du suédois, Mequignon-Marvis, 1819, p.2.

¹⁵⁹ « Si néanmoins, la minéralogie considérée en elle-même, n'est qu'une partie de la chimie, il est clair qu'elle ne peut avoir d'autre base scientifique de classification que la base chimique et que toute autre lui est étrangère lorsqu'on l'envisage comme science » d'après Jöns J. Berzelius, *Nouveau système de Minéralogie...*, op.cit., p.4.

progrès de la chimie influent sur les méthodes minéralogiques de classification, mettant la chimie au premier plan. Cependant, la détection des caractères est distincte de l'analyse chimique et les deux sont considérées par les savants comme des méthodes différentes. Elles apportent des réponses distinctes et la question du lien qu'entretiennent les méthodes issues de la chimie avec la détection des caractères chimiques minéralogiques reste entière. Cependant, la proximité du vocabulaire utilisé, les pratiques mobilisées pour l'identification des caractères tendent à les rapprocher de la docimasia. En effet, les savants utilisent régulièrement le mot essayer, qui appartient au vocabulaire de la docimasia. Le nom des catégories des caractères chimiques se transforme pour s'approcher de ceux utilisés en docimasia. L'exemple ci-après illustre cette évolution de la nomenclature des catégories, à partir de trois publications ayant peu d'écart entre elles. Les noms utilisés par Brongniart sont distincts de ceux utilisés par Girardin et Lecoq et Odolant Desnos. Lorsque nous comparons les intitulés d'Odolant Desnos avec ceux de Girardin et Lecoq à propos de la docimasia, nous constatons une similarité du vocabulaire. Les expressions « *voie sèche* » et « *voie humide* » sont toutes deux utilisées. Cette similarité montre l'existence d'un lien entre les caractères chimiques et la docimasia.

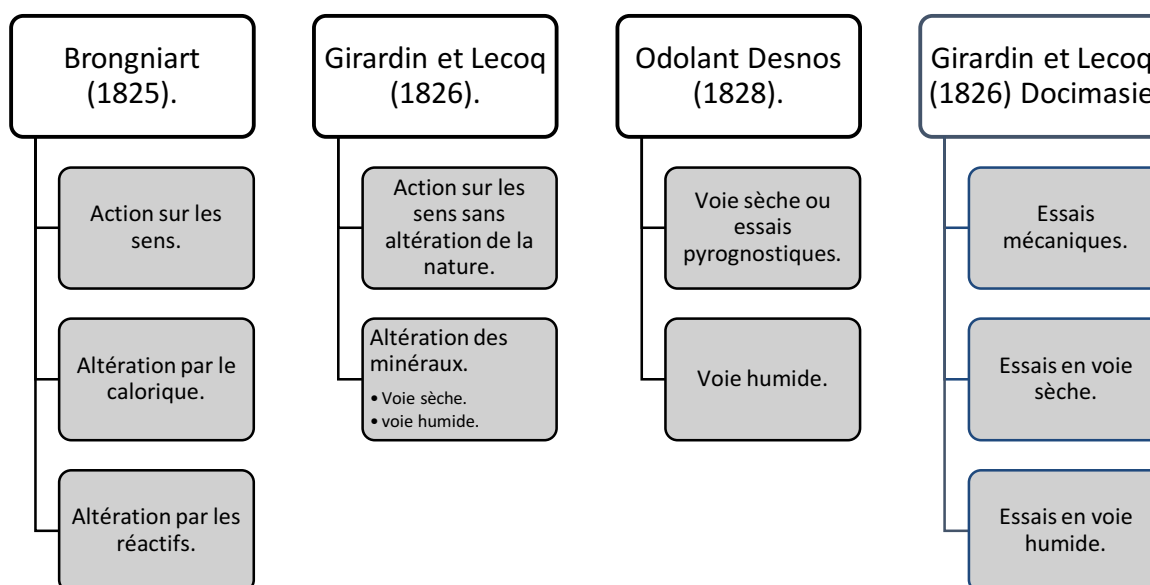


Figure 15 : Evolution des noms des sous catégories des caractères chimiques.

Nous avons vu que d'après Brongniart les opérations faites pour déterminer les caractères chimiques sont simples et rapides. Le discours tenu par Brongniart à propos de l'identification des caractères chimiques est le même que celui sur la docimasia. En effet, la docimasia est définie comme suit :

« *T [erme] de chimie. L'art d'essayer en petit les mines, pour savoir les métaux qu'elles contiennent* »¹⁶⁰.

¹⁶⁰ Définition du mot docimasia, extraite du *Dictionnaire de l'Académie française*, 4^{ème} édition, Tome 1, 1762, p.410.

Les buts ainsi que la méthode docimastique sont davantage détaillés par Louis Nicolas Vauquelin (1763-1829), professeur de docimastie à l'*Ecole des Mines* de Paris. Ainsi, les essais docimastiques permettent par le broyage, le grillage et la fonte de connaître « [...] *la nature, la quantité de la substance principale de la mine mais aussi les matières combinées ou mélangées* »¹⁶¹. Les savoirs sont disponibles immédiatement d'après l'auteur, notamment si une nouvelle mine est découverte, afin de décider si elle est économiquement exploitable. D'après Virginie Fonteneau¹⁶² l'enseignement docimastique à l'*Ecole des mines* de Paris et les évolutions qu'il subit durant le XIX^e siècle combinent à la fois une visée pratique, liée aux activités demandées aux ingénieurs des mines, ainsi qu'une base théorique très solide en chimie, comme l'atteste le discours de Vauquelin¹⁶³. La chimie est au centre de cet enseignement dont la finalité pratique est appliquée à la connaissance des métaux contenus dans les minerais à des fins d'exploitation minières.

L'explication et les étapes que mentionne Vauquelin ne sont pas sans rappeler celles que Brongniart expose à propos des caractères chimiques.

Les buts de la docimastie sont très proches des besoins des minéralogistes pour l'identification rapide des minéraux. D'ailleurs, l'application de la docimastie aux mines et à l'identification des minerais en est un exemple éclairant. Les savants, dont certains suivent des cours à l'*Ecole des mines*, sont formés à ces techniques. Ces deux faits facilitent d'après nous l'usage de cette détermination chimique pour les minéraux et la constitution d'un groupement de caractères spécifiques au sein des caractères minéralogiques.

III. La méthode cristallographique

Jean Orcel reprend les propos de Jean Baptiste Louis de Romé de l'Isle (1736-1790) :

« *dès cette époque apparaissent donc les premières subdivisions de la minéralogie basées essentiellement sur les propriétés cristallographiques et physiques des minéraux, sur leurs propriétés chimiques, sur leurs modes de gisement et leur génèse.* »¹⁶⁴

L'analyse de Romé de l'Isle éclaire la distinction nette, observable entre caractères physiques et chimiques dans l'organisation des traités. Elle nous permet également d'introduire

¹⁶¹ Louis-Nicolas VAUQUELIN, « Discours du Citoyen Vauquelin, inspecteur des mines de la République et professeur de docimastie », *Journal des Mines*, Volume 9, 1798-1799, p.191.

¹⁶² Virginie FONTENEAU, « Les enseignements de chimie à l'Ecole des mines de Paris au XIX^e siècle », dans Marco BERTILORENZI, Jean-Philippe PASSAQUI, Anne-Françoise GARÇON, *Entre technique et gestion. Une histoire des « ingénieurs civils des mines » (XIX^e-XX^e siècles)*, Presses des mines, Collections Histoire, sciences et sociétés, Paris, 2016, p.353-368.

¹⁶³ « *Comment, en effet sa marche analytique [...] si on ne possède pas à fond la théorie générale de la chimie ! Comment encore distinguer un corps nouveau et inconnu jusqu'alors si l'on ignore les propriétés mêmes, les moindres caractéristiques, de tous les autres corps connus.* », Louis-N. VAUQUELIN, « Discours du Citoyen Vauquelin, ... », *op.cit.*, p.190.

¹⁶⁴ Jean ORCEL, *Les sciences minéralogiques au XIX^e siècle (Minéralogie, cristallographie, lithologie)*, Conférence donnée au Palais de la Découverte le 10 novembre 1862, Presses de l'Imprimerie alençonnaise, 1963, p.7

un troisième type de caractères, dont les fonctions d'identification et de classification sont identiques, les caractères cristallographiques. Il s'agit donc pour nous d'en identifier la nature, les pratiques liées à leur mise à jour et leurs utilisations par les savants.

Romé de L'Isle publie en 1772 *Essai de cristallographie*, dans lequel il aborde l'étude des cristaux et de la régularité de leurs formes comme moyen de classification.

Pour le savant, « [...] *les cristaux réguliers peuvent donc nous faire connoître la forme propre à chaque espèce : cette forme, une fois connue, il est aisé d'y rapporter les variétés sans nombre qui en dérivent, & ces variétés jointes aux irrégularités qui s'y rencontrent, indiquent à leur tour les procédés que la nature a employée dans la formation des cristaux parfaits* »¹⁶⁵.

D'après Romé de l'Isle, l'étude des cristaux, grâce à leurs formes régulières, est un moyen d'appréhender le processus de formation des cristaux. Il essaie donc de montrer les analogies que présentent les objets entre eux. Il propose ainsi un tableau cristallographique en fin d'ouvrage qui reprend les principales informations de l'ouvrage¹⁶⁶. Le but est alors de « [...] *prouver que l'application des figures géométriques à l'étude de la Minéralogie n'est pas aussi vaine que quelques naturalistes l'ont pensée, puisqu'elle nous fournit un moyen de plus pour reconnoître les principes qui entrent dans la composition des corps* »¹⁶⁷.

Romé de l'Isle étudie les cristaux en mobilisant un domaine distinct de la physique ou de la chimie pour construire une méthode de détermination des caractères. Il s'appuie sur la forme régulière des cristaux pour y appliquer la géométrie et donc déterminer des caractères spécifiques à ces formes.

Dans la continuité des travaux de ce savant, s'inscrivent ceux de René Just Haüy. D'après Jean Orcel, l'une des préoccupations de Haüy est l'étude de la structure cristalline par elle-même¹⁶⁸. Ce dernier est à la fois influencé par les recherches de Romé de l'Isle, mais également du chimiste Torbern O. Bergman (1735-1784).

Haüy en 1784 formule le problème majeur à l'étude des cristaux, celui de la multiplicité des formes qu'ils prennent. Pour y répondre, il propose d'une part :

« [...] *de trier de leurs différentes formes, des caractères distinctifs pour reconnoître les minéraux* »¹⁶⁹.

¹⁶⁵ Jean B. ROME DE L'ISLE, *Cristallographie ou description des formes propres à tous les corps du règne minéral*, Tome 1, Imprimerie de Monsieur, Paris, 1783, p.xij.

¹⁶⁶ Le tableau est constitué de 10 colonnes qui décrivent la figure et les proportions du prisme de chaque cristal, la figure et les proportions des pyramides, le nombre et la figure des côtés du prisme, le nombre et la figure des côtés des pyramides, le nombre total des côtés de chaque cristal, le nom des sels, le nom des pierres, le nom de minéraux, les planches de l'ouvrage, les figures données par Linné. D'après Jean B. ROME DE L'ISLE, *Cristallographie...*, *op.cit.*, p.xiv-xv.

¹⁶⁷ Jean B. ROME DE L'ISLE, *Cristallographie...*, *op.cit.*, p.8-9

¹⁶⁸ Jean ORCEL, *Les sciences minéralogiques au XIX^e siècle (Minéralogie, cristallographie, lithologie)*, Conférence donnée au Palais de la Découverte le 10 novembre 1862, Presses de l'Imprimerie alençonnaise, 1963, p.7

¹⁶⁹ René J. HAÜY, *Essai d'une théorie sur la structure des cristaux, appliquée à plusieurs genres de substances crystalissées*, Imprimerie Demonville, Paris, 1784, p.5.

D'autre part, il souhaite :

« [...] *comparer ces formes les unes avec les autres, d'en saisir les rapports & et les différences [...] et d'expliquer les mécanismes interne de leur structure* »¹⁷⁰.

Haüy ne veut pas seulement identifier et classer les cristaux, il a l'ambition de déterminer des caractères spécifiques à ces objets pour que la reconnaissance et la comparaison se fassent sur une même base. Cette approche est également complétée par la volonté d'expliquer la manière dont les cristaux se forment et la raison des multiples formes qu'ils peuvent prendre.

Le savant reprend le constat de Romé de l'Isle sur la variation des formes cristallines au sein d'une même espèce et la constante des angles des faces. En effet, pour étudier les cristaux, de manière similaire aux roches et aux minéraux, il est nécessaire d'identifier des principes ou des caractères qui permettent de les rassembler ou de les distinguer les uns des autres. Romé de l'Isle, mais également Haüy, constatent que les formes prises par les cristaux sont très variables et que pour une même espèce, les formes prises peuvent être différentes. Il l'illustre par un chapitre entier, intitulé « Application aux cristaux de Spath calcaire »¹⁷¹ dans lequel il détaille la forme primitive du spath (forme rhomboïdale) et les formes secondaires, au nombre de sept¹⁷². Pour autant, Romé de l'Isle constate que derrière la variété des formes, il existe une constante, celles des angles que prennent les faces entre elles. Il s'agit d'un caractère mesurable : les angles des faces des cristaux. Nous reviendrons par la suite plus en détails sur la constitution de cette méthode et les instruments permettant cette mesure (voir p.67).

Haüy reprend alors la technique de Romé de l'Isle ainsi que ses données. Il va les enrichir par le recours systématique à la mesure rigoureuse des angles des cristaux, en mobilisant la même méthode instrumentale que Romé de l'Isle. Il associe également ces mesures à des hypothèses sur la structure des cristaux comme par exemple la notion de molécules intégrantes. Haüy souhaite « [...] *réduire la crystallographie à une science qui ait des principes fixes* »¹⁷³. De plus, pour Haüy, l'aide de la géométrie est très importante, pour apprécier la régularité des formes. Il est alors possible par ce biais de faire le lien avec les mathématiques.

Haüy utilise l'outil géométrique afin d'expliquer ses observations et de justifier ses théories. Celui-ci est très important pour Haüy comme le témoigne cette citation :

« *La géométrie, à son tour a des rapports directs et nécessaires avec la minéralogie, par la description des formes cristallines et plus encore par ses nombreuses applications à la structure des cristaux [...]* »¹⁷⁴.

¹⁷⁰ René J. HAÜY, *Essai d'une théorie sur la structure des cristaux, appliquée à plusieurs genres de substances crystalisées*, Imprimerie Demonville, Paris, 1784, p.5

¹⁷¹ René J. HAÜY, *Essai d'une théorie sur la structure des cristaux...*, *op.cit.*, p. 75-119.

¹⁷² Spath calcaire rhomboïdal à sommets très obtus, Spath calcaire sommets très obtus et à facettes triangulaires, Spath calcaire à douze faces pentagonales, Spath calcaire en prisme droit à six pans, Spath calcaire à douze faces triangulaires scalènes, Spath calcaire rhomboïdal à sommets aigus, Spath perlé.

¹⁷³ René J. HAÜY, *Essai d'une théorie sur la structure des cristaux...*, *op.cit.*, 1784, p. 4.

¹⁷⁴ René J. HAÜY, *Traité de minéralogie*, Tome 1, Paris, 1801, p. xij.

En effet, la géométrie permet de nommer de façon sûre les formes que prennent les cristaux. Haüy souhaite l'appliquer à l'histoire naturelle¹⁷⁵ et, par conséquent, à la cristallographie. La géométrie est utilisée par Haüy afin de justifier sa construction théorique à propos des différentes formes que prennent les cristaux selon leurs formes primitives.

Formes et mesure d'angles, les piliers de la cristallographie

Haüy dans *Traité de minéralogie* définit les caractères géométriques comme « [...] ceux qui se tirent de la détermination des formes primitives, et de la mesure des angles que forment, par leur rencontre, les faces des cristaux et les côtés de ces mêmes faces »¹⁷⁶. Par ailleurs, les formes primitives sont définies comme « [...] un solide d'une forme constante engagé symétriquement dans tous les cristaux d'une même espèce, et dont les faces suivent les directions des lames qui composent ces cristaux »¹⁷⁷. Haüy en propose six distinctes : le parallélépipède, l'octaèdre, le tétraèdre, le prisme hexaèdre régulier, le dodécaèdre à plans rhombes et le dodécaèdre à plans triangulaires¹⁷⁸. Brongniart, quant à lui, propose également six formes simples¹⁷⁹ dont deux sont communes par leur nom avec celles qu'expose Haüy. Girardin et Lecoq se réfèrent quant à eux à Brochant pour évoquer neuf formes dominantes de cristaux¹⁸⁰. Il s'agit du tétraèdre, du parallélépipède, de l'octaèdre, du prisme hexagonal, du dodécaèdre rhomboïdal, du dodécaèdre pentagonal, du dodécaèdre triangulaire de l'icosaèdre triangulaire et du trapézoèdre. Le minéralogiste allemand Gustav Rose (1798-1873) propose également six systèmes cristallins¹⁸¹ qu'il définit comme « la réunion de différentes formes ayant des axes égaux en nombre, en grandeur et en direction »¹⁸². Pour chaque système, le savant décrit le nombre de faces, d'arrêtes, les angles, la forme des faces et la mesure les angles. Il présente d'ailleurs l'ensemble dans un tableau.

Ainsi, l'identification de la forme d'un cristal participe à sa caractérisation. De plus, le nombre de formes possibles ainsi que le nom de ces dernières sont variables selon les auteurs. Leurs descriptions doivent être d'après Brongniart, les plus précises possibles, notamment lorsque le cristal étudié ne correspond pas à un polyèdre régulier. L'observation ou l'expérience permettent de déterminer ces formes primitives¹⁸³. La mesure des angles des cristaux est quant

¹⁷⁵ « L'application que j'ai essayé de faire de la géométrie à l'Histoire Naturelle [...] » extrait de René J. HAÜY, *Essai d'une théorie sur la structure des cristaux, appliqué à plusieurs genres de substances cristallisées*, Gogue et Nei de la Rochelle, Paris, 1784, p.38

¹⁷⁶ René J. HAÜY, *Traité de minéralogie*, Tome premier, Imprimerie de Delange, Paris, 1801, p.203.

¹⁷⁷ René J. HAÜY, *Traité de minéralogie...*, *op.cit.*, p 28.

¹⁷⁸ René J. HAÜY, *Traité de minéralogie...*, *op.cit.*, p 28-29

¹⁷⁹ Il s'agit du tétraèdre, du cube, du rhomboïde, de l'octaèdre, du dodécaèdre et du prisme, d'après Alexandre BRONGNIART, *Traité élémentaire de Minéralogie avec des applications aux arts*, Tome 1 et Tome 2, Imprimerie de Crapelet, Paris, 1807, p.20.

¹⁸⁰ Jean GIRARDIN et Henri LECOQ, *Elemens de Minéralogie appliquée aux sciences chimiques, ouvrage basé sur la méthode de M. Berzelius*, Tome 1, Imprimerie de Huzard-Courcier, Paris, 1826, p. 11-12.

¹⁸¹¹⁸¹ Rose propose le système tétraédrique, le prismatique à base carré, le rhomboédrique, le prismatique rectangulaire oblique, le prismatique oblique à base de parallélogramme obliquangle.

¹⁸² Gustav ROSE, « Elements de cristallographie », *Annales des Mines*, Série 3 Volume 4, 1833, p.159.

¹⁸³ Alexandre BRONGNIART, *Traité élémentaire de Minéralogie avec des applications aux arts*, Tome 1, Imprimerie de Crapelet, Paris, 1807, p.14

à elle effectuée à l'aide d'un instrument, spécifiquement créé dans ce but : le goniomètre, dont il existe plusieurs types.

Le goniomètre à branches (voir figure ci-dessous) mesure directement les angles des faces contiguës d'un cristal à l'aide des deux branches. Ces dernières peuvent être fixes ou mobiles selon les modèles. C'est sous la demande de Romé de l'Isle que le fabricant Arnould Carangeot (1742-1806) le fabrique. Il est alors construit avec deux branches mobiles ou alidades et d'un demi-cercle gradué allant jusqu'à 180° afin de pouvoir lire l'angle mesuré par les alidades. Nicolas Vincard (?-1788) est le premier à les commercialiser à partir de 1783¹⁸⁴.

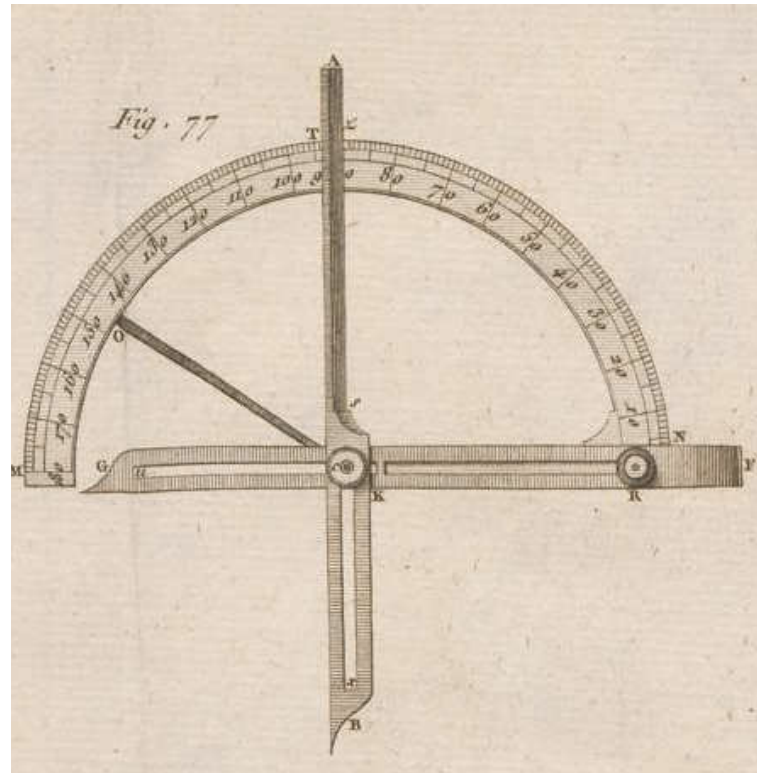


Figure 16 : Goniomètre à branches¹⁸⁵.

Un second type de goniomètre apparaît au début du XIX^e siècle, il s'agit du goniomètre à réflexion, dit de Wollaston (voir figure ci-après). La mesure des angles s'effectue à l'aide de lumière réfléchi. William Hyde Wollaston (1766-1828) le présente en 1809, à la *Royal Society of London*¹⁸⁶. Ce goniomètre peut s'utiliser soit en position horizontale, soit verticale. Il est particulièrement adapté pour les cristaux transparents et de très petites tailles.

¹⁸⁴ Jean-Henri HASSENFRAZ, articles sur les Goniomètres, *Encyclopédie méthodique. Physique*, Tome 3, 1793-1822, p. 375.

¹⁸⁵ René J. HAÛY, *Traité de minéralogie*, T.5, Planche VIII, Fig. 77, Paris, 1801.

¹⁸⁶ William Hyde WOLLASTON, « Description of a reflective Goniometer », *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Volume 99, 1809, p. 253- 258.

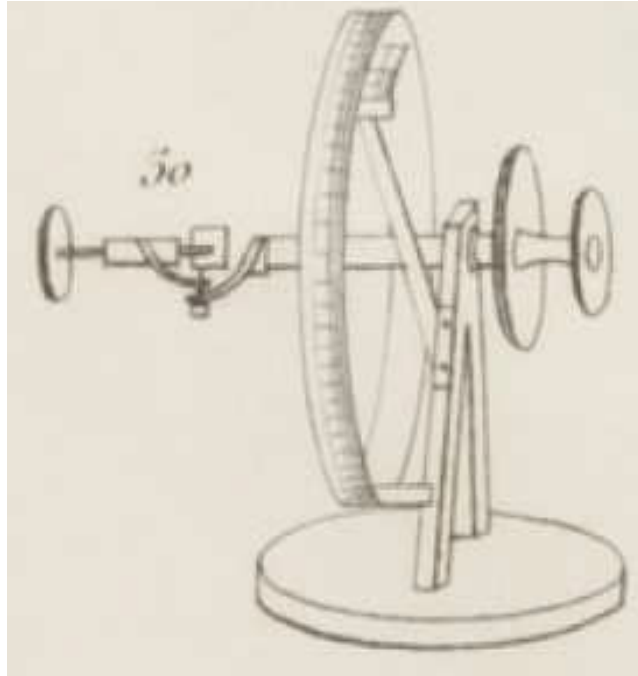


Figure 17 : Goniomètre à réflexion¹⁸⁷.

Ces deux types de goniomètres se diversifient et sont améliorés selon les usages des savants et la précision souhaitée des mesures. Divers savants proposent d'autres goniomètres, à réflexion, comme Malus¹⁸⁸.

Le goniomètre permet donc de mesurer différents angles sur les cristaux. Les données récoltées sont caractéristiques des espèces minérales. En effet, selon le principe de constance des angles, les angles d'un cristal pour une espèce donnée seront les mêmes. Ainsi, par les données qu'il permet de recueillir, le goniomètre contribue d'une part à établir des caractères propres aux cristaux, que sont les valeurs de ces angles. La mesure des angles est alors assimilable aux caractères minéralogiques décrits auparavant et permet d'identifier un cristal, peu importe la nature géométrique de sa forme. En effet, d'après Haüy, les caractères des cristaux « [...] peuvent être eux-mêmes saisis par les yeux aidés du goniomètre, qui est comme l'interprète de la théorie.¹⁸⁹ ». Par conséquent, le goniomètre est à la fois un instrument révélateur des caractères du cristal mais aussi celui des théories cristallographiques. Il contribue alors à la construction de la science cristallographique et de ses théories ainsi qu'à la vérification de celles-ci par la mesure¹⁹⁰. La méthode cristallographique se construit autour de son usage. Il

¹⁸⁷ Joseph J. ODOLANT DESNOS, *Précis de Minéralogie moderne*, Bureau de l'encyclopédie portative, Paris, 1828, planche 2 figure 50.

¹⁸⁸ Jean-Henri HASSENFRAZ, articles sur les Goniomètres, *Encyclopédie méthodique. Physique*, Tome 3, 1793-1822, p. 374-378.

¹⁸⁹ René J. HAÛY, *Tableau comparatif des résultats de la cristallographie et de l'analyse chimique, relativement à la classification des minéraux*, Paris, Courcier, 1809, p. xviiij

¹⁹⁰ Marika BLONDEL-MEGRELIS, « L'instrumentations dans l'édification de la science des cristaux », dans Jean-Claude Beaune (dir), *La mesure, instruments et philosophies*, Collections milieu, Champ Vallon éditeur, 1994, p.116.

s'agit alors de se demander comment cette méthode d'identification supplémentaire est mobilisée dans les traités de minéralogie.

Présence des caractères cristallographiques dans les tableaux méthodiques

L'identification des caractères cristallographiques est donc intimement liée à l'usage d'un instrument de mesure, le goniomètre. L'instrument permet de mesurer les angles et donc de recueillir des données sur une multitude d'échantillons pour leur identification. Il s'agit de se demander la place qu'occupent ces caractères dans les tableaux méthodiques et leur usage par les minéralogistes dans l'identification et la classification.

Brongniart ne mentionne pas spécifiquement dans son ordre de présentation les caractères cristallographiques. Ils n'y sont pas distingués comme étant des caractères, mais inclus dans un propos plus général sur le phénomène de cristallisation. Cependant, il aborde la question de la cristallisation, des formes prises par les cristaux ainsi que les développements théoriques de Haüy sur la forme primitive et ses lois de décroissance. Brongniart donne également un exemple de description¹⁹¹. Bien qu'il parle du goniomètre et explique son usage, il préconise une description des formes géométriques et n'utilise pas de données numériques.

Ceci est confirmé par la suite, puisqu'au sein des descriptifs associés à chaque espèce minérale, l'auteur s'attache néanmoins à détailler la forme primitive et la forme ordinaire. A propos du zircon par exemple, il décrit « (l)eur forme primitive est un octaèdre à triangles isocèles (pl.4fig.29). Leur forme ordinaire est celle d'un prisme à quatre pans, terminés par une pyramide à quatre faces »¹⁹².

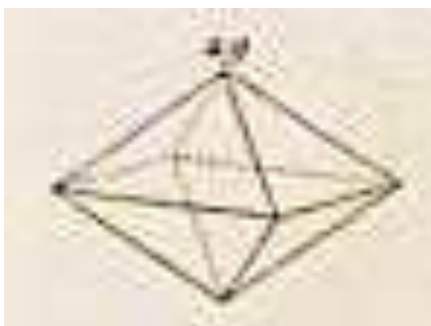


Figure 18 : Représentation d'un cristal de zircon¹⁹³.

¹⁹¹ « Octaèdre, dont les angles des sommets sont tronqués, les arêtes horizontales biselées, et les angles latéraux remplacés par un pointement à quatre faces ». Alexandre BRONGNIART, *Traité élémentaire de Minéralogie avec des applications aux arts*, Tome 1, Imprimerie de Crapelet, Paris, 1807, p.21.

¹⁹² Alexandre BRONGNIART, *Traité élémentaire de Minéralogie...*, *op.cit.*, p.269.

¹⁹³ pl.4 fig.29 dans Alexandre BRONGNIART, *Traité élémentaire de Minéralogie...*, *op.cit.*

Girardin et Lecoq quant à eux, ont choisi de mentionner explicitement pour chaque espèce les caractères cristallographiques dans leur tableau méthodique. Ces caractères cristallographiques sont précédés par les caractères physiques, chimiques et la composition. Ils sont suivis de la couleur et des gisements.

A titre d'exemple, pour le soufre, « (s)a forme primitive est un octaèdre à bases rhombes, dont les angles sont de $106^{\circ}30'$, et $85^{\circ}5'$ vers un même sommet, et $143^{\circ}25'$ d'une face d'un des sommets sur l'autre »¹⁹⁴. Les auteurs précisent les formes dominantes et accidentelles avec détails.

Ainsi, les caractères cristallographiques font partie de l'identification des minéraux. Ces caractères sont plus ou moins mobilisés dans les classifications. Parfois, seules les formes primitives sont décrites par les auteurs, tandis que pour d'autres, ces caractères incluent les formes primitives mais aussi les mesures des angles.

Conclusion

Les caractères minéralogiques sont organisés dans le but de construire des groupes au sein des classifications. Ils sont présentés la plupart du temps en deux catégories principales, les caractères physiques et les caractères chimiques. Cependant, une troisième catégorie prend de l'importance au début du XIX^e siècle, celle des caractères cristallographiques.

Chacune de ces trois catégories possède ses propres spécificités bien qu'il existe des points communs. En effet, les caractères au sein de ces catégories sont nombreux et déclinables. Ils sont identifiables par des observations directes, comme pour la couleur, ou bien à l'aide de pratiques particulières liées à la typologie des caractères. Ces pratiques comme l'usage d'acide ou bien encore la détection de l'électricité visent à révéler la présence ou l'absence d'un caractère. Dans le cas des caractères cristallographiques, la mesure des angles à l'aide d'un instrument, le goniomètre, permet de recueillir les données nécessaires à l'identification du système cristallin.

Les pratiques dont les caractères sont issus proviennent de divers domaines, dont la géométrie, la chimie et la physique. Le but commun de ces pratiques est l'identification de caractères spécifiques, visant à celle d'un échantillon. Elles utilisent des savoir-faire et de l'instrumentation issus de ces domaines initiaux qui sont intégrés complètement dans les pratiques minéralogiques et qui en constituent des méthodes à part entière.

¹⁹⁴ Jean GIRARDIN et Henri LECOQ, *Elemens de Minéralogie appliquée aux sciences chimiques, ouvrage basé sur la méthode de M. Berzelius*, Tome 1, Imprimerie de Huzard-Courgier, Paris, 1826, p..103

Chapitre 3 : Observer le règne minéral au microscope

Les sens permettent la description et la caractérisation de nombreux objets et sont d'ailleurs régulièrement mobilisés dans l'étude du règne minéral. Ainsi, Brongniart construit une catégorie qui s'intitule « *l'action sur nos sens* »¹⁹⁵. La description des roches passe plus particulièrement par l'usage de la vue, notamment pour décrire leur couleur ou leur texture.

Cependant, les sens humains, dont la vue, ont leurs limites. Pour y pallier, les savants utilisent des loupes pour grossir et observer des roches ou des minéraux, mais ils n'utilisent pas de microscope comme c'est le cas depuis le XVIII^e siècle en histoire naturelle. A titre d'exemple, celui-ci n'est pas mentionné dans l'ouvrage de Brongniart qui utilise pourtant de nombreux instruments comme le goniomètre, la balance, le chalumeau ou l'électromètre. En quoi le microscope serait-il différent des autres instruments susmentionnés ? Il est possible que l'absence de construction de méthodes autour de l'usage du microscope pour l'identification d'objets appartenant au règne minéral, soit une limite à son usage par les savants. C'est par conséquent autour de cette question de la construction de pratiques microscopiques que s'articule ce chapitre. En effet, dans cette première décennie du XIX^e, l'identification des roches et des végétaux fossiles est jugée comme insuffisante par certains savants. Pour répondre à ces limites méthodologiques, deux pratiques microscopiques distinctes se constituent. La première entre 1800 et 1815 pour les roches et la seconde à partir de 1831 pour les végétaux fossiles. Nous nous demandons alors de quelle manière l'appropriation de l'instrument participe à la constitution de ces deux nouvelles pratiques et dans quelle mesure elles se constituent en méthode.

Ainsi nous détaillerons dans un premier temps les limites dénoncées par les savants, pour ensuite aborder la constitution de ces deux pratiques microscopiques pour observer les roches et les végétaux fossiles.

¹⁹⁵ Alexandre BRONGNIART, *Introduction à la minéralogie ou exposé des principes de cette science*. Article inséré dans le tome 31 du Dictionnaire des sciences naturelles au mot Minéralogie, F.G. Levrault, libraire-éditeur, Paris, 1825, p. 12

I. Les roches : tenir compte des minéraux microscopiques

Le mot roche commence à être régulièrement utilisé par les savants dans les années 1820, tout en cohabitant encore avec celui de pierre pour désigner tous deux des masses dures composées de minéraux. Les méthodes de détermination de ces objets sont similaires à celles des minéraux sans pour autant que les savants soient satisfaits des résultats obtenus, à la fois dans la caractérisation mais également dans la classification. L'apparition de l'usage du microscope dans l'étude des roches permet d'appréhender l'existence d'un niveau de construction microscopique des roches, jusque-là non perceptible par leur seul sens. Pierre Louis-Antoine Cordier (1777-1861) mobilise alors cet instrument pour construire une méthode d'identification basée sur les essais chimiques. L'usage du microscope pour observer les roches s'insère alors dans les pratiques courantes des savants.

1. Faire le constat d'une méthode minéralogique insuffisante

Au vu des écrits des savants, la méthode minéralogique semble assez performante pour discriminer les minéraux. Il semblerait en revanche que son application aux roches soit sujette à des remarques et des critiques révélant des limites dans la définition de ces objets et la manière de les appréhender.

Brongniart dans son *Traité élémentaire de Minéralogie* affirme ainsi que « (l)es pierres sont les minéraux dont on connoît le moins la nature »¹⁹⁶. En effet, des analyses chimiques n'ont parfois jamais été réalisées sur des pierres et elles sont à d'autres reprises inopérantes¹⁹⁷. Rappelons que l'analyse chimique permet de connaître la composition d'un corps. Or, dans le cas des roches, considérées alors comme des minéraux mélangés, elle ne permet pas de savoir la manière dont les corps sont rassemblés.

De plus, comme le relève Brongniart, l'aspect extérieur n'est pas fiable car les pierres peuvent paraître homogènes sans pour autant l'être¹⁹⁸. Cet aspect n'est donc pas suffisant comme principe d'identification. Il est par conséquent nécessaire de choisir d'autres caractères pour l'identification.

Valmont de Bomare, dont la publication est antérieure à celle de Brongniart énonce également des critiques sur la méthode admise pour identifier les roches, à savoir l'utilisation de caractères externes. Les roches possèdent en effet des caractéristiques très variables. A titre

¹⁹⁶ Alexandre BRONGNIART, *Traité élémentaire de Minéralogie avec des applications aux arts*, Tome 1, Imprimerie de Crapelet, Paris, 1807, p.261.

¹⁹⁷ Alexandre BRONGNIART, *Traité élémentaire de Minéralogie...*, op.cit., p.261-262.

¹⁹⁸ Alexandre BRONGNIART, *Traité élémentaire de Minéralogie...*, op.cit., p.262.

d'exemple, elles sont plus ou moins dures, leur couleur varie ainsi que leur cassure. Il est rare d'après l'auteur d'identifier des caractères identiques entre les pierres permettant de les classer :

« Ces pierres de roches n'ont d'autres différences entr'elles, que celle qu'y met la nature des parties qui y dominant [...] »¹⁹⁹.

L'identification passe alors pour Valmont de Bomare par la description des éléments qui composent les roches.

De manière générale, les roches sont décrites selon des caractères extérieurs visibles. D'autres savants mentionnent ces problèmes de détermination et de méthode. En 1800, dans *Mémoire sur les cristaux microscopiques*²⁰⁰ Louis Benjamin Fleuriau de Bellevue (1761-1852) revient sur la question. Il aborde un premier élément, lié à la nomenclature des roches. D'après Fleuriau de Bellevue, il n'existe pas d'uniformité dans la manière de nommer les roches. Cordier reprend 15 ans plus tard le même argument en avançant l'exemple, des cornéennes et des trapps encore nommée pierres argiliferes²⁰¹. L'usage de noms différents pour qualifier une même roche, selon les pays d'origine des savants, complexifie la reconnaissance et l'identification des objets. La non-uniformisation d'une nomenclature est avancée comme argument en faveur du manque d'études sur les roches ou tout du moins de la confusion qui persiste chez les savants à propos de leurs études.

Le second problème qu'évoque Fleuriau est proche de ceux déjà mentionnés par Valmont de Bomare ou Brongniart à propos de la méthode de description des roches. Elles sont décrites en fonction de leur gisement et des caractères extérieurs, qui se résument à la cassure²⁰² et la structure. Ces caractères sont d'ailleurs primordiaux pour les savants allemands qui les utilisent comme propriétés distinctives des roches. Brongniart en fait la description avec des cassures de type conchoïde, écaillée ou encore vitreuse²⁰³. Par défaut, les savants réduisent l'identification aux caractères extérieurs. Pourtant, ces mêmes caractères ne sont pas considérés comme primordiaux dans l'identification et la classification des minéraux. Ce choix illustre à quel point la méthode d'étude des roches est encore en construction et ne permet pas d'atteindre un degré de précision identique à celui des minéraux ou des cristaux. C'est d'ailleurs d'après nous, un élément qui favorise la confusion des noms et des définitions à propos de ces objets.

Dans le cas spécifique des roches volcaniques, les limites des méthodes utilisées sont également importantes. Cordier écrit ainsi en 1815 :

¹⁹⁹ Jacques C. VALMONT DE BOMARE, *Minéralogie ou nouvelle exposition du règne minéral*, Seconde édition, Tome I, Imprimeur Vincent, Paris, 1774, p. 425.

²⁰⁰ Louis Benjamin FLEURIAU DE BELLEVUE, « Mémoire sur les cristaux microscopiques et en particulier sur la séméline, la mélilite, la pseudo-somnite et le selce-romano », *Journal de Physique et de Chimie et d'Histoire Naturelle et des Arts*, Tome 51, 1800, p. 442-461.

²⁰¹ Pierre L. CORDIER, *Mémoire sur les substances minérales dites en masses, qui entrent dans la composition des Roches Volcaniques de tous les âges*, Imprimerie de Mme V^e Courcier, 1815, Paris, p.5.

²⁰² La cassure est l'apparence que prend un échantillon après lui avoir imprimé un choc. D'après Alexandre BRONGNIART, *Traité élémentaire de Minéralogie avec des applications aux arts*, Tome 1, Imprimerie de Crapelet, Paris, 1807, p.35.

²⁰³ Alexandre BRONGNIART, *Traité élémentaire de Minéralogie...*, op.cit., p. 35.

« *L'état de nos connaissances sur les roches volcaniques laisse beaucoup à désirer, quoiqu'il y ait près d'un demi-siècle qu'on s'occupe de leur étude* »²⁰⁴.

Cordier dénonce la manière dont les savants décrivent les roches. Ces derniers les étudient en supposant que ce sont des masses uniformes. Ils décrivent leur composition apparente et ne tiennent compte que des caractères extérieurs visibles²⁰⁵. L'auteur reproche également aux analyses d'être réalisées sur la masse entière et de ne donner des résultats que pour cette dernière. D'après Cordier, ce ne sont pas des résultats satisfaisants pour étudier les roches volcaniques²⁰⁶.

Dufrénoy en 1837 s'accorde avec Cordier puisque pour lui, l'examen des caractères extérieurs des roches ne permet pas systématiquement de les différencier :

« *La cristallisation confuse des laves, et la difficulté de reconnaître leurs éléments, lors même qu'un refroidissement lent a permis à ces roches de prendre une texture cristalline sont autant d'obstacles qui ont empêché jusqu'à présent d'en déterminer la nature d'une manière un peu précise.*²⁰⁷ »

Dufrénoy reprend à peu de choses près l'argumentaire de ses contemporains pour les laves. La difficulté principale pour ces dernières tient à la cristallisation qui ne permet pas de révéler à l'œil nu des minéraux et par conséquent, l'identification par la méthode minéralogique semble difficile. Ces obstacles sont liés aux incertitudes restantes à propos de la nature des substances minérales non cristallisées, c'est à dire les pâtes. En effet, les limites évoquées quant à l'usage des caractères extérieurs pour décrire et identifier les roches sont d'autant plus valables pour les laves. La cristallisation de ces dernières rend impossible toute détermination à l'œil nu. Elles sont considérées comme étant amorphes et ne possèdent pas d'éléments cristallisés. L'impossibilité d'identifier le contenu de ces pâtes conduit les minéralogistes à ne tenir compte que des éléments extérieurs voir à exclure les pâtes pour l'identification des roches. C'est une méthode que dénoncent certains minéralogistes, dont Cordier et Dufrénoy, qui souhaitent une identification plus complète qui tienne compte de ces éléments.

Les roches sont décrites en fonction de caractères classés comme secondaires dans le cas des minéraux. Les caractères importants comme la composition issue de l'analyse sont contestés par certains savants comme Cordier, car ils se basent sur le présupposé que la roche est une masse uniforme. Les savants s'accordent sur la nécessité de trouver d'autres méthodes pour appréhender les roches. Cette méthode passe par la mise en place d'une pratique d'observation et donc par l'usage d'un nouvel instrument destiné à cette fonction d'observation des roches, le microscope. Nous allons étudier à présent la manière dont le microscope est introduit dans les pratiques d'observation des roches.

²⁰⁴ Pierre L. CORDIER, *Mémoire sur les substances...*, *op.cit.*, p. 1.

²⁰⁵ Pierre L. CORDIER, *Mémoire sur les substances minérales dites en masses, qui entrent dans la composition des Roches Volcaniques de tous les âges*, Imprimerie de Mme V^e Courcier, 1815, Paris, p.4.

²⁰⁶ Pierre L. CORDIER, *Mémoire sur les substances...* *ibid.*

²⁰⁷ Ours-Pierre-Armand PETIT-DUFRENOY, « Examen chimique et microscopique de quelques cendres volcaniques », *Annales des Mines*, 3eme série, T. 12, 1837, p. 355.

2. Introduire le microscope pour étudier les roches

L'insertion du microscope par Fleuriau de Bellevue pour observer les roches révèle l'existence de minéraux microscopiques, contribuant à reconsidérer ces objets auparavant homogènes. Cordier, par l'intégration du microscope dans une méthode d'identification de son invention, favorise l'usage de l'instrument pour la détermination des roches et des éléments les constituant. Ces usages du microscope pour observer les roches, associés à la méthode de Cordier, contribuent à redéfinir les roches comme étant à présent des objets mécaniquement constitués de minéraux.

Fleuriau de Bellevue et l'observation des cristaux microscopiques des roches (1800)

Louis Benjamin Fleuriau de Bellevue (1761-1852) effectue ses études à l'Académie de Genève en Suisse et a, notamment, comme professeur de sciences naturelles Horace Benedict de Saussure (1740-1799). Ce dernier le met en contact avec le minéralogiste Déodat Dolomieu (1750-1801). Les deux hommes réalisent en 1787 un voyage naturaliste en Europe qui dure cinq ans. Le père de Fleuriau de Bellevue est également un ami de Charles Marie Dessalines d'Orbigny (1770-1856) qui contribue à l'introduction en 1806 de Fleuriau de Bellevue à l'*Académie des Sciences, Arts et Belles Lettres* de La Rochelle. Le savant travaille avec Nicolas de Saussure sur la dolomie, qu'il dédie à Dolomieu. Il échange également avec de nombreux contemporains comme l'anatomiste Georges Cuvier (1769-1832) ou l'explorateur Alexander Von Humboldt (1769-1859). D'après Christian Moreau²⁰⁸, il essaie sans succès de publier des articles entre 1786 et 1787. En 1796, c'est la tentative de publier un mémoire sur les spaths calcaires du pays d'Aunis qui le fait connaître de savants comme Romé de l'Isle ou encore Haüy.

En 1800, Fleuriau de Bellevue publie un mémoire qui s'intitule *Mémoire sur les cristaux microscopiques*. Il justifie l'intérêt de l'étude des petits cristaux par de nombreux arguments. En effet, les savants sont peu intéressés par l'étude des petits cristaux. Leur taille est un problème dans la mesure des angles et le goniomètre à branche ne peut mesurer des angles sur des objets de trop petites tailles. L'identification des caractères physiques et chimiques est également plus difficile sur de petits échantillons, d'autant que ces cristaux sont régulièrement agrégés à d'autres et que la séparation s'avère encore une difficulté à surmonter. Les savants préfèrent alors se tourner vers des cristaux de tailles un peu plus importantes.

²⁰⁸ Christian MOREAU, *Louis Benjamin Fleuriau de Bellevue, savant, physicien naturaliste, géologue et philanthrope rochelais (1761-1852)*, Les indes savantes, Paris, 2009, p. 62.

Ces éléments expliquent pourquoi Fleuriau de Bellevue développe un argumentaire en faveur de l'étude et de la prise en compte de ces petits cristaux.

L'un de ces arguments est que :

« [les cristaux] *de petites tailles sont vraisemblablement très nombreux et par conséquent il ne faut pas les négliger et envisager des moyens analytiques afin de les étudier au même titre que les autres et surtout en tenir compte dans toutes les études géologiques* »²⁰⁹.

Il ajoute alors :

« *Si l'on considère qu'ordinairement les substances les plus rares ne se montrent à l'état de cristal que sous un volume exigüe, et que dans cet état leurs molécules intégrantes (dépouillées de la plupart des corps étrangers qui partout ailleurs masquent les caractères) forment un tout qui présente [...] presque tous les signes caractéristiques de ces substances : on doit sentir alors combien il est important d'examiner les cristaux quelques petits qu'ils soient, si l'on veut découvrir l'existence d'un nouveau minéral* »²¹⁰.

Fleuriau de Bellevue tente de démontrer l'importance de l'étude des cristaux microscopiques. Leur grand nombre dans les roches les rend incontournables dans la détermination des roches. Même si leur petite taille cause des difficultés d'observation ou de manipulation, il est nécessaire pour Fleuriau de Bellevue d'intégrer les informations issues de ces cristaux microscopiques. De plus, des espèces minérales considérées auparavant comme rares ne le sont plus, car soudainement visibles grâce au microscope. Fleuriau de Bellevue ajoute que la petitesse de ces cristaux est intéressante car elle les rend plus purs et donc plus importants à étudier. Ainsi, Fleuriau de Bellevue martèle à de nombreuses reprises l'importance de ces observations, notamment pour démêler les corps agrégés. Les cristaux microscopiques sont alors distingués dans les masses qualifiées d'homogènes. Ces observations font découvrir de nouvelles substances auparavant confondues dans ces masses homogènes. Il y a donc un intérêt fort pour les sciences de la terre. L'auteur regrette le peu d'usage de ces observations, notamment en raison des progrès qu'elles auraient permis²¹¹.

Le mémoire de Fleuriau de Bellevue n'est pas uniquement construit autour d'un argumentaire visant à valoriser l'étude des petits cristaux. Il construit ce discours dans le but de proposer une méthode de recherches où l'observation microscopique est combinée à une analyse mécanique des objets. Il définit cette dernière comme une « *sorte d'anatomie des pierres* »²¹² non sans en cacher les difficultés²¹³. Cette méthode consiste tout d'abord à isoler les cristaux, puis à les examiner.

²⁰⁹ Louis B. FLEURIAU DE BELLEVUE, « Mémoire sur les cristaux microscopiques et en particulier sur la séméline, la mélilite, la pseudo-somnite et le selce-romano », *Journal de physique et de chimie et d'Histoire naturelle et des arts*, Tome 51, 1800, p.443.

²¹⁰ Louis B. FLEURIAU DE BELLEVUE, « Mémoire sur les cristaux microscopiques ... », *op.cit.*, p. 443-444

²¹¹ Louis B. FLEURIAU DE BELLEVUE, « Mémoire sur les cristaux microscopiques ... », *op.cit.*, p. 461

²¹² Louis B. FLEURIAU DE BELLEVUE, « Mémoire sur les cristaux microscopiques ... », *op.cit.*, p.446

²¹³ « *On présume bien sans doute que la description de ces petits corps, comme celle de tous ceux qui exigent le secours du microscope, ne peut être le plus souvent qu'imparfaite. On sait que leurs dimensions échappent à nos instruments et que la difficulté de les fixer de les examiner et de déterminer leur dureté leur pesanteur spécifique*

Encart 5 : Méthode utilisée par Fleuriau de Bellevue²¹⁴.

Première étape : Isoler les cristaux.

Isoler les cristaux se fait selon trois procédés d'après l'auteur :

- l'usage du feu du chalumeau.
- l'usage des acides.
- la demi-trituration suivi d'un lavage.

L'ensemble permet de séparer les objets afin de pouvoir faciliter l'examen.

Fleuriau de Bellevue considère que l'usage du chalumeau est assez efficace. Il propose également au lecteur de ne pas négliger la récolte d'échantillons aux pieds des roches. Ces derniers sont intéressants car ils proviennent de la roche et sont déjà en partie décomposés. Cela limite les manipulations.

Deuxième étape : manipuler les cristaux.

Afin d'examiner les cristaux, il est tout d'abord nécessaire d'effectuer un premier tri, puis ensuite de procéder à l'examen en lui-même, cristal par cristal.

On utilise un tube effilé ou une petite baguette en bois pointue, mouillée à l'extrémité pour pouvoir séparer les cristaux. Afin de retirer les cristaux intéressants, on pose une goutte de cire molle sur la pointe. Les cristaux y adhèrent et peuvent être retirés sans peine.

On peut également fixer le cristal à l'aide d'un ciment fort sur un bâton en verre ou en émail pour le conserver, faciliter sa manipulation, procéder à son identification ou bien encore le classer.

Fleuriau de Bellevue met en garde le lecteur à propos de la couleur de la cire. Selon les minéraux, il est difficile de distinguer l'objet de la cire et ils peuvent être alors perdus car devenus invisibles. Dans le cas où les minéraux sont ferreux, l'usage d'un barreau aimanté permet de les extraire facilement et d'en faire une observation à la loupe.

L'examen des cristaux se fait de manière individuelle. L'auteur mentionne l'usage d'une loupe²¹⁵. Cet instrument est semble-t-il utilisé pour trier les cristaux dans un premier temps, puis par la suite pour les identifier. Les diverses manipulations nécessaires à l'identification des caractères sont possibles grâce au bâton sur lequel sont fixés les cristaux. Par exemple, le bâton

et leurs caractères chimiques s'accroît de leur petitesse », d'après Louis B. FLEURIAU DE BELLEVUE, « Mémoire sur les cristaux microscopiques ... », *op.cit.*, p. 445.

²¹⁴ Louis B. FLEURIAU DE BELLEVUE, « Mémoire sur les cristaux microscopiques et en particulier sur la séméline, la mélilite, la pseudo-somnite et le selce-romano », *Journal de physique et de chimie et d'Histoire naturelle et des arts*, Tome 51, 1800, p. 447.

²¹⁵ Louis B. FLEURIAU DE BELLEVUE, « Mémoire sur les cristaux microscopiques ... », *op.cit.*, p. 446

est approché d'une source de lumière, frotté sur un autre minéral pour en évaluer la dureté ou bien soumis au chalumeau²¹⁶.

Fleuriau de Bellevue ne précise guère le rôle de la loupe, ou tout du moins, son usage reste flou. L'auteur ne la mentionne pas explicitement dans les étapes de triage ou d'identification. L'instrument serait utile pour chercher dans l'amas des morceaux de roches, les cristaux à identifier. Cependant, l'auteur ne précise pas si l'instrument est utilisé pour observer les caractères du cristal. Cette imprécision dans l'usage amène à se questionner sur le type d'instrument utilisé par le savant. En effet, Fleuriau de Bellevue mentionne dans le titre de son article le mot microscopique. Il reprend d'ailleurs ce qualificatif à de nombreuses reprises lorsqu'il parle des cristaux microscopiques des roches :

« Pendant longtemps les observations microscopiques des corps d'une forme régulière se sont bornées aux règnes végétal et animal »²¹⁷.

Pour autant, l'auteur ne mentionne qu'une fois le mot microscope, lorsqu'il évoque les travaux et les progrès que cet instrument a permis dans d'autres domaines de l'histoire naturelle. Le terme qu'il utilise et qui a été repris dans les propos précédents est celui de loupe. Or, à cette époque, les savants utilisent ce mot comme synonyme pour parler de microscope. Quel est donc l'instrument qu'utilise Fleuriau de Bellevue ?

Christian Moreau dans son livre sur Fleuriau de Bellevue n'apporte pas plus d'informations quant à la nature de l'instrument que le savant rochelais utilise. Cependant, il joint à son ouvrage une photographie d'un instrument qu'a utilisé le savant, il s'agit bien d'un microscope²¹⁸. Ainsi, la nature de l'instrument semble confirmée, Fleuriau de Bellevue parlerait bien de microscope et non d'une loupe. Mais l'identification de l'instrument utilisé n'éclaire pas davantage sur le rôle précis que lui confère le savant dans sa méthode.

De plus, l'identification des objets dans le cadre de sa méthode est individuelle. Les cristaux sont séparés de l'ensemble qu'ils forment et sont étudiés séparément. Le lien entre sa méthode et la méthode minéralogique est clairement visible, notamment par l'usage des caractères, déclinés en caractères physiques, chimiques et cristallographiques.

Encart 6 : Exemple de description de la séméline par Fleuriau de Bellevue dans son mémoire.

Fleuriau de Bellevue décrit la séméline selon trois types de caractères distincts :

1° Caractères physiques :

²¹⁶ Louis B. FLEURIAU DE BELLEVUE, « Mémoire sur les cristaux microscopiques et en particulier sur la séméline, la mélilite, la pseudo-somnite et le selce-romano », *Journal de physique et de chimie et d'Histoire naturelle et des arts*, Tome 51, 1800, p. 446

²¹⁷ Louis B. FLEURIAU DE BELLEVUE, « Mémoire sur les cristaux microscopiques ... », *op.cit.*, p.443

²¹⁸ Christian MOREAU, *Louis Benjamin Fleuriau de Bellevue, savant, physicien naturaliste, géologue et philanthrope rochelais (1761-1852)*, Les Indes savantes, Paris, 2009, planche 5 figure du bas.

Ils comprennent la couleur, l'éclat, la dureté, la transparence, la cassure, la pesanteur spécifique, la réfraction et l'électricité. Par exemple :

« Cette pierre est d'une belle couleur citrine, qui approche quelques fois de l'orange et du jaune de miel, le plus communément elle est jaune. [...] Sa dureté est cependant moindre que celle du verre ; elle est à-peu-près égale à celle de la chaux fluatée »²¹⁹.

2° Caractères géométriques :

Ils concernent la forme des cristaux et la mesure des angles : « La forme la plus simple que m'ont présentée les cristaux de séméline, m'a paru devoir se rapporter à un octaèdre rhomboïdal très-alongé et applati sur les côtés [...] »²²⁰. L'auteur précise également les cinq variétés qu'il est possible de rencontrer.

3° Caractères chimiques :

Ils sont révélés par des essais au chalumeau et aux acides : « Au feu du chalumeau, cette substance éprouve des effets très-remarquables ; fixée sur le verre, elle ne prend qu'un vernis sur les points les plus saillans ; ce vernis est noir. [...] Cette substance fond dans le borax sans effervescence. Les acides ne lui font éprouver aucun changement sensible »²²¹.

La méthode de Fleuriau de Bellevue combine la description géométrique des cristaux microscopiques contenus dans les roches avec les caractères physiques et chimiques de la roche dans son ensemble. Il fixe par exemple un cristal sur un bâtonnet et en mesure ses angles. Cette pratique n'est pas sans rappeler celle de Haüy pour mesurer les angles que forment les faces entre-elles et en déduire le système cristallin²²². Fleuriau de Bellevue est d'ailleurs en contact avec celui-ci à propos de ses recherches²²³, expliquant ainsi la présence de caractères géométriques. Fleuriau de Bellevue décline la méthode minéralogique à l'échelle de la roche, en mobilisant des caractères pour la roche et d'autres pour les cristaux microscopiques qui la composent. L'usage du microscope par l'accès à des éléments de plus petites tailles, permet la caractérisation d'éléments supplémentaires et ainsi d'en faire une description plus détaillée que les méthodes existantes.

Fleuriau de Bellevue conclut son mémoire ainsi :

« Il résulte de cet exemple qu'il seroit possible et nécessaire de caractériser avec plus de précision qu'on ne le fait ordinairement beaucoup de roches qu'on se contente d'indiquer sous

²¹⁹ Louis B. FLEURIAU DE BELLEVUE, « Mémoire sur les cristaux microscopiques et en particulier sur la séméline, la mélilite, la pseudo-somnite et le selce-romano », *Journal de physique et de chimie et d'Histoire naturelle et des arts*, Tome 51, 1800, p.449.

²²⁰ Louis B. FLEURIAU DE BELLEVUE, « Mémoire sur les cristaux microscopiques ... », *ibid.*

²²¹ Louis B. FLEURIAU DE BELLEVUE, « Mémoire sur les cristaux microscopiques ... », *op.cit.*, p.451

²²² René Just HAÜY, *Essai d'une théorie sur la structure des cristaux, appliquée à plusieurs genres de substances crystalissées*, Paris, 1784, p. 25.

²²³ Christian MOREAU, *Louis Benjamin Fleuriau de Bellevue, savant, physicien naturaliste, géologue et philanthrope rochelais (1761-1852)*, Les indes savantes, Paris, 2009, p. 62.

les désignations vagues de cornéennes, de Wacke, ou de basalte ; que ces désignations comprenant tantôt des agrégés, tantôt des mélanges terreux dans toutes sortes de combinaisons, l'on ne pourra classer ces roches qu'autant que du moins on observe séparément chaque partie de celles qui sont à l'état d'aggrégation cristalline »²²⁴.

L'auteur termine donc la démonstration de sa méthode par un autre faisceau d'arguments, qui répondent à certaines limites évoquées par les minéralogistes quant à la manière d'étudier les roches. Ainsi, Fleuriau de Bellevue insiste sur le fait qu'il est nécessaire de mieux caractériser les roches. Il ajoute que sa méthode est à même de répondre à ce besoin puisque grâce à la détermination des cristaux microscopiques, l'ensemble des « *désignations vagues* », c'est-à-dire des noms mal adaptés, serait éliminé. En dehors de cet apport vis à vis de la nomenclature, sa méthode contribue également selon lui à améliorer les classifications existantes. En effet, les « *parties* » des roches peuvent être identifiées et par conséquent la composition minéralogique peut être mieux connue, facilitant leur arrangement dans un tableau méthodique.

Cordier et la constitution d'une méthode microscopique (1815)

En 1815, Cordier publie des *Mémoire sur les substances minérales dites en masses* dans lequel il s'intéresse aux produits des volcans, à savoir les roches volcaniques. Il y propose une méthode microscopique applicable aux roches qui véhiculent un présupposé épistémologique fort à propos de la nature des roches. En effet, le savant avance sous forme d'hypothèse le fait que les roches sont mécaniquement composées de minéraux.

Pierre Louis-Antoine Cordier (1777-1861) entre en tant qu'élève à l'*Ecole des Mines* de Paris en 1795 et effectue de nombreux voyages dans diverses régions françaises. En 1797, il devient ingénieur surnuméraire et accompagne Déodat Dolomieu dans les Alpes, puis en Egypte où il est emprisonné. Libéré au bout de deux mois d'incarcération, il repart en France pour continuer ses études²²⁵. Il participe notamment en 1800 aux illustrations des planches de l'ouvrage de cristallographie de l'abbé Haüy. Cordier est nommé en 1801 Ingénieur des Mines et un an plus tard, il devient Inspecteur général pour le sud-ouest de la France²²⁶. Il continue tout au long de sa carrière à voyager en France mais aussi à l'étranger. Nommé correspondant de l'*Institut* en 1808, il occupe la chaire de géologie au *Muséum d'Histoire naturelle* en 1819. Il y occupe d'ailleurs les postes de secrétaire, puis de directeur à de nombreuses reprises comme par exemple en 1824-1835 et 1832-1833. En 1821, élu membre étranger de la *Geological Society of London*, il est nommé à la section de minéralogie de l'*Académie des sciences* le 8

²²⁴ Louis B. FLEURIAU DE BELLEVUE, *Mémoire sur les cristaux microscopiques et en particulier sur la séméline, la mélilite, la pseudo-somnite et le selce-romano*, *Journal de physique et de chimie et d'Histoire naturelle et des arts*, Tome 51, 1800, p. 461.

²²⁵ François ELLENBERGER, « Louis Cordier (1777-1861), initiateur de l'étude microscopique des laves : percée sans lendemain ou innovation décisive ? », *Earth Sciences History, Journal of the history of the earth sciences society*, Volume 3, n°1, 1984, p.44-53.

²²⁶ <http://www.annales.org/archives/x/cordier.html>

juillet 1822, à la place de Haüy. Cordier est également l'un des fondateurs de la *Société géologique de France* et son premier président élu en 1830. En disciple de Haüy, il est fortement intéressé par la minéralogie et refuse de la voir être réduite à la chimie minérale.

Comme nous l'avons vu précédemment, les pratiques adoptées pour étudier les roches posent problème, ce que ne manque pas de mentionner Cordier. En effet, il aborde particulièrement la question des pâtes de laves, dont la description n'est pas assez détaillée, ni prise en compte pour identifier la composition des roches²²⁷. Il est donc pour lui primordial de s'intéresser à ces pâtes et de questionner la nature des substances minérales qui les composent.

Cordier s'interroge :

« *Les pâtes volcaniques indéterminées sont-elles mécaniquement composées, et en cas de composition mécanique appréciable, quels sont les éléments minéralogiques composants ?* »²²⁸

Cette question rhétorique véhicule une des hypothèses de Cordier à propos des pâtes. Le savant suppose qu'elles sont composées de parties dissociables les unes des autres. Ces parties seraient des minéraux connus et par conséquent identifiables. Cependant, l'identification de ces parties pose problème car Cordier critique les pratiques d'identification existantes²²⁹ et ne peut par conséquent pas les utiliser. Le savant propose alors une autre méthode :

« *Après avoir inutilement mis en œuvre différens modes de calcination et différens agens chimiques, j'ai soumis ces substances au microscope et j'en ai essayé les particules au feu du chalumeau par la méthode de Saussure ; dès lors des résultats satisfaisans se sont présentés d'eux-mêmes* »²³⁰.

Cordier propose d'associer l'usage du microscope aux pratiques chimiques existantes pour identifier les minéraux, constituant alors une nouvelle méthode. Il base cette méthode sur les hypothèses qu'il formule à propos de la composition des pâtes volcaniques. Cordier suppose que les pâtes sont composées d'éléments qui peuvent être séparés mécaniquement. Deux possibilités sont alors envisageables. La première est que « [...] *le tissu est égal et continu, formé par l'agrégation la plus intime, de particules indiscernables au plus fort appareil microscopique* [...] »²³¹. Cela signifie que la masse est homogène et qu'aucun minéral n'est observable. La seconde consiste à dire que la pâte est formée de particules distinctes de nature identique ou non. L'auteur penche en faveur de la seconde et suppose que ces particules appartiennent à des minéraux connus, déjà présent dans les roches volcaniques. Ainsi, Cordier effectue une comparaison entre les caractères chimiques des poudres extraites des échantillons à étudier et ceux de poudres étalons de minéraux. Le tout à l'aide du microscope. Par d'exemple, il réduit en poudre de manière séparée huit minéraux le pyroxène, le feldspath, le péridot, le

²²⁷ Pierre L. CORDIER, *Mémoire sur les substances minérales dites en masses*, lu à l'Académie Royale des Sciences, 1815, Paris, p. 3-4

²²⁸ Pierre L. CORDIER, *Mémoire sur les substances ...*, *op.cit.*, p. 9

²²⁹ D'après Cordier, les analyses chimiques ne sont pas suffisamment précises pour ces objets, tout comme l'usage des caractères externes pour décrire les roches. Les caractères dit empiriques sont également trop imprécis pour obtenir de bons résultats afin d'identifier et classer correctement ces roches.

²³⁰ Pierre L. CORDIER, *Mémoire sur les substances ...*, *op.cit.*, p.9-10.

²³¹ Pierre L. CORDIER, *Mémoire sur les substances ...*, *op.cit.*, p. 12

fer titané, l'amphibole, le mica, l'amphigène et le fer oxydé oligiste²³². Ces poudres étalons ont une taille variable de 1/20^{ème} à 1/100^{ème} de millimètres. Il mesure leur dureté, les observe au microscope pour en décrire les caractères et cherche également leur fusibilité. Il fait d'ailleurs référence à Saussure et sa méthode au chalumeau. Les phénomènes de fusion sont par la suite observés au microscope. L'objectif est de connaître la constance des caractères de ces poudres de minéraux pour les reconnaître dans les échantillons étudiés.

Cordier évoque également les difficultés relatives à la conduite d'observations microscopiques. Il mentionne deux utilisateurs de microscope, Goeni à Naples et Saussure. Ce dernier l'utilise notamment pour observer les résultats de fusion, ce qui se retrouve dans la méthode de Cordier. « *Je ne sache pas qu'il ait été fait d'autres usages de l'instrument à la minéralogie* »²³³ termine Cordier à propos de l'usage du microscope pour étudier les roches ou les minéraux. Il n'y a ni mention dans cet ouvrage de Fleuriau de Bellevue, ni de l'intérêt d'observer les cristaux microscopiques. Il est possible que Cordier n'ait pas connaissance des travaux Fleuriau de Bellevue et ne mentionne donc pas dans son mémoire le savant²³⁴. Cordier se positionne alors comme un utilisateur novateur du microscope en minéralogie.

Encart 7 : Précisions techniques pour conduire des observations par Cordier.

Caractéristiques techniques de l'instrument :

Le microscope doit avoir un grossissement de 13 ou 20 diamètres. Les lentilles ne doivent pas être trop fortes, mais permettre d'obtenir un champ d'observation suffisant et une intensité lumineuse importante.

On peut ajouter un miroir pour augmenter l'intensité lumineuse dans le cas où elle serait trop faible.

Traiter les échantillons de roches :

On peut appliquer différents traitements aux roches selon leur dureté. Pour un échantillon dur, on doit détacher de très minces éclats. On les dépose ensuite sur un disque de verre qui sert de porte objet pour les observer.

On peut choisir d'observer les éclats entiers ou de leur faire subir un traitement, comme le concassage ou la réduction en poudre. Cette dernière peut être plus ou moins fine.

Si les roches sont tendres, on peut ajouter de l'eau pour délayer l'ensemble. Cette technique permet alors de classer les particules selon leurs grosseurs. Les roches peuvent

²³² Pierre L. CORDIER, *Mémoire sur les substances minérales dites en masses*, lu à l'Académie Royale des Sciences, 1815, Paris, p.13

²³³ Pierre Louis CORDIER, *Mémoire sur les substances ...*, *op.cit.*, p.10.

²³⁴ Il semblerait qu'en 1820 Cordier connaît Fleuriau de Bellevue, puisque ce dernier reçoit une lettre de Cordier. Mais rien n'indique qu'avant 1815, que les deux savants se connaissent. Christian MOREAU, *Louis Benjamin Fleuriau de Bellevue, savant, physicien naturaliste, géologue et philanthrope rochelais (1761-1852)*, Les indes savantes, Paris, 2009, p.301-302.

aussi subir une succession de traitements (techniques de lotion, de décantation et de dessiccation).

Cordier insiste particulièrement sur le fait d'observer les échantillons de roches sous tous leurs aspects²³⁵. Il exécute lui-même cette méthode sur un certain nombre d'échantillons comme par exemple les pâtes lithoïdes²³⁶. Ces diverses observations lui permettent de conclure que les pâtes qui étaient considérées comme homogènes ne le sont pas²³⁷. Ces dernières sont toutes composées de cristaux microscopiques, reconnaissables par leurs caractères. Il définit alors les pâtes comme un ensemble de cristaux mêlés à une pâte vitreuse, dont la proportion peut varier selon les types de roches²³⁸.

Cordier conclut à propos de sa méthode :

« Enfin, que si la Chimie et la Minéralogie ont été si longtemps muettes sur la véritable nature des substances dites en masse, qui constituent le fond de toutes les couches volcaniques, c'est l'une et l'autre, s'arrêtant à la simplicité apparente de ces substances, prenoient les caractères composés des différents mélanges pour des propriétés spécifiques essentielles ; on ne pouvoit résoudre la difficulté qu'en employant des procédés pour ainsi dire moyens entre les leurs, ceux de l'analyse mécanique »²³⁹.

Cordier dans cette citation n'envisage pas seulement une nouvelle approche de la description des roches dites « en masse » comme il les nomme. Il dénonce la manière dont les savants, qu'ils soient minéralogistes ou bien chimistes, décrivent ces roches. Ces derniers les étudient comme des masses uniformes, où ils décrivent leur composition apparente et par conséquent visible. Les résultats ainsi obtenus, soit par méthode minéralogique, soit par analyse chimique, sont considérés comme étant des propriétés essentielles de ces roches. Pour Cordier, ces savants restent superficiels et globalistes dans leur approche de ces objets. Il propose un nouveau programme de recherches, empruntant aux deux méthodes et y combinant l'usage du microscope : l'analyse mécanique. Ce programme tend à envisager les roches comme des entités composées qu'il convient de séparer mécaniquement et d'analyser partie par partie. Cette manière de décomposer provient des méthodes chimiques, tout comme l'analyse chimique de la composition de ces parties. Par ailleurs, cette méthode utilise également la méthode minéralogique par caractère afin d'identifier les minéraux constituant la roche.

²³⁵ Pierre L. CORDIER, *Mémoire sur les substances minérales dites en masses*, lu à l'Académie Royale des Sciences, 1815, Paris, p. 11

²³⁶ Pierre L. CORDIER, *Mémoire sur les substances ...*, *op.cit.*, p.17

²³⁷ « [...] que le tissu homogène est uniforme, soit compact, soit vitreux, soit terreux, dont ces substances semblent douées lorsqu'on les examine à la vue simple, n'est, à l'exception de certains cas déterminés extrêmement rares, qu'une fausse apparence » dans Pierre Louis CORDIER, *Mémoire sur les substances minérales dites en masses*, lu à l'Académie Royale des Sciences, 1815, Paris, p.76.

²³⁸ « Quelles sont presque toutes mécaniquement composés de cristaux microscopiques appartenant à un très petit nombre d'espèces minérales connues auxquelles se mêlent dans certains cas déterminés des matières vitreuses plus ou moins abondantes » dans Pierre L. CORDIER, *Mémoire sur les substances ...*, *op.cit.*, p.76.

²³⁹ Pierre L. CORDIER, *Mémoire sur les substances ...*, *op.cit.*, p.78.

L'usage du microscope y est intégré, permettant alors d'accéder aux parties non visibles de la roche et de les déterminer de la même manière.

3. Vers de nouvelles pratiques d'observations des roches (1820-1840)

La méthode de Cordier dite de l'analyse mécanique mobilise le microscope dans le but d'identifier les composants des roches par comparaison des caractères respectifs avec des poudres étalons. La question de la réception de sa méthode et son usage par d'autres que Cordier se pose alors, tout comme l'importance du microscope dans les pratiques d'observations à partir des années 1820.

Les pratiques savantes visant l'étude des roches au moyen du microscope sont en partie accessibles par les articles. Leurs origines sont assez diverses. Ces articles proviennent de journaux français comme les *Annales de chimie et de physique* ou bien les *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, sur une période qui va de 1820 à 1847. Certains savants, dont Nordenskiöld²⁴⁰ décrivent l'aspect extérieur des roches ou bien celui des cendres, comme Elie de Beaumont²⁴¹. Dufrénoy²⁴² ou Abish²⁴³ s'attachent aussi à décrire les minéraux visibles des roches qu'ils étudient. Vauquelin²⁴⁴, Elie de Beaumont²⁴⁵ ou encore Link²⁴⁶ utilisent également le microscope pour étudier les cendres ou les roches. L'instrument est d'ailleurs régulièrement mentionné par les savants comme le fait Quatrefages :

« En examinant un fragment préparé comme nous venons de le dire, avec la loupe ou au mieux avec un microscope donnant un grossissement de 30 à 35 diamètres [...] »²⁴⁷.

²⁴⁰Nils Gustaf NORDENSKIÖLD, « Description minéralogique des aérolithes qui tombèrent près de Wiborg, en Finlande, le 13 décembre 1822 », *Annales de chimie et de physique*, Tome 25, 1824, p. 78-80.

²⁴¹ Léonce ELIE DE BEAUMONT, « Note sur la composition des cendres du volcan de Cosiguina », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 5, Juillet-Décembre 1837, 1837, p. 76-77.

²⁴² Armand DUFRENOY, « Examen chimique et microscopique de quelques cendres volcaniques », *Annales des Mines*, 3eme série, Tome 12, 1837, p. 355-372.

²⁴³ Herman ABISCH, « Recherches sur la nature du feldspath », *Annales des Mines*, Série 3, Volume 19, 1841, p. 619-650.

²⁴⁴ Louis-Nicolas VAUQUELIN, « Analyse des cendres du Vésuve, tombée le 22 octobre 1822 sur la terrasse du Consulat général de France à Naples et envoyées au muséum par Son Excellence le Ministre des Affaires étrangères », *Annales de chimie et de physique*, Tome 25, 1824, p. 72.

²⁴⁵ Léonce ELIE DE BEAUMONT, « Note sur la composition des cendres ... », *op.cit.* 1837, p. 76.

²⁴⁶ LINK, « Sur l'origine de la Houille et des lignites d'après l'observation microscopique », *Annales des Mines*, Série 3, Tome 17, 1840, p. 573.

²⁴⁷ Armand de QUATREFAGES, « Sur un nouveau mode de décrépitation et sur les pierres qui produisent ce phénomène (pierres fulminantes de Dourgues) », *Annales des mines*, Série 3, Tome 19, 1841, p. 605.

Dufrénoy précise dans son article la manière dont le microscope est utilisé²⁴⁸. Elie de Beaumont fait de même :

« Cette détermination exigeait des essais chimiques et un examen fait avec un microscope d'un fort grossissement. M. Dufrénoy a bien voulu s'en charger [...] »²⁴⁹.

Le grossissement utilisé par Dufrénoy est de de x200 voir x350 et permet d'observer les clivages²⁵⁰. De même, Daubré soumet du minerai de Bienwald au microscope²⁵¹ et Delesse l'utilise lorsque la texture cristalline des roches n'est pas visible dans le but d'identifier la nature des minéraux²⁵².

L'observation des échantillons se fait à l'œil nu mais également à l'aide du microscope. L'instrument permet de visualiser certains caractères, le plus souvent chimiques ou bien de séparer les constituants, comme le dit Dufrénoy :

« L'isolement de chacune de leurs parties (sables fins rejetés par les volcans) permet de faire subir à ces sables des opérations successives qui offrent l'avantage de fractionner les analyses, et si on le soumet alternativement aux réactions chimiques et à l'examen microscopique, on parvient souvent à séparer la plupart des éléments qui les composent »²⁵³.

Dans cet extrait Dufrénoy nous livre une manière de procéder des minéralogistes de l'époque. Il s'agit d'isoler les différents constituants des sables rejetés par les volcans pour ensuite à l'aide d'essais en déterminer les caractères distinctifs et par conséquent leur nature. Le microscope est utilisé dans le but de séparer les constituants après qu'ils aient subi les réactions chimiques.

Les roches étudiées par les savants sont réduites en poudre au préalable ou bien étudiées sous forme de cendre. L'état de poudre qu'ont les cendres facilite les observations et évite une étape parfois fastidieuse de réduire l'échantillon en poudre pour l'observer. Elie de Beaumont par exemple étudie les cendres tandis que François C. Sauvage réduit en poudre les roches d'un terrain de transition²⁵⁴ qu'il étudie.

²⁴⁸ Armand DUFRENOY, « Nature minéralogique et composition chimique des cendres lancées par deux volcans de l'Amérique tropicale », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 6, Janvier-Juin 1838, 1838, p. 175.

²⁴⁹ Léonce ELIE DE BEAUMONT, « Remarques comparatives sur les cendres de l'Etna et sur celles du volcan de la Guadeloupe » *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 4, Janvier-Juin 1837, 1837, p. 746.

²⁵⁰ « Aptitude pour un minéral ou pour une roche à se fendre facilement suivant une famille de plans parallèles bien définis » définition extrait Alain FOUCAULT et Jean-François RAOULT, *Dictionnaire de Géologie*, 6^{ème} édition, collection Universciences, édition Dunod, Liège, 2005, p.75.

²⁵¹ Gabriel A. DAUBREE, « Recherche sur la formation du minerai de fer des marais et des lacs », *Annales des Mines*, Série 4 Volume 10, 1846, p.50.

²⁵² Achille DELESSE, « Mémoire sur la constitution minéralogique et chimique des roches des Vosges », *Annales des Mines*, Série 4, Volume 12, 1847, p. 198.

²⁵³ Armand DUFRENOY, « Examen chimique et microscopique de quelques cendres volcaniques », *Annales des Mines*, Série 3, Tome 12, 1837, p. 356.

²⁵⁴ François Clément SAUVAGE, « Recherche sur la composition des roches du terrain de transition », *Annales des Mines*, Série 4, Volume 7, 1845, p. 411-452 et Appendices et notes p. 452-462.

Réduire en poudre les roches n'est qu'une première étape dans le processus de description. Les caractères propres aux échantillons sont par la suite dévoilés à l'aide d'essais chimiques²⁵⁵ ou encore au chalumeau²⁵⁶. Les caractères chimiques ne sont pas les seuls à être mobilisés, ils sont combinés aux caractères physiques²⁵⁷. L'utilisation du microscope s'insère dans les méthodes d'identification des caractères chimiques uniquement, mais n'efface pas la détermination des caractères physiques. Le microscope vient compléter le panel de méthodes d'identification des minéraux et des roches déjà existantes. D'ailleurs, les deux exemples ci-après illustrent cette utilisation conjointe du microscope et ces méthodes de détermination des caractères.

Elie de Beaumont²⁵⁸ souhaite faire un examen comparatif des cendres du volcan de la Guadeloupe et de l'Etna. Sa manière de procéder consiste à décrire la couleur générale de la cendre, puis il effectue un examen au microscope et décrit les grains. Il identifie parfois ceux-ci. Le savant utilise un barreau aimanté et effectue aussi des essais au chalumeau. L'usage du microscope est assez souvent mentionné.

Dans ce second exemple, Sauvage étudie un Schiste gris verdâtre de Deville²⁵⁹. Il décrit alors la couleur, la division en feuillets, la présence de petits cristaux. Il précise aussi la forme des cristaux, l'orientation des couches et leurs épaisseurs. Le savant relève la densité. Ensuite, il réduit en poudre l'échantillon. Le minéralogiste utilise le barreau aimanté et extrait des petits cristaux de fer oxydulé qu'il observe au microscope et les décrit. Il effectue ensuite des tests à l'acide, au chalumeau et précise alors la composition du schiste.

Delesse²⁶⁰ fait également référence à la méthode de Cordier et de Berthier : « *Quand les cristaux étaient distincts, j'ai séparé successivement ceux des minéraux qui entraient dans la*

²⁵⁵ Elie de Beaumont à l'aide de Dufrenoy soumet des cendres aux essais au chalumeau et aux acides, dans Léonce ELIE DE BEAUMONT, « Note sur la composition des cendres du volcan de Cosiguina » *Comptes-rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences*, Tome 5, Juillet-Décembre 1837, 1837, p. 76. C'est une pratique régulière pour eux d'ailleurs comme dans par exemple, Léonce ELIE DE BEAUMONT, « Remarques comparatives sur les cendres de l'Etna et sur celles du volcan de la Guadeloupe » *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 4, Janvier-Juin 1837, 1837, p. 743-746, Armand DUFRENOY, « Nature minéralogique et composition chimique des cendres lancées par deux volcans de l'Amérique tropicale », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 6, Janvier-Juin 1838, 1838, p. 174-78 ou encore Armand DUFRENOY, « Examen chimique et microscopique de quelques cendres volcaniques », *Annales des Mines*, Série 3, Tome 12, 1837, p. 355-372.

²⁵⁶ Vauquelin soumet par exemple les cendres qu'il observe au chalumeau ainsi qu'aux acides dans Nicolas VAUQUELIN, « Analyse des cendres du Vésuve, tombée le 22 octobre 1822 sur la terrasse du Consulat général de France à Naples et envoyées au muséum par Son Excellence le Ministre des Affaires étrangères », *Annales de chimie et de physique*, Tome 25, 1824, p. 73. Nordenskiöld utilise le chalumeau pour les aérolithes, dans Nils Gustaf NORDENSKIÖLD, « Description minéralogique des aérolithes qui tombèrent près de Wiborg, en Finlande, le 13 décembre 1822 », *Annales de chimie et de physique*, Tome 25, 1824, p. 78. Delesse observe les propriétés au chalumeau dans Achille DELESSE, « Mémoire sur la constitution minéralogique et chimique des roches des Vosges », *Annales des Mines*, Série 4, Volume 12, 1847, p. 198.

²⁵⁷ Nordenskiöld par exemple décrit l'aspect extérieur, la couleur, la transparence ainsi que d'autres caractères dans Nils Gustaf NORDENSKIÖLD, « Description minéralogique des aérolithes... », *op.cit.*, p. 78. Elie de Beaumont comme Dufrenoy décrit la couleur et la finesse des cendres. Il les examine au microscope et décrit les grains qui les composent, les anneaux colorés qui sont observables. Il utilise également un barreau aimanté, dans Léonce ELIE DE BEAUMONT, « Note sur la composition des cendres... », *op.cit.*, p. 76.

²⁵⁸ Léonce ELIE DE BEAUMONT, « Remarques comparatives sur les cendres... », *op.cit.*, p. 743-746.

²⁵⁹ François Clément SAUVAGE, « Recherche sur la composition des roches du terrain de transition », *Annales des Mines*, Série 4, Volume 7, 1845, p. 411-452 et Appendices et notes p. 452-462.

²⁶⁰ Achille DELESSE, « Mémoire sur la constitution minéralogique... », *op.cit.*, p. 195-306.

composition de la roche en la brisant et en faisant, avec beaucoup de soin, un triage mécanique à la loupe et au besoin, à l'aide de l'augette [...] »²⁶¹.

Ces pratiques à propos de l'identification des roches ont pour but de connaître leur nature. D'ailleurs Elie de Beaumont le rappelle dans son article²⁶². D'autres auteurs, à l'instar de Cacarie, précisent que « *L'examen que nous venons de faire nous donne déjà des indications sur la nature de ces roches [...] »²⁶³. L'examen que mentionne l'auteur fait référence à l'ensemble des manipulations évoquées précédemment comme par exemple la détermination de la densité ou des essais aux acides. Nordenskiöld conclut que « *les aérolithes ne doivent pas être considérées comme des masses homogènes, mais bien comme des roches composées »²⁶⁴. Cette remarque permet de comprendre que la question de l'homogénéité des roches composées reste d'actualité.**

Le microscope est régulièrement utilisé pour observer les résultats de ces essais. La combinaison du microscope avec l'observation de ces caractères contribue à mieux appréhender les échantillons et à faciliter la caractérisation des petits éléments autrefois inaccessibles par les sens classiques des savants. Cependant, aucun savant ne mentionne Cordier ou encore sa méthode, bien que des convergences s'observent, notamment dans l'usage systématique des poudres. L'utilisation du microscope est également similaire à ce que préconise Cordier où l'instrument sert à la fois à trier, observer et décrire les résultats des essais. Il est possible que cette absence soit uniquement due au fait que la méthode présentée par Cordier en 1815 soit rapidement reprise par les minéralogistes de telle sorte que son origine ne soit plus du tout mentionnée²⁶⁵.

II. Les végétaux fossiles : accéder aux caractères internes

Les végétaux fossiles, tout comme les végétaux vivants sont identifiés et classés selon des caractères. Cependant, décrire des fossiles n'est pas aussi facile puisque ces derniers ne sont parfois pas complets, ou déformés. Ils sont également proportionnellement moins nombreux que les végétaux vivants, rendant les comparaisons entre différents spécimens parfois délicates.

²⁶¹ Achille DELESSE, « Mémoire sur la constitution minéralogique et chimique des roches des Vosges », *Annales des Mines*, Série 4, Volume 12, 1847, p. 197.

²⁶² Léonce ELIE DE BEAUMONT, « Note sur la composition des cendres du volcan de Cosiguina », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 5, Juillet-Décembre 1837, 1837, p. 77.

²⁶³ CACARIE « Analyse microscopique et chimique de roches recueillies dans le département des Deux-Sèvres », *Annales des mines*, Série 4, T. 4, 1843, p. 161.

²⁶⁴ Nils Gustaf NORDENSKIÖLD, « Description minéralogique des aérolithes qui tombèrent près de Wiborg, en Finlande, le 13 décembre 1822 », *Annales de chimie et de physique*, Tome 25, 1824, p. 79.

²⁶⁵ François ELLENBERGER, « Louis Cordier (1777-1861), initiateur de l'étude microscopique des laves : percée sans lendemain ou innovation décisive? », *Earth Sciences history, Journal of the history of the earth sciences society*, Volume 3, n°1, 1984, p.44

De manière similaire aux roches, les savants tachent d'appliquer aux végétaux fossiles les caractères discriminants. Ceux-ci proviennent des végétaux vivants, mais ce n'est pas sans poser problème. Comment alors identifier de manière satisfaisante les végétaux fossiles ? Quels caractères mettre à jour et par quel moyen ?

1. Etudier les végétaux fossiles par les caractères extérieurs

L'identification des végétaux fossiles s'effectue, faute de méthode efficace permettant l'accès à d'autres caractères, par l'intermédiaire des caractères extérieurs.

Adolphe Théodore Brongniart (1801-1876) est le fils du savant Alexandre Brongniart mentionné à plusieurs reprises dans les chapitres précédents ; il s'attache à étudier les végétaux fossiles. En 1822, Ad. Brongniart publie un mémoire sur la classification et la distribution des plantes, dans la lignée de ceux de Kaspar Maria von Sternberg (1761-1838)²⁶⁶. Six ans plus tard, il publie *Podrome*. Il succède à Desfontaines comme professeur de botanique au *Muséum d'Histoire Naturelle* en 1833. Un an plus tard, il est élu membre à l'*Académie des sciences*. Ad. Brongniart publie de nombreux articles ou mémoires entre 1822 et 1840²⁶⁷, dont *Histoire des végétaux fossiles* en 1837. L'ouvrage est le fruit de près de 10 ans de recherche et de collaborations avec de nombreux savants²⁶⁸. Le savant insiste d'ailleurs sur la question de la classification des végétaux fossiles et de la méthode à adopter :

« Par cette méthode nous aurons l'avantage de rapprocher autant que possible la classification des végétaux fossiles de celle des végétaux vivants, et par les détails de la structure des plantes vivantes que nous joindrons à l'histoire de chaque famille, on pourra juger facilement de l'analogie plus ou moins intime qui existe entre les êtres des deux époques »²⁶⁹.

La méthode qu'utilise Brongniart, de même que von Sternberg consiste à classer les fossiles en procédant par analogie avec des végétaux vivants. Par exemple, Brongniart s'attache à identifier des caractères, comme certains aspects de la structure des plantes, pour essayer de les retrouver chez les végétaux fossiles et les classer en conséquence. Il s'agit alors de calquer la classification des végétaux fossiles sur celle des végétaux vivants. Cependant, tous les caractères utilisés pour construire les classifications du règne végétal ne peuvent s'appliquer aux végétaux fossiles, qui ne les présentent pas. Par exemple, pour Brongniart, le caractère le

²⁶⁶ Théologien, Sternberg travaille sur les végétaux fossiles. Il participe notamment à la création du Musée national de Bohême à Prague.

²⁶⁷ Notamment dans les *Annales des sciences naturelles, Mémoires du Muséum d'Histoire Naturelle* ainsi que dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*.

²⁶⁸ Brongniart y remercie notamment Brochant, Cordier, Lefroy, Beudant, Woltz, de Bonnard, C. Prevost, Elie de Beaumont, Fleuriau de Bellevue, d'Orbigny, Soret, Lecoq ou encore Buckland, Jameson, Sedgwick, Léopold de Buch. Préface, p.ix-xij

²⁶⁹ Adolphe BRONGNIART, *Histoire des végétaux fossiles ou Recherches botaniques et géologiques sur les végétaux renfermés dans les diverses couches du globe*, Tome 1, G. Dufour et Ed. D'Ocagne, Libraires-Editeurs, Paris, 1828, p.16.

plus important est celui de l'organisation interne. Or, il n'est pas toujours visible pour les végétaux fossiles. Les savants doivent alors se rabattre vers d'autres caractères, comme la forme extérieure des organes, l'insertion des feuilles ou la disposition des nervures.

Pour autant, l'identification des caractères n'est pas si évidente dans le cas des végétaux fossiles puisqu'il arrive que les échantillons soient transformés. Par exemple, les couches géologiques peuvent subir des modifications comme des plissements ou des étirements. Les fossiles contenus dans ces couches sont aussi tordus. Ils endurent parfois des pressions dans différentes directions, des étirements ou des compressions qui modifient leur aspect. Par ailleurs, les organismes vivants à l'origine des fossiles sont le plus souvent sous la forme d'empreinte ou de moulage dans les couches géologiques qui les ont recouverts. Les savants doivent alors s'interroger sur les parties qu'ils étudient : s'agit-il d'une empreinte de la forme extérieure d'un fossile ? De sa contre empreinte ? Ou bien du fossile en entier ? Les caractères pour décrire l'échantillon sont alors distincts selon les parties anatomiques de la plante et le savant face à un fossile doit être particulièrement vigilant afin d'éviter toute mauvaise interprétation. Les échantillons peuvent aussi être parcellaires et donc de fait réduire le nombre de caractères observables ou bien encore être tout simplement en mauvais état.

Ces difficultés évoquées participent au manque d'études sur les végétaux fossiles dans la première moitié du XIX^e siècle. Brongniart dénonce le manque d'attrait des savants ainsi que l'absence de collections en anatomie comparée végétale²⁷⁰. Il est pourtant fait mention dans le *Bulletin de la Société géologique de France* de 1831 d'une section à propos des végétaux fossiles, témoin de l'existence de recherches sur ce sujet. Par exemple, les travaux de Brongniart y sont présentés ainsi que la seconde édition de la *Flore du monde primitif* de Sternberg et l'ouvrage de John Lindley (1799-1865) et William Hutton (1797-1860), *Fossil flora of Great Britain*. En effet, les deux savants s'associent entre 1831 et 1837 pour produire un ouvrage en trois volumes : *Fossil flora of Great Britain* qui traite des végétaux fossiles. Leur approche ne diffère pas de prime abord de celle de Brongniart, à qui ils font régulièrement référence²⁷¹. Ils mentionnent également les travaux de Sternberg sur la page de garde du volume 1 de 1831-1833. Les caractères mentionnés pour l'identification sont par exemple ceux de la fructification, des branches et leur insertion dans le tronc mais aussi les feuilles et leurs formes. Notons que les caractères internes des végétaux sont privilégiés pour l'identification car plus discriminants que les autres. Ces caractères ne sont pas immédiatement accessibles en ce qui concerne les végétaux fossiles et il est compliqué d'y avoir accès. Les savants se contentent alors des caractères extérieurs.

Les deux auteurs évoquent également des difficultés propres à l'étude des végétaux fossiles, notamment les déformations ou les séparations des parties d'un même objet. Ils précisent que la méthode appliquée en zoologie, faisant référence à l'anatomie comparée de Cordier, est

²⁷⁰ Adolphe BRONGNIART, « Observations sur quelques Végétaux fossiles du Terrain houiller, et sur leurs rapports avec les Végétaux vivans », *Annales des sciences naturelles*, Tome 4, 1825, p.23-33.

²⁷¹ John LINDLEY et William HUTTON, *The fossil flora of Great Britain; or Figures and descriptions of the vegetable remains in a fossil state in this country*, volume 1, James Ridgway, Londres, 1831-33, p. VIII, p.4, p.20, p.40, et p.108.

difficilement reportable à la botanique, car un élément isolé en botanique ne permet pas de déduire l'origine de l'objet.

Le discours de Lindley et Hutton sur l'étude des végétaux fossiles est similaire à celui de Brongniart, notamment sur la hiérarchisation des caractères et les difficultés d'observation. A la différence de Brongniart, Lindley et Hutton utilisent le microscope pour observer les végétaux fossiles, préalablement découpés. Par exemple, les auteurs observent les fossiles en sections longitudinales²⁷². Les échantillons peuvent encore être « *découpés et examinés sous microscope*²⁷³ » Ils mentionnent d'ailleurs les travaux d'un autre savant, Henry Witham. Nous reviendrons dans la prochaine partie sur l'importance de Witham dans l'étude microscopique des végétaux fossiles.

Hutton et Lindley contribuent à développer des recherches dans la lignée des travaux allemands de Sternberg et français de Brongniart à propos de l'identification et de la classification des végétaux fossiles. Mais ils s'en distinguent par la méthode utilisée, à savoir l'insertion du microscope et des sections fines. Les objets observés au microscope peuvent l'être de deux manières différentes, en lumière réfléchi ou en lumière réfractée. En effet, il existe deux manières d'observer des échantillons à l'aide du microscope. La première est dite par réflexion tandis que la seconde est dite par réfraction.

Pour le premier type d'observation, la surface de l'échantillon à observer est polie. La lumière est réfléchi sur la surface lisse et permet à l'observateur de visualiser la surface de l'échantillon. Dans le second cas, l'échantillon est affiné de telle sorte qu'il soit transparent. La lumière que perçoit l'observateur traverse l'échantillon (voir figures ci-dessous).

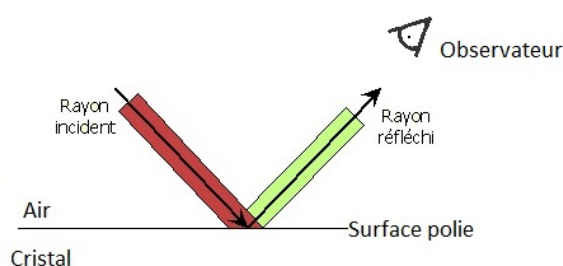


Figure 19: Schéma de la réflexion d'un rayon de lumière.

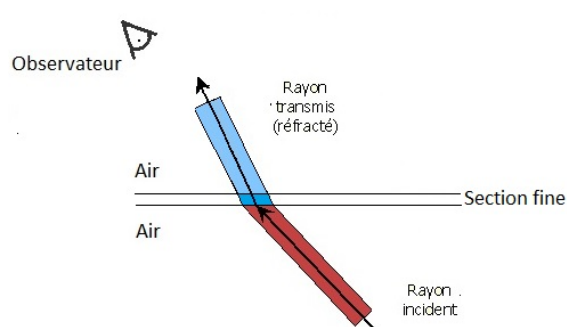


Figure 20: Schéma représentant la réfraction de la lumière.

²⁷²John LINDLEY et William HUTTON, *The fossil flora of Great Britain; or Figures and descriptions of the vegetable remains in a fossil state in this country*, volume 1, James Ridgway, Londres, 1831-33, p.11

²⁷³John LINDLEY et William HUTTON, *The fossil flora of Great Britain...*, *op.cit.*, p.160

L'application de l'observation en lumière réfléchie nécessite de modifier l'objet afin qu'il soit transparent et ce type d'observation est limité par la technique nécessaire pour produire ces sections fines. En effet, d'après un commentaire dans le *The Edimburg new philosophical journal* de 1831²⁷⁴, il existe des techniques permettant de produire des sections fines de végétaux fossiles. Les sections fines sont des objets affinés jusqu'à être transparents, enchâssés entre deux lames de verre. Elles sont cependant complexes à produire. En effet, les étapes de préparation sont fastidieuses et pas encore au point avant les années 1830. Les processus de découpe et de polissage des échantillons génèrent des imperfections qui nuisent à la qualité des observations. Elles demandent une habileté et un apprentissage importants pour les maîtriser. De plus, déléguer la fabrication à un artisan est très coûteux²⁷⁵.

Les difficultés de réalisation, le coût important et les observations qui apportent peu d'éléments supplémentaires en font des objets peu utilisés. Or, les sections fines sont l'unique accès à la structure interne des végétaux fossiles. Par conséquent, comme le mentionnent les savants de cette époque, les recherches ayant trait à la structure interne sont peu développées avant les années 1830.

2. Observer par transparence l'intérieur des fossiles

Les caractères utilisés pour la description des végétaux fossiles ne sont pas satisfaisants pour les savants. Accéder aux structures internes des objets permettrait une détermination plus précise. Cependant, les techniques de taille des sections fines combinées à celles d'observation au microscope ne sont jusque-là pas assez performantes pour le permettre. Sur ce constat, la publication par Henry Witham (1779-1844) d'un ouvrage sur les végétaux fossiles observés au microscope en sections fines a un fort impact sur les pratiques d'observation. William Nicol (1770-1851) participe également à cet ouvrage en fournissant des échantillons et en autorisant la publication de sa technique de fabrication des sections fines. Cette publication amène alors à se questionner sur les techniques mobilisées pour produire les sections fines, sur la manière dont le microscope est utilisé dans ses observations et sur la constitution d'une méthode d'observation.

²⁷⁴ Note de bas de page extraite de William NICOL, « Observations on the fossil Trees of Van Diemmen's Land », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Edinburg, October 1830 to April 1831, Vol. X, 1831, p. 361.

²⁷⁵ « [...] malheureusement les frais pour scier et polir des échantillons arrêteront bien des botanistes » extrait de Ami BOUE, « Résumé des progrès de la Géologie en 1831 », *Bulletin de la Société Géologique de France*, Tome 2, années 1831-1832, 1832, p.196.

Comment préparer des sections fines

Nous avons indiqué précédemment qu'il existait des techniques de fabrication de sections fines, dont la préparation était fastidieuse et les résultats d'observations obtenus peu satisfaisants. Pour autant, l'application de cette technique aux observations de végétaux fossiles est intéressante puisqu'elle permet d'accéder aux caractères internes si précieux pour l'identification. L'amélioration de la technique de fabrication est due au travail de William Nicol, dont une illustration du travail et de son procédé sont publiés dans le livre de Henry Witham, *Observation on fossil vegetables*²⁷⁶.

Henry Witham (1779-1844) est membre de nombreuses sociétés savantes, dont la *Royal Society of Edinburgh* et la *Wernerian Natural History Society*. C'est un savant qui s'intéresse particulièrement aux végétaux fossiles comme en témoigne sa première conférence en 1829 devant la *Wernerian Natural History Society*²⁷⁷. Publiée en 1831, son *Observation on fossil vegetables*²⁷⁸, sera rééditée en 1833 sous le titre de *The internal structure of fossil Vegetables*²⁷⁹.

William Nicol, quant à lui, est l'assistant du conférencier Henry Moyes (c1750-1807) dès ses 15 ans. Nicol le suit dans ses circuits de conférences scientifiques jusqu'à sa mort. Par la suite, il reprend le même circuit de conférences jusqu'en 1830. Nicol s'installe à Edimbourg où il travaille sur de nombreux sujets touchant principalement aux domaines de la géologie et de la paléobotanique. Ami du professeur Robert Jameson (1774-1854), il devient membre de la *Edinburgh-based Society of Arts* à partir de 1826 et est élu à la *Royal Society of Edinburgh* en 1838. Il présente certains de ses travaux devant la *Wernerian Natural History Society*.

Nicol est régulièrement mentionné²⁸⁰ et remercié par Witham dans *Observation on fossil vegetables*. En effet, Nicol, à la demande de Witham, a préparé certaines des sections fines présentées dans l'ouvrage. D'autres échantillons proviennent de fossiles que Nicol a récoltés en 1814 et 1815²⁸¹, pour ensuite les transformer. L'ensemble témoigne, si ce n'est de leur collaboration étroite²⁸², du moins de l'importance qu'a joué Nicol dans la constitution de l'ouvrage.

Le détail du procédé de fabrication des sections fines de végétaux fossiles est expliqué par Witham à la fin de son ouvrage. Il a l'autorisation de Nicol pour publier ce procédé. L'auteur distingue deux étapes dont la première réside dans la préparation et l'utilisation du baume du

²⁷⁶ Henry Thomas WITHAM, *Observation on fossil vegetables accompanied by representations of their internal structure, as seen through the microscope*, Editeur Neill & Co, Edimbourg, 1831, 48 pages et planches.

²⁷⁷ « On the Vegetation of the first period of an Ancient world », lu le 5 décembre 1829. D'après Albert G. LONG, Henry Thomas WITHAM, dans C.C. GILLISPIE ed., *Dictionary of Scientific Biography*, Charles Scribner's Sons, New York, Vol. XIV, 1976, p.462-463.

²⁷⁸ Henry T. WITHAM, *Observation on fossil ...*, *op.cit.*

²⁷⁹ Henry T. WITHAM, *The internal structure of Fossil vegetable found in the Carboniferous and oolitic deposits of Great Britain described and illustrated*, Adam & Charles Black, Edimbourg, 1833, 149 pages avec planches.

²⁸⁰ Nicol est cité six fois dans l'ouvrage et Witham lui adresse une page de remerciement en début d'ouvrage.

²⁸¹ Henry T. WITHAM, *Observation on fossil... op.cit.*, p. 36 et p. 38

²⁸² Witham et Nicol sont assez proches, partageant une passion commune pour les coquillages d'après Alison D. MORRISON-LOW, « William Nicol, FRSE c, 1771-1851, Lecturer, scientist and collector », *Edinburgh Portraits, Book of the Old Edinburgh Club*, New series, Volume 2, 1992, p. 128.

Canada²⁸³. C'est une résine transparente utilisée pour coller les spécimens sur leur support en verre. Son usage nécessite une succession d'étapes de préparation, décrites avec une grande précision.

Encart 8 : Préparation et utilisation du baume du Canada d'après l'ouvrage de H. Witham²⁸⁴.

Witham présente l'utilité du baume du Canada, qui sert à coller la première surface polie de l'échantillon sur une surface plane, ou du verre. Mais le baume doit être préparé avant d'être utilisé ainsi.

L'étape de concentration :

On applique une fine couche de résine à la surface de l'échantillon et du verre. On pose les deux éléments sur une plaque métallique, chauffée délicatement pour concentrer le baume. On le chauffe précautionneusement pour faire évaporer les huiles essentielles. Il acquiert ainsi ses propriétés adhésives et transparentes.

Attention à ne pas trop faire chauffer le baume et de ne jamais atteindre le point d'ébullition pour éviter la formation de bulles, difficiles à éliminer par la suite. La présence de bulles gêne l'observation. Mais les bulles sont autant de points où les deux surfaces collées ne sont pas en contact. Ce sont alors des zones de fragilité susceptible de faciliter le décollement de la préparation.

L'étape de collage :

Une fois le baume suffisamment concentré, on colle ensemble les deux morceaux recouverts de baume. On applique une forte pression et on fait glisser les deux éléments l'un sur l'autre pour retirer l'excédent de baume et l'air emprisonné.

Lorsque le baume est sec, on retire l'excédent en grattant avec une lame. La consistance observée à ce moment est une indication de la réussite ou non de l'étape de concentration.

La seconde partie du procédé de fabrication consiste en la production de sections fines de végétaux fossiles. Witham précise d'ailleurs qu'il tient la description du procédé de Nicol. La fabrication consiste alors à poncer l'échantillon sur différents supports jusqu'à ce qu'il soit extrêmement fin pour le coller sur son support définitif.

²⁸³ Le baume du Canada est une térébenthine issue de la résine d'un sapin, le baumier du Canada (*Abies balsamea*). La résine est constituée d'un mélange d'huiles essentielles et de térébenthine qui intéresse particulièrement les savants pour ses propriétés optiques et collantes.

²⁸⁴ Henry T. WITHAM, *Observation on fossil vegetables accompanied by representations of their internal structure, as seen through the microscope*, Editeur Neill & Co, Edimbourg, 1831, p. 46-47

Encart 9 : Préparation d'une section fine de bois fossile d'après l'ouvrage de H. Witham²⁸⁵.

La découpe :

On choisit le spécimen à transformer en section fine. On extrait un échantillon perpendiculairement à la longueur des fibres du bois²⁸⁶.

Le ponçage :

On fixe ce fin éclat sur un morceau de bois à l'aide d'un ciment utilisé par les lapidaires. Cela facilite les manipulations suivantes qui consistent à diminuer l'épaisseur de l'échantillon.

On travaille la surface libre sur une pièce plane de plomb, recouverte d'eau et d'émeri de taille n°1. L'émeri est une roche métamorphique très dure qui facilite le processus d'usure de la roche lors du ponçage. Le grain de l'émeri est d'abord grossier, puis de plus en plus fin, jusqu'à être une sorte de pâte.

On doit effectuer des mouvements circulaires réguliers afin d'enlever de la matière et d'aplanir la surface. Il faut changer régulièrement l'émeri, car il perd son pouvoir abrasif. On répète l'opération jusqu'à obtenir une surface parfaitement plane.

Le polissage :

On remplace ensuite la plaque de plomb par une feuille de cuivre. On lisse l'échantillon avec de la fleur d'émeri (émeri le plus fin possible). On termine cette étape avec un morceau de bois tendre.

Le collage :

On détache la face préparée de son support initial. On la colle sur une plaque de verre à l'aide de baume du Canada. On recommence le même processus pour cette face.

Witham fait état de la difficulté de réaliser de telles manipulations et propose à ses lecteurs d'envoyer l'échantillon auprès d'un lapidaire, qui se chargera d'amincir le spécimen comme il se doit pour ce type d'observations. Par la publication exhaustive du procédé de fabrication, Witham souhaite pallier le manque de recherches sur les végétaux fossiles²⁸⁷, surtout à propos de la structure interne. Il donne alors la possibilité à ceux qui le souhaitent de reproduire les mêmes observations que lui à propos des végétaux fossiles. De plus, la mention du corps de

²⁸⁵ Henry T. WITHAM, *Observation on fossil ...*, *op.cit.*, p. 45-48.

²⁸⁶ Witham précise que cette étape peut être réalisée par le savant lui-même assez facilement, même s'il ne possède pas les machines que détient l'artisan.

²⁸⁷ Henry T. WITHAM, *Observation on fossil vegetables accompanied by representations of their internal structure, as seen through the microscope*, Editeur Neill & Co, Edimbourg, 1831, p.3

métier des lapidaires par Witham invite à s'interroger sur l'origine des techniques que mobilise le savant, mais surtout sur l'auteur de cette nouvelle technique, William Nicol.

A l'origine des techniques de fabrication des sections fines

Les lapidaires sont des professionnels qui taillent et polissent les pierres précieuses et fines²⁸⁸. Ils peuvent également graver ou sculpter des figures sur celles-ci. Les lapidaires mobilisent de nombreuses techniques sur les pierres qui concernent trois procédés distincts : la découpe, la taille et pour finir le polissage de la pierre. Le premier consiste à enlever les facettes rugueuses de la pierre. Ensuite, la taille donne à l'objet la forme souhaitée. Le polissage contribue à terminer le processus et rendre la pierre brillante et lisse. Afin de manipuler les pierres plus facilement, les lapidaires utilisent des ciments, à base de poudre de brique et de résine, qui permettent de coller l'objet sur un support manipulable²⁸⁹.

Les trois procédés mentionnés sont assez similaires à celui décrit par Witham dans son ouvrage. Cette similarité suggère un lien entre ces deux méthodes. Par exemple, la taille d'une pierre pour le lapidaire vise à lui donner une forme spécifique. Il en est de même pour le ponçage qui permet d'obtenir une fine plaque de la roche. La finalité n'est pas la même. Pour le lapidaire, il s'agit de tailler des faces de telle sorte que la lumière s'y reflète et mette en valeur la pierre, tandis que pour le savant, l'objet doit être suffisamment fin pour laisser passer la lumière à travers.

L'hypothèse quant au corps de métier à l'origine des méthodes de fabrication des sections fines se confirme dans le discours de Nicol. En effet, c'est à l'occasion d'une querelle entre Nicol et Witham à propos de la paternité de la technique de réalisation de sections fines que Nicol justifie l'origine de ses savoirs (voir encart ci-après). Deux sources d'inspirations sont avancées par Nicol à propos de l'origine de la fabrication des sections fines. La première est son intérêt pour l'observation de la structure interne des végétaux fossiles qui lui vient de John Lindley²⁹⁰ (1799-1865). La seconde est relative à la création de sections fines translucides, par un lapidaire d'Edimbourg, Sanderson²⁹¹.

Encart 10 : La querelle entre Nicol et Witham.

L'origine de la querelle entre les deux savants viendrait du fait que de nombreux savants citent Witham comme l'inventeur de la technique de fabrication de sections fines. Nicol ne

²⁸⁸ Définition extraite du *dictionnaire de l'Académie française*, 9^{ème} édition version informatisée.

²⁸⁹ Edwin W. STREETER, *Precious Stones and gems*, Champan & Hall, Imprimeur Howlett and son, Londres, 1877, p.28.

²⁹⁰ William NICOL, « Observations on the structure of recent and fossil conifers », *The Edinburg New Philosophical Journal*, Volume 16, Octobre 1833-Avril 1834, 1834, p.156.

²⁹¹ « Cela été utilisé dans un premier temps dans ce trimestriel par Mr Sanderson, le lapidaire » traduction extraite de « It was first employed in this quarter by Mr Sanderson, the lapidary. », dans William NICOL, « Observations on the structure of recent and fossil conifers... », *ibid.*

serait alors qu'un disciple de Witham. En France, par exemple, Ami Boué, rédacteur du rapport sur les progrès de la géologie de 1832 dans le *Bulletin de la Société Géologique de France*, écrit que l'inventeur de la technique est Witham : « Mr W. Nicol a examiné d'après la méthode de M. Witham, des bois fossiles [...] »²⁹². Ce dernier ne s'attache pas à signaler sa paternité, ce qui décide Nicol à intervenir et à se justifier.

Le *Bulletin* suivant publie alors deux lettres, l'une de Nicol et l'autre de Thomas Brown pour rectifier l'erreur. Le commentaire présent dans le Bulletin à la suite, précise la contribution de Nicol à la première édition de l'ouvrage de Witham, ainsi que la disparition de cette collaboration dans l'édition suivante. Nicol joint à sa réclamation son article de 1831²⁹³, dans lequel il explique sa démarche pour examiner les végétaux fossiles. La discorde semble alors avoir diverses origines. D'une part, ces erreurs récurrentes d'attributions de l'invention de la technique à Witham, en défaveur de Nicol apparaissent comme une source de conflits probables. Un autre élément est semble-t-il à prendre en compte. Nicol n'a de cesse de se référer à l'ouvrage publié par Witham pour en critiquer assez sévèrement les résultats scientifiques²⁹⁴. Il obtient d'ailleurs en réponse un commentaire de William Mac Gillivray²⁹⁵. Ce dernier reprend les remarques de Nicol et y répond de façon systématique. Il prend également la défense de son maître Witham qui selon ses dires fait couper ses sections fines chez un lapidaire, dont le nom n'est pourtant pas précisé.

Witham ne semble pas prendre une part active à cette querelle que ce soit pour se défendre contre les attaques de Nicol ou bien pour aller dans son sens. Il s'ensuit que les deux hommes n'auront plus de contact entre eux. A tel point qu'en 1833, lorsqu'une nouvelle édition de l'ouvrage de Witham, *The internal structure of fossil Vegetables*, est réimprimée presque toutes les références à William Nicol et à son travail sont effacées.

Nicol se forme aux techniques auprès de l'artisan, sans pour autant préciser de quelles techniques il s'agit. Il est probable que ces dernières consistent à fixer, poncer et polir des surfaces dures, similaires aux bijoux et incluent l'utilisation de l'émeri allant du dosage de la quantité à celui de la grosseur du grain, ainsi que les changements de support selon les étapes de traitement de l'objet. Ces savoir-faire sont caractéristiques de ce corps de métier et Nicol n'aurait pu acquérir ces savoirs en dehors de ce contact avec Sanderson²⁹⁶ et des échanges qui ont suivi.

²⁹² Ami BOUE, « Résumé des progrès de Géologie et de quelques-unes de ses principales applications, pendant l'année 1832 », *Bulletin de la Société Géologie de France*, Tome 3, années 1832-1833, 1833, p. CLXIV.

²⁹³ William NICOL, « Observations on the fossil Trees of Van Diemen's Land », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Volume 10, Octobre 1830- Avril 1831, 1831, p. 361-364.

²⁹⁴ William NICOL, « Observations on the structure of recent and fossil conifers », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Volume 16, Octobre 1833-Avril 1834, 1834, p. 147 et 153.

²⁹⁵ William MAC GILLIVRAY, « Remarks on Mr Nicol's Observations on the structure of recent and fossil coniferea », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Volume 17, October 1833 to April 1834, 1834, p. 369-372.

²⁹⁶ Notons que ce même lapidaire Sanderson est mentionné dans l'ouvrage de Hutton et Lindley comme ayant préparé une portion de bois pour une observation microscopique. John LINDLEY et William HUTTON, *The fossil*

D'après Jim Bennet²⁹⁷, les fabricants d'instruments londoniens, entre la fin du XVIII^e et le début du XIX^e siècle, se distinguent des autres fabricants étrangers par leur capacité à ne pas être de simples exécutants. Ils entretiennent des liens forts avec les savants et les institutions scientifiques présentes dans la capitale, comme par exemple la *Royal Society of London*. La perméabilité entre les sphères scientifiques et artisanales est très importante et certains fabricants obtiennent même de ces institutions des récompenses. Ces relations permettent aux fabricants de modifier régulièrement leurs instruments afin de mieux s'adapter aux besoins des savants. Au regard de ces éléments, les échanges entre Nicol et Sanderson n'apparaissent pas comme singuliers. Ces échanges existent couramment et constituent d'après François Caron l'un des moteurs pour la constitution de nouveaux savoirs²⁹⁸. En effet, « *la circulation des connaissances d'une génération à l'autre, mais aussi d'un métier à l'autre ou d'une région à l'autre, est une des sources majeures de l'innovation* »²⁹⁹.

Ici, l'innovation se situe dans l'adaptation et la modification des méthodes apprises auprès de Sanderson pour la taille des sections fines. Par exemple, Nicol mentionne le fait que les échantillons se cassent ou bien se détachent difficilement du support sur lequel ils sont fixés³⁰⁰. Il fait ici explicitement référence aux différents mastics ou ciments que les lapidaires ou les joailliers utilisent. La réponse qu'y apporte Nicol est l'introduction du baume du Canada comme ciment³⁰¹. Cette résine, une fois solidifiée est très dure et maintient très bien les échantillons sur leur support. De plus, décoller les échantillons est également facile, puisqu'il suffit de chauffer à nouveau l'ensemble pour rendre fluide le baume et recueillir seulement l'échantillon. D'ailleurs, le récit de l'utilisation du baume du Canada par Witham témoigne d'une très bonne connaissance du médium par Nicol. L'origine de cette connaissance n'est nullement évoquée par Nicol.

Une hypothèse peut cependant être émise sur l'introduction de cette résine. Elle proviendrait des connaissances en optique de Nicol, où l'usage de térébenthines est courant depuis le début du XIX^e siècle pour coller des pièces transparentes entre elles. Par ailleurs, des utilisations spécifiques de cette résine sont présentes notamment dans certains articles de David Brewster à propos de prismes mais également de Wollaston³⁰². Ces mentions du baume et les usages associés, notamment pour coller des pièces transparentes entre elles ont pu motiver Nicol à l'utiliser pour la production de sections fines. En 1829, Nicol publie d'ailleurs un article

flora of Great Britain; or Figures and descriptions of the vegetable remains in a fossil state in this country, volume 1, James Ridgway, Londres, 1831-33, p.10.

²⁹⁷ Jim A. BENNETT, « Instrument makers and the 'déclinaison of science in England': The effect of institutional change on the elite makers of the early nineteenth century », dans De Clercq Peter R. (ed.), *Nineteenth-century scientific instruments and their makers* (papers presented at the Fourth Scientific Instrument Symposium, Amsterdam, 23-26 October 1984), Amsterdam/ Rodopi/Leiden, 1985, p. 13-27

²⁹⁸ François CARON, *La dynamique de l'innovation, Changement technique et changement social (XVIe-XXe siècle)*, Collection Bibliothèque des histoires, NRF, Editions Gallimard, 2010, p. 44.

²⁹⁹ François CARON, *La dynamique de l'innovation...*, *op.cit.*, p.43.

³⁰⁰ William NICOL, « Observations on the structure of recent and fossil conifers », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Volume 16, Octobre 1833-Avril 1834, 1834, p.157.

³⁰¹ William NICOL, « Observations on the structure of recent and fossil conifers... », *ibid.*

³⁰² William H. WOLLASTON, « Nouvelles méthode d'examen des pouvoirs des corps pour la réfraction et dispersion de la lumière, etc. », *Annales de chimie*, Tome 46, 1803, p.51.

détaillant le processus de fabrication d'un prisme optique où le baume du Canada est utilisé comme adhésif³⁰³. D'autres éléments concordants permettent d'envisager l'influence d'un autre corps de métier que celui des lapidaires, les opticiens. Ils sont aussi amenés à manipuler du verre et à le traiter comme les lapidaires pour lui donner sa forme et ses propriétés optiques. Les opticiens doivent tailler, polir le verre des lentilles qu'ils fabriquent et leurs techniques sont proches de celles utilisées par les lapidaires. Cependant l'un des aspects qui revêt une très grande importance chez les opticiens est la transparence. L'utilisation des mastics ou des résines ne doit pas réduire cette transparence, auquel cas, la qualité des observations devient moins bonne. Le baume du Canada, dont l'indice optique est proche de celui du verre et dont les propriétés adhésives sont reconnues, est alors utilisé chez ces artisans. Il est possible que Nicol ait été amené à chercher un mastic aux propriétés adhésives et transparentes pour ces travaux et que son choix se soit fixé sur le baume du Canada.

L'ensemble des éléments présentés ici reste au stade d'hypothèse, bien qu'étayé parfois, en raison du manque d'informations. Ainsi, la nature des échanges, leur durée ainsi que les connaissances transmises entre Nicol et Sanderson demeurent, à notre connaissance, inconnues. Ces échanges sont probablement informels et par conséquent très difficiles à retracer dans leur intégralité, tout comme l'origine des techniques de polissage des pierres et des matériaux utilisés à cet effet. Comme le précise Anne-Françoise Garçon, l'historien des techniques est régulièrement confronté au manque de sources³⁰⁴. La publication de la technique de fabrication de sections fines par Witham est donc une source précieuse d'informations sur le procédé et les matériaux. En effet, les techniques de fabrication font essentiellement partie des savoirs tacites, définis « *comme une connaissance qui n'est pas disponible pour ses détenteurs sous forme discursive ou propositionnelle*³⁰⁵ ». Sa transmission s'effectue le plus souvent de manière informelle (imitation ou démonstration) entre deux individus. Les éléments extraits des publications de Witham et de Nicol prennent alors toute leur importance pour comprendre et suivre les évolutions de ces méthodes. Notons également qu'en plus de Witham, Brewster et même Lindley et Hutton³⁰⁶ sollicitent des lapidaires. Hutton par exemple charge Cuttel à Londres de produire des sections fines.

La production des sections fines permet certes l'observation de la structure interne des végétaux fossiles, mais interroge aussi sur la manière dont Witham et Nicol procèdent, les instruments qu'ils utilisent et en quoi l'ensemble constitue une méthode d'observation.

³⁰³ La fabrication de ce prisme est l'objet du Chapitre 4.

³⁰⁴ Anne Françoise GARÇON, « Des modes d'existence du geste technique », *Revue e-Phaïstos, Revue d'histoire des techniques*, Volume 3, n°1, juin 2014, p. 85.

³⁰⁵ François CARON, *La dynamique de l'innovation, Changement technique et changement social (XVIe-XXe siècle)*, Collection Bibliothèque des histoires, NRF, Editions Gallimard, 2010, p.13.

³⁰⁶ Robert H. NUTTALL, « The origins of geological microscopy », *The Microscope*, Volume 25 Fourth quarter, 1977, p. 247.

Combiner microscope et sections fines

Dans son ouvrage publié en 1831³⁰⁷, Witham présente l'usage combiné du microscope et des sections fines dans le but de décrire et d'identifier les végétaux fossiles. L'ouvrage est également riche d'illustrations avec six planches contenant près de 70 dessins de sections fines de végétaux fossiles.

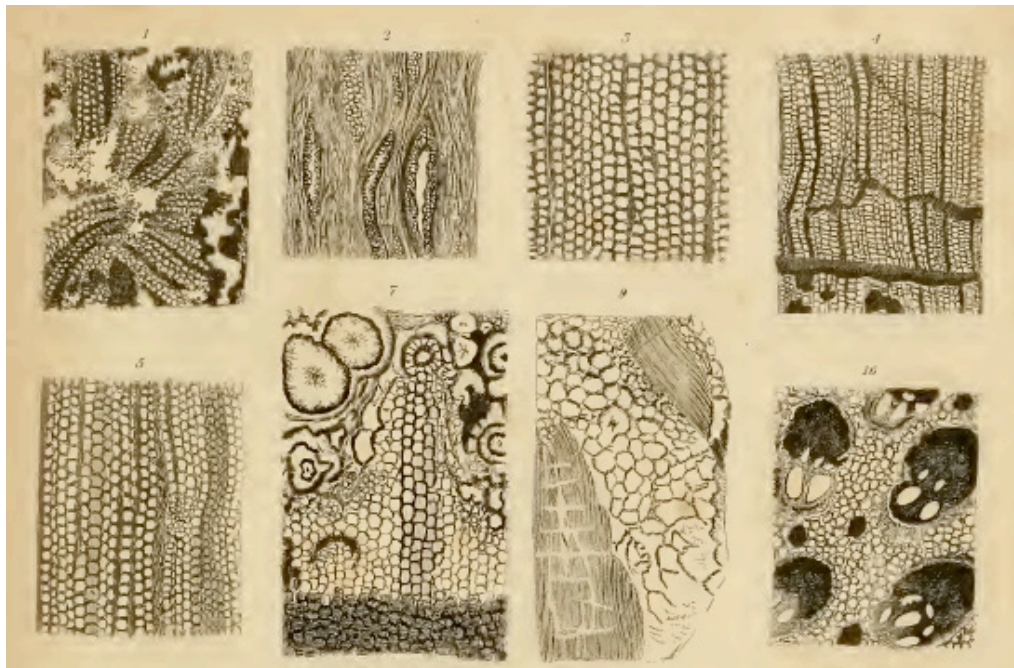


Figure 21 : Plaque 6 extraite de l'ouvrage de H. Witham.

La description des planches de l'ouvrage permet d'en apprendre davantage sur les pratiques d'observations, comme le grossissement, le sens de la découpe des sections fines ou bien l'usage de lumière transmise. Par exemple, Witham décrit la « *section transverse d'une portion d'un des fragments de bois fossile trouvé à Lennel Braes [...]* »³⁰⁸. Il évoque également « *une tranche transverse d'un large bois fossile provenant de Nouvelle Hollande gardée au Museum de l'Université d'Edimbourg* »³⁰⁹ ou même « *la portion d'une tranche transverse d'un arbre de New Biggin [...]* »³¹⁰. Cette dernière est « *élargie environ 100 fois* »³¹¹.

³⁰⁷Henry Thomas WITHAM, *Observation on fossil vegetables accompanied by representations of their internal structure, as seen through the microscope*, Editeur Neill & Co, Edimbourg, 1831, 48 pages et planches.

³⁰⁸Henry Thomas WITHAM, *Observation on fossil vegetables accompanied by representations of their internal structure, as seen through the microscope*, Editeur Neill & Co, Edimbourg, 1831, p.29

³⁰⁹Henry Thomas WITHAM, *Observation on fossil...*, *op.cit.*, p.38.

³¹⁰Henry Thomas WITHAM, *Observation on fossil ...* *ibid.*

³¹¹Henry Thomas WITHAM, *Observation on fossil ...* *ibid.*

Peu après la publication de *Observation on fossil vegetables*, Nicol publie quatre articles³¹², entre 1831 et 1835, liés à l'observation de la structure interne des végétaux fossiles à l'aide du microscope et des sections fines. Dans ses publications, Nicol y détaille des éléments propres à identifier des éléments d'une pratique d'observation, comme par exemple la manière d'utiliser le microscope ou encore le choix de l'orientation des sections fines.

Par exemple, en 1831, dans *Observations on the fossil Trees of Van Diemen's Land*, Nicol conseille d'observer les sections fines à l'aide d'un microscope ou d'une loupe de poche³¹³. La particularité de cette remarque réside dans le fait que Nicol possède un microscope, d'après Robert H. Nuttall³¹⁴. La firme de James Smith et Joseph J. Lister en a vendu un à Nicol. Le savant est aussi mentionné dans un article du *Edinburgh New Philosophical Journal* de l'année 1837³¹⁵ pour les travaux qu'il a conduits à l'aide du microscope. La construction de cette remarque et les indications précédentes sur ses observations montre que Nicol préfère l'usage du microscope à celui de la loupe.

Il arrive aussi à Nicol de préciser le type de lentille qu'il utilise à savoir une lentille double convexe en grenat, d'un rayon d'un-quarantième de pouce³¹⁶. Le grossissement est alors évalué par Nicol à 400 diamètres³¹⁷.

Nicol compare également l'usage de la lumière réfléchie et transmise pour en montrer les limites :

« *En lumière réfléchie, le fragment brun ne fait preuve d'aucune organisation lorsqu'il est poli, mais lorsqu'une section transverse de celui-ci est réduite à la finesse appropriée, il montre distinctement la texture réticulée des récents conifères* »³¹⁸.

Ici, Nicol décrit très succinctement l'observation d'un échantillon de bois fossile à l'aide de cette méthode. Mais celle-ci n'apporte aucun résultat contrairement à l'observation en lumière transmise qui sous-entend l'usage d'une section fine. D'ailleurs, les mentions implicites de cette

³¹² William NICOL, « Observations on the fossil Trees of Van Diemen's Land », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Volume 10, Octobre 1830- Avril 1831, 1831, p. 361-364. William NICOL, « On fossil woods from Newcastle, New South Wales », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Edinburg, Volume 14, Octobre 1832-Avril 1833, 1833p. 155-159 avec planches, William NICOL, « Observations on the structure of recent and fossil conifers », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Volume 16, Octobre 1833-Avril 1834, 1834, p. 137-158 et planches et William NICOL, « On the structure of some fossil woods found on the Island of Mull, Northern Africa, and on the Kanoo ground to the North East of the Cape of good Hope », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Volume 18, Octobre 1834-Avril 1835, 1835, p. 335-338.

³¹³ « On viewing these sections, by help of a microscope, or even a common pocket lens [...] », William NICOL, « Observations on the fossil Trees... », *op.cit.*, p. 361.

³¹⁴ Robert H. NUTTALL, « The first microscope of Henry Clifton Sorby », *Technology and Culture*, Volume 22, n°2, Avril 1981,1981, p. 275-280.

³¹⁵ ANONYME, « 2-Micrographia: containing Practical Essays on Reflecting Solar, Oxy-Hydrogen Gas Microscopes, Micrometers, Eye-pieces, &c. By C.R. GORING et Andrew PRITCHARD, Esqrs., 1 vol. 8 vo pp.281. London, Whittaker and Compagny. », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Volume 22, Octobre 1826-Avril 1837, 1837, p. 205-206.

³¹⁶ Notons que l'usage d'une lentille en grenat n'est pas surprenant, car elle permet de limiter les aberrations chromatiques visibles.

³¹⁷ William NICOL, « Observations on the structure of recent and fossil conifers ... », *op.cit.*, p.149.

³¹⁸ William NICOL, « On the structure of some fossil woods found on the Island of Mull, Northern Africa, and on the Kanoo ground to the North East of the Cape of good Hope », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Volume 18, Octobre 1834-Avril 1835, 1835, p. 336-37.

pratique d'observation sont omniprésentes dans ses articles. L'auteur met en valeur l'apport de cette nouvelle technique, comme dans la citation ci-dessous :

« En raison de leur opacité, il est nécessaire de réduire ces spécimens à la plus grande finesse possible, avant de pouvoir voir leur structure interne »³¹⁹.

L'observation des échantillons est réalisée en lumière transmise car Nicol évoque leur opacité. Ainsi, afin d'éviter cet inconvénient, l'échantillon doit être tellement fin, qu'il en devient transparent. L'observation de la structure interne des végétaux fossiles lorsqu'ils sont taillés en sections fines, n'est efficace qu'en lumière transmise avec un microscope. La finesse de l'échantillon est alors une condition nécessaire, sinon obligatoire, afin d'analyser les échantillons. Cependant même si la finesse des sections permet une meilleure observation des structures, celles-ci ne doivent être ni trop fines, ni trop épaisses auquel cas, les structures deviendraient difficilement visibles³²⁰.

Par ailleurs, la taille des échantillons et la variété des plans de découpe sont signalées à de multiples reprises dans le but d'avoir une vision globale de la structure interne. En témoigne, l'indication du savant dans l'une de ses communications, sur la nécessité de varier les découpes et d'observer des sections transverses et longitudinales des spécimens³²¹. Il y précise également que l'utilisation d'une seule section, de petite dimension n'est pas suffisante pour obtenir des résultats fiables.

La pratique microscopique associée à l'usage des sections fines, conduit à la mise en place d'une méthode d'observation des végétaux fossiles qui répond aux besoins des savants. Les résultats intéressants que Nicol avance, sont des exemples de la solidité de sa méthode et sont de bons promoteurs de cette nouvelle méthode, mais qu'en est-il de sa diffusion ?

3. Vers un développement des observations microscopiques des végétaux fossiles

L'ouvrage de Witham ainsi que les articles de Nicol participent à la mise en avant d'une nouvelle technique d'observation des végétaux fossiles, combinant microscope et sections fines et visant l'étude des caractères internes de ces derniers. Leurs noms sont régulièrement cités par d'autres savants à propos de l'étude des végétaux fossiles. Par exemple, en 1832, un auteur anonyme lors d'un commentaire pour évoquer la parution de l'ouvrage de Lindley, met en avant ce type de recherches :

³¹⁹ William NICOL, « On fossil woods from Newcastle, New South Wales », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Edinburg, Volume 14, Octobre 1832-Avril 1833, 1833, p. 157.

³²⁰ William NICOL, « Observations on the structure of recent and fossil conifers », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Volume 16, Octobre 1833-Avril 1834, 1834, p.143.

³²¹ William Nicol, « Observations on the structure of recent and fossil conifers ... », *op.cit.*, p.134.

« *Beaucoup de nos élèves ont été totalement impressionnés par la précision de cette vision ; et dernièrement deux d'entre eux, Mr Witham et Mr Nicol se sont engagés vivement dans cette recherche, et ont déjà proposé au public d'intéressants résultats comparatifs* »³²².

En France, Félix Dujardin (1801-1860) mentionne également les travaux effectués par Witham et Nicol dans l'un de ses ouvrages :

« *C'est en Angleterre ou en Ecosse que l'on s'est occupé d'abord de l'étude microscopique des végétaux fossiles. M. Witham et M. Nichols ont ainsi fourni à la botanique et à la géologie des observations d'un haut intérêt qui, depuis lors, ont été répétées sur le continent* »³²³.

A titre d'exemple, en 1831, le *Bulletin de la Société géologique de France* fait mention des publications de Witham ainsi que des travaux de Nicol. D'autres descriptions de plantes fossiles et de houillères sont rapportées³²⁴ dans ce même journal de 1831.

Les travaux de Nicol et Witham circulent en dehors de l'Ecosse et sont relayés par des savants anglais ou bien français. D'autres exemples de circulation sont visibles, ceux-là spécifiquement rattachés à la technique de préparation des sections fines. Ad. Brongniart par exemple mentionne le « *professeur Nicoll d'Edimbourg* », dans la présentation d'un mémoire qu'il effectue à l'Académie des sciences³²⁵ en 1840. Le savant explique qu'il souhaite rendre hommage à Nicol de qui il tient le procédé de fabrication de sections fines.

Les fabricants d'instruments jouent aussi un rôle dans la circulation des sections fines. En effet, dès 1838, les fabricants anglais Pritchard et Goring publient une liste d'instruments optiques divers dont une machine pour réaliser des fines sections de bois³²⁶. Ils proposent également de nombreux objets pour des observations microscopiques, telles que des fines sections de bois fossiles ou encore de charbon. Le catalogue de 1842 est encore plus démesuré. Il offre un très large choix d'objets pour des observations microscopiques³²⁷, allant des sections fines de dents et d'os dont certains appartiennent à des espèces actuelles ou fossiles. Un grand nombre d'échantillons des différents règnes sont également disponibles dans du baume du Canada, comme des insectes, des infusoires (fossiles ou non), des mousses, des pollens ou mêmes des graines. L'auteur mentionne d'ailleurs sur le catalogue la rareté des échantillons par la présence d'un point d'interrogation. La diversité commerciale de Pritchard lui permet de répondre à différentes demandes d'amateurs comme de savants. L'utilisation de section fines

³²² ANONYME, « 3. The fossil Flora of Great Britain, or figures and descriptions of the vegetable remains found in a fossil state in this country. By Professor Lindley and Mr William Hutton », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Volume XII, October 1831 to April 1832, 1832, p. 396.

³²³ Félix DUJARDIN, *Nouveau manuel complet de l'observateur au microscope*, Editeur Roret, Paris, 1843, p. 311.

³²⁴ Notamment le Docteur Sauveur, Murray et Harlan pour leur descriptions de végétaux fossiles en Belgique, en Angleterre et aux Etats-Unis.

³²⁵ Adolphe BRONGNIART, « Observations sur la structure intérieure du *Sigillaria elegans* comparée à celle des *Lepidodendron* et des *Stigmara* et à celles des végétaux vivants », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 11, Juillet-Décembre 1840, 1840, p. 921.

³²⁶ Notons que les techniques permettant de produire des sections fines varie selon les fabricants.

³²⁷ Andrew PRITCHARD, *A list of two thousand microscopic objects: with remarks on the circulation in animals and plants; the method of viewing crystals by polarized light, &c*, seconde édition, Londres, Whittaker and co, 1842, 36 p.

pour un amusement rationnel³²⁸ chez les amateurs éclairés, participe aussi à la circulation des objets.

Pritchard n'est pas le seul en Angleterre à proposer des sections fines, John Thomas Norman (1807-1893) notamment, s'établit comme fabricant à partir de 1846. Il collabore régulièrement avec le *Museum of the Royal College of Surgeons*, à qui il donne de nombreuses sections fines. William Hill Darker est quant à lui reconnu pour sa production de section fine minérale. Un autre fabricant, Cornelius H. Poulton (1814-1854) est aussi reconnu à l'époque pour son habileté de monteur d'objets microscopiques. Lui-même se décrit ainsi en 1851 et participe la même année à l'Exposition Universelle de Londres comme exposant. Il entretient par ailleurs des contacts forts avec la *Microscopical Society of London*, dont l'un de ses membres, M. S. Legg, collabore avec lui pour l'exposition³²⁹.

Pour ce qui est de la France, le catalogue du fabricant J- G. Chevallier publié en 1842 et en 1845³³⁰, tout comme celui du fabricant Pixii paru en 1845³³¹, ne comportent aucune mention d'objets ou de cristaux observables au microscope. Cependant, trois ans plus tard, en 1848, dans le catalogue de fabricant d'instrument J. A. Deleuil³³² des objets susceptibles d'être des sections sont vendus.

Le fabricant propose des « *objets préparés, entre deux lames de verre pour microscope* »³³³, dont le prix pour douze objets va de 6 à 12 francs. Il propose également des cristaux taillés dans toutes les directions, en précisant que les échantillons disponibles ont entre un ou deux axes optiques³³⁴. Dans la section minéralogie de son catalogue, Deleuil propose une collection de roches en échantillons, entre 25 et 100 francs selon la taille de l'échantillon. Cependant, il est difficile de savoir si les cristaux taillés sont bien des sections fines ou bien des plaques de cristaux plus épaisses pour d'autres observations, comme celle des phénomènes liés à la polarisation de la lumière, décrites précédemment. De plus, la mention d'objets entre deux lames est trop imprécise pour se prononcer catégoriquement sur la commercialisation de sections fines en France à cette époque. Il apparaît donc que les fabricants français ne vendent pas de sections fines dans la première moitié du XIX^e siècle.

³²⁸ Alison MORRISSON-LOW et Robert H. NUTTALL, « Hugh Miller in a Age of Microscopy », dans *Celebrating the life and times of Hugh Miller*, Lester Borley (ed), Institute of the University of Aberdeen, 2003, p. 214-226.

³²⁹ Brian STEVENSON, « Cornelius Poulton (1814-1854) –Victorian era microscopist », *Micscape Magazine*, Mars 2009.

³³⁰ Jean-Gabriel Auguste CHEVALLIER, *Catalogue des instruments d'optique de physique, de mathématiques et de minéralogie qui se fabriquent et se vendent chez l'ingénieur Chevallier*, Imprimerie De Guillois, Paris, 1842, 48p. ET Jean-Gabriel Auguste CHEVALLIER, *Catalogue et prix des instruments d'optique, de physique, de mathématiques, d'astronomie et de marine qui se trouvent et se fabriquent dans les magasins et ateliers de la maison Chevallier*, Imprimerie de Guillois, Paris, 1845, 70p.

³³¹ PIXII père et fils, *Catalogue des principaux instruments de physique, chimie, optique, mathématiques et autres à l'usage des sciences qui se fabriquent chez Pixii père et fils, successeurs de Dumotiez*, Imprimerie de Bachelier, 1845, 48p.

³³² Jean-Adrien DELEUIL, *Catalogue d'instruments de physique, de chimie, d'optique, de chirurgie, d'hygiène et d'économie domestique*, Imprimerie d'A. René, Paris 1848, 63p.

³³³ Jean A. DELEUIL, *Catalogue d'instruments de physique...*, *op.cit.* p. 42

³³⁴ Pour plus d'explication voir Encart 21, p. 154.

Ce n'est qu'après 1860 que la présence de sections fines apparaît plus distinctement dans les catalogues de fabricants français. La Maison Nachet par exemple met en vente dans son catalogue de 1863 des « *Objets microscopiques* ». Ces derniers sont des « *injections anatomiques, préparations spéciales de botanique et sections de corps durs* »³³⁵

L'usage du microscope combiné à des sections fines ne reste pas seulement cantonné aux végétaux fossiles. Cette technique est par exemple appliquée aux bois actuels³³⁶, mais aussi à d'autres objets, comme les foraminifères³³⁷. Deux anglais, William Crawford Williamson (1816-1895) et John Phillips (1800-1874) utilisent d'ailleurs cette technique pour étudier plus précisément ces objets de tailles microscopiques.

Conclusion

Les roches sont étudiées de manière similaire aux minéraux. Elles sont identifiées et classées à travers des caractères, qui peuvent être communs aux minéraux, comme pour la texture ou la cassure. Cependant, ces caractères ne permettent pas de distinguer suffisamment les objets les uns des autres, rendant leur usage peu efficace. L'insertion du microscope par Fleuriau de Bellevue en 1800 permet dans un premier temps d'identifier la présence de cristaux de petites tailles, jusque-là invisibles au sein des roches. La définition même de l'objet est revue en conséquence. La mise en place d'une méthode par Cordier en 1815, fondée sur le présupposé que les roches sont mécaniquement composées, vient confirmer la place du microscope pour conduire des observations et des identifications de roches. L'instrument est au centre d'une méthode d'analyse physique qui n'appréhende plus les roches comme des objets homogènes, mais bien composés. Dès les années 1820, le microscope est omniprésent dans les articles relatifs à l'étude des roches et à leur composition. Il est intégré dans les pratiques savantes qui se basent sur la méthode minéralogique pour identifier les minéraux composant la roche.

En ce qui concerne l'étude des végétaux fossiles, elle se fait la plupart du temps, au début du XIX^e siècle, à l'aide de caractères extérieurs. Bien que l'usage de caractères liés à la structure interne soit plus spécifique dans la détermination de l'espèce -comme la forme des vaisseaux-, ils sont inaccessibles ou les moyens disponibles -comme la taille en section fines- sont peu satisfaisants. La publication de Witham, *Observation on fossil vegetables*, en 1831 fait date dans le sens où l'auteur propose des observations microscopiques des objets en sections fines. Le savant collabore étroitement avec William Nicol qui lui prête certains échantillons et lui

³³⁵ MAISON NACHET & FILS, *Catalogue descriptif des instruments de micrographie fabriqués par Nachet et Fils, constructeurs à Paris*, Imprimerie E. Martinet, Paris, 1863, p. 28.

³³⁶ GUILLEMIN, « Observation sur la nature des organes microscopiques, situés sur les vaisseaux communément appelés poreux dans le bois des conifères », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 3, Juillet-Décembre 1836, 1836, p. 761

³³⁷ William Crawford WILLIAMSON, « On the real nature of the minute bodies in flints, supposed to be sponge spiculae », *The Annals and magazine of natural history*, Volume 17, n°125 supplément, 1846, p. 467-468.

fabrique des sections fines. De ce dernier, il obtient également le procédé de fabrication des sections fines qu'il publie en fin de son ouvrage. A sa suite, les publications de Lindley et Hutton mettent en avant l'importance des observations microscopiques des végétaux fossiles, et d'autres, comme Adolphe Brongniart, s'emparent de cette technique pour conduire leurs recherches en botanique fossile.

L'insertion du microscope pour l'étude des végétaux fossiles et des roches répond à un problème similaire, celui de mieux voir les objets à identifier pour accéder à de nouvelles informations dans le but de les caractériser plus finement. Cependant, cet usage n'a pas le même impact dans la construction des savoirs. Dans le cas des végétaux fossiles, les caractères de la structure interne deviennent accessibles et contribuent à améliorer les classifications et l'identification des végétaux fossiles. Dans le cas des roches, l'usage du microscope favorise aussi l'identification, mais il permet d'accéder à un nouveau niveau de compréhension de l'objet. Par la découverte de l'existence de minéraux microscopiques dans les pâtes des roches, ces objets auparavant décrits comme homogènes ne le sont plus. Les minéraux microscopiques intègrent les descriptions des roches et la définition même de l'objet s'en retrouve modifiée. Les roches deviennent mécaniquement composées de minéraux. Leur identification passe alors par une observation en deux étapes : à l'œil nu puis au microscope pour toute la partie invisible.

Conclusion de la première partie

Au début du XIX siècle, le règne minéral est composé de différents objets, les cristaux, les minéraux, les roches et les fossiles. L'analyse des définitions, des usages du vocabulaire ainsi que les méthodes d'identification permettent de construire une chronologie. Elle est le résultat synthétique du travail effectué sur les définitions des trois objets du règne minéral. Nous avons établi, grâce à ces définitions trois périodes différentes, une période de confusion, une d'individualisation et une dernière de fixation. La première correspond, comme son nom l'indique à une confusion du vocabulaire où les catégories des objets sont peu délimitées et incluent des objets de natures différentes. Cette période correspond également à des définitions construites sous forme de liste. La seconde période est nommée « individualisation des définitions et généralisation des définitions ». Elle est caractéristique d'une construction de définitions plus spécifiques, allant jusqu'à exclure des objets précédemment inclus. Nous constatons également des efforts de généralisation dans la construction des définitions des objets. Les auteurs ont moins recours aux listes dans cette période. La troisième période est celle où les définitions se fixent. Il n'y a plus de confusion dans l'usage des mots et leur usage par les savants est régulier (voir la frise ci-après).

D'après nous, ces modifications sont issues des différentes pratiques ou méthodes d'étude de ces objets. Nous avons constitué une typologie de ces modifications. Elles sont toutes issues des textes écrits par les minéralogistes de la période et traduisent des manières parfois changeantes d'appréhender les minéraux, les roches ou encore les végétaux fossiles.

Le premier consiste à construire une méthode pour étudier un objet. Dans l'exemple des minéraux ou bien encore des végétaux fossiles, la méthode utilisée consiste à identifier au sein d'un échantillon un ensemble de caractères qui permettront de le reconnaître. Cette méthode minéralogique est constituée de trois types de méthodes différentes, la méthode physique, la méthode chimique et la méthode cristallographie. Les caractères mis à jour sont très variés, ils proviennent de pratiques spécifiques et leur combinaison contribue à identifier et classer des échantillons.

Le second va de pair avec l'insertion d'une innovation technique ou d'un instrument. L'exemple de l'amélioration de la technique de fabrication des sections fines par Nicol dans les années 1815-1820 est un peu plus tardif, mais participe à une identification plus précise des végétaux fossiles. Un autre exemple est celui de l'insertion du microscope et de son usage entre 1800 et 1820 pour étudier les roches, par Fleuriau de Bellevue et Cordier.

Le troisième consiste en l'introduction d'une nouvelle méthode. Cette nouvelle méthode dans l'exemple des roches reste dans la continuité de l'insertion d'un instrument. L'introduction par Cordier de sa méthode d'analyse mécanique est construite sur l'usage du microscope, mais propose une manière différente d'étudier les roches de ce qui était pratiqué auparavant. Dans le cas des végétaux fossiles, l'amélioration des sections fines contribue à introduire l'usage du microscope. La combinaison des deux modifie la méthode existante en introduisant de nouveaux caractères, les caractères internes. Un dernier exemple est celui de l'usage de la

lumière polarisée. Son usage dans des expériences conduit à la construction d'une méthode d'observation nécessitant d'insérer l'objet entre deux dispositifs de polarisation, en l'occurrence un polariseur et un analyseur. L'ensemble conduit également à l'insertion de nouveaux caractères pour étudier les minéraux.

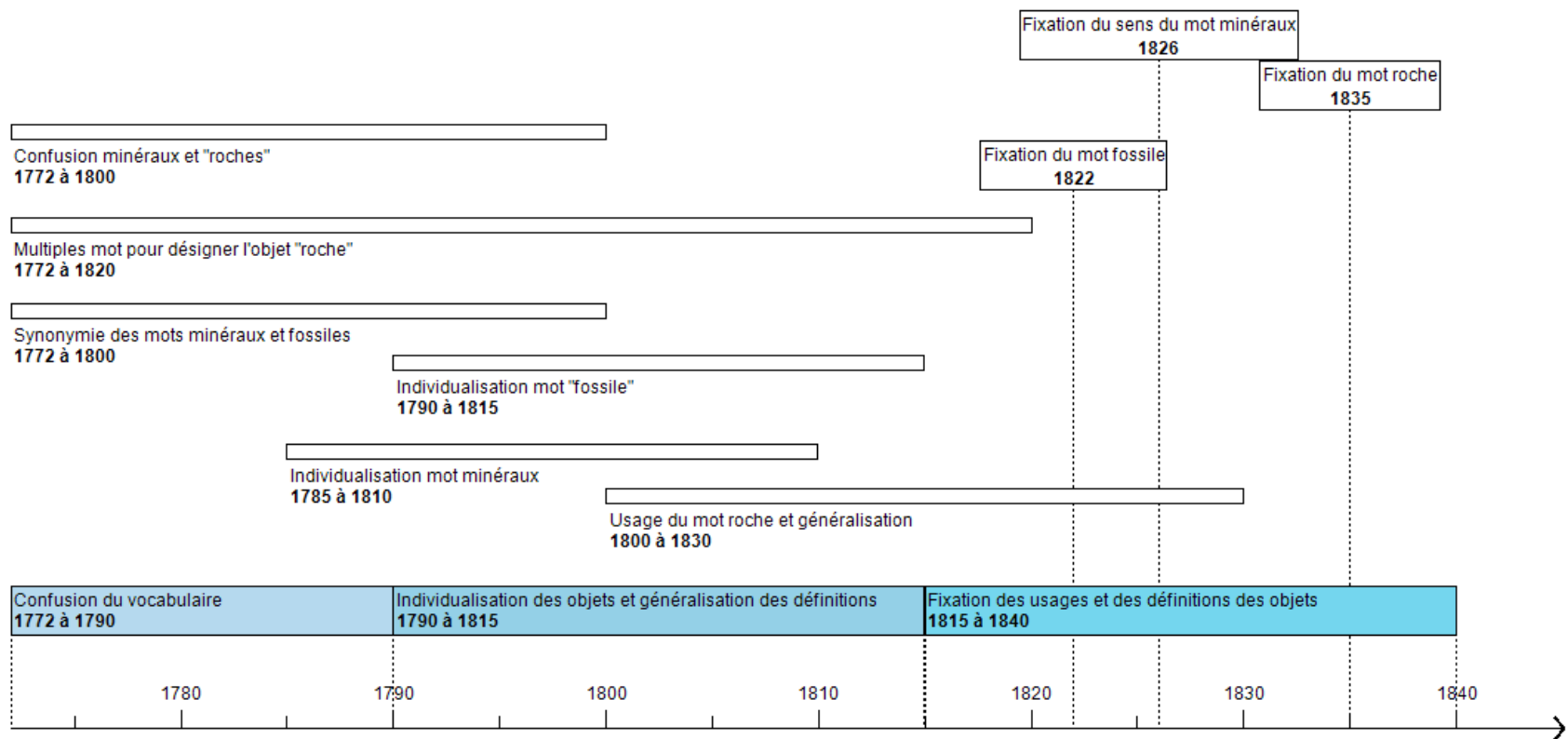
L'ensemble de ces pratiques, parfois combinées ou parfois seules, conduit dans un premier temps à la mise en place de nouvelle méthode. Dans un second temps, elle participe aux transformations des définitions des objets étudiés. En effet, les définitions proposées alors par les savants sont différentes de ce qu'elles étaient avant l'introduction de ces différentes pratiques. Elles deviennent plus générales tout en étant plus spécifiques. L'exemple des minéraux montre que la définition construite à la fin du XVIII^e siècle, en désignant une liste d'objets se transforme pour définir les minéraux comme étant des corps inorganiques, qui ne peuvent se reproduire et qui croissent. Cette généralisation de la définition est consécutive de l'application de la méthode minéralogique à ces objets. Cette méthode permet alors de distinguer les objets considérés comme des minéraux de ceux qui ne le sont pas, à l'instar des fossiles. Elle contribue également à mettre en avant des propriétés générales pouvant constituer une définition adéquate pour l'objet.

Par ailleurs, des différences ontologiques apparaissent entre ces trois objets. L'exemple des roches est significatif puisqu'auparavant les minéralogistes les considéraient comme faisant partie des minéraux et y appliquent les mêmes méthodes. Or, l'introduction de la pratique microscopique et d'une méthode de recherches différente montre que les roches ne peuvent plus être considérées comme des minéraux. Ce sont deux objets différents. L'évolution du vocabulaire à propos des roches permet de constater ces distinctions mais sont aussi le reflet de changements dans la manière d'appréhender les objets. Tandis que les pierres sont incluses dans les minéraux, les masses minérales sont distinguées de ces derniers, notamment en raison de leur taille. Elles sont considérées comme étant constituées de minéraux. L'usage du mot roche est quant à lui plus général et porte le présupposé épistémologique d'être mécaniquement constitué de minéraux. Un phénomène similaire est visible avec les fossiles, lorsque ces derniers sont exclus du domaine d'étude de la minéralogie.

Un dernier constat émerge de l'étude de ces trois objets, celui de l'appropriation des pratiques et donc, des transferts entre domaines savants. Ces transferts sont facilités d'une part par l'absence de cloisonnement net dans les domaines scientifiques à cette époque. Les savants ont des parcours que nous qualifierions actuellement de pluridisciplinaires. Ils sont formés initialement à la chimie, la physique ou encore à la médecine par exemple et vont avoir des sujets d'études divers durant leur vie. Ces multiples savoir-faire leur permettent alors d'utiliser des pratiques appartenant à un domaine, comme la chimie, pour l'appliquer à des objets du règne minéral. L'ensemble aboutit alors à la construction de méthodes hybrides, constituées par l'identification de caractères variés et l'insertion de pratiques diverses. Ainsi, l'origine de certaines pratiques provient d'autres domaines, comme par exemple la détection du magnétisme ou de fluorescence chez les minéraux. Ces pratiques peuvent également provenir d'autres acteurs, comme avec la technique de fabrication des sections fines que Nicol tient de Sanderson,

un lapidaire. Pour autant, ces savoir-faire sont intégrés aux pratiques savantes et sont incluses dans celles-ci jusqu'à en devenir des méthodes minéralogiques.

Nous nous posons la question du devenir de ces méthodes et notamment de la possibilité d'appropriation de la technique des sections fines à d'autres objets du règne minéral, comme les roches.



Frise 1 : Illustration de l'usage du vocabulaire et de son évolution par les savants entre la fin du XVIII^e siècle et 1844.

Deuxième partie : Construction de nouvelles méthodes pour étudier les minéraux et les roches (1829-1860)

Dès les années 1820, le microscope est utilisé par les savants pour observer des roches réduites en poudre. Par ailleurs, dans les années 1830, il est également mobilisé pour observer les caractères internes des végétaux fossiles, ces derniers étant taillés en sections fines et étudiés par transparence. L'objet de cette partie est d'étudier la généralisation de l'application de la technique de fabrication des sections fines à d'autres objets du règne minéral. En effet, est-il possible, pour mieux les observer, de tailler en sections fines les minéraux ou encore les roches ? L'historiographie ouvre ici des pistes, avec notamment la thèse de Caroline Kaspar³³⁸ qui montre comment Alfred Des Cloizeaux mobilise de manière similaire un microscope et des plaques de cristaux observées par transparence en lumière polarisée, adaptant une technique particulière à d'autres objets du règne minéral. Certes, le microscope est un instrument couramment utilisé en minéralogie pour la détermination des roches réduites en poudre, son utilisation par les savants n'apparaît pas comme significativement nouvelle. Cependant, les conditions de son utilisation, combinées aux sections fines, sont différentes et font émerger de nombreuses interrogations liées aux pratiques de savants, comme Des Cloizeaux en France, mais aussi Henry Sorby en Angleterre, qui l'utilisent pour observer des objets taillés en section fines.

En adoptant le point de vue des pratiques, de nombreuses questions émergent quant aux méthodes, instruments et techniques utilisés par nos acteurs dans cette période. Ainsi, nous nous interrogeons sur la constitution de la méthode de Des Cloizeaux, sur les dispositifs de polarisation qu'il utilise, le microscope et la manière dont ses observations s'insèrent dans une méthode de détermination des propriétés des minéraux déjà existante. De manière similaire, nous nous interrogeons sur la pratique microscopique de Sorby, les techniques et instruments qu'il mobilise ainsi que leur origine. De même, dans le cadre d'une production de lumière polarisée et de pratiques liées à son usage, nous avons souhaité questionner cette mise en place de pratiques, la diversité des dispositifs utilisés mais aussi revenir plus en profondeur sur l'un d'entre eux, le prisme de Nicol. Il s'agit alors de s'interroger sur le processus de fabrication de ce prisme, son usage et son insertion dans une offre plus large de prismes polarisateurs dans les années 1830-1840.

³³⁸ Caroline KASPAR, *Optique et Minéralogie au XIX^e siècle. L'approche interdisciplinaire d'Alfred Des Cloizeaux*, Thèse de doctorat, Université de Lyon-1, 286 pages.

En conséquence de quoi, nous avons divisé cette seconde partie en trois chapitres différents. Le Chapitre 4 a pour objet le prisme polarisateur de Nicol. En effet, au vu des nombreuses questions que suscite son apparition, nous avons décidé de lui consacrer un chapitre entier dans lequel nous présentons sa fabrication, son origine ainsi que sa commercialisation et son utilisation par les savants. Dans le Chapitre 5, nous abordons l'étude et la production de lumière polarisée au début du XIX^e siècle. Nous y étudierons les liens qu'entretiennent minéraux et lumière polarisée afin de contextualiser la méthode d'identification des cristaux par l'intermédiaire de la lumière polarisée que construit Des Cloizeaux dans les années 1860. Pour terminer, le Chapitre 6 analyse la pratique microscopique de Sorby dès 1850. Il s'agit d'identifier les techniques de production de sections fines qu'il utilise, leur origine et leur utilisation dans le cadre de l'observation de roches. Nous aborderons également l'existence d'un second foyer de production de sections fines de roches à partir de 1850, en Allemagne, autour de Oschatz.

Dans le but de répondre aux différentes questions suscitées par notre approche du prisme de Nicol, de la lumière polarisée, de la méthode de Des Cloizeaux et de la pratique microscopique de Sorby, nous avons construit un premier corpus de documents, constitué des publications de ces trois acteurs. Nous avons alors analysé ces publications sous l'angle des pratiques en identifiant et relevant les informations concernant les objets utilisés par les savants, comme par exemple le prisme de Nicol ou encore le microscope ou la lumière polarisée. De plus, nous avons relevé toutes les indications disponibles liées aux procédés de fabrication, qu'il s'agisse du prisme ou des sections fines. Notre corpus comprend également un ensemble d'articles au sein de journaux comme *Transactions of the microscopical Society of London*, le *Annalen der Physik und Chemie* et les *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences* afin d'identifier la présence de mentions du prisme de Nicol, du microscope ou des sections fines. Par ailleurs, les publications de David Brewster (1781-1868), Biot ou encore Wollaston relatives à la lumière polarisée ont enrichi ce corpus. Nous y avons relevé les différents dispositifs de polarisation et leurs diverses fonctions dans ces publications. Pour terminer, nous avons inclus dans notre corpus de recherches les catalogues de fabricants sur la période qui va de 1830 à 1860 pour identifier la présence du prisme ou encore des sections fines.

Chapitre 4 : Le prisme polarisateur de Nicol

Découverte par Etienne Louis Malus (1775-1812) en 1808, la polarisation de la lumière est une altération de la lumière naturelle, qui lui donne des propriétés différentes³³⁹. De nombreux savants s'intéressent à ce phénomène et conduisent des recherches sur ou avec la lumière polarisée. Ils observent et décrivent les phénomènes de polarisation, comme Jean Baptiste Biot (1774-1862)³⁴⁰ ou William Hyde Wollaston (1766-1828)³⁴¹, mais cherchent également à comprendre l'influence de la lumière polarisée sur des objets³⁴². De nombreux moyens sont à leur disposition pour polariser la lumière. Wollaston indique dans de nombreux articles les divers dispositifs qu'il utilise pour le faire. Il lui arrive d'employer du spath³⁴³. Brewster utilise des plaques d'agate ou encore du spath taillé en forme de prisme³⁴⁴. Biot, de son côté, utilise des plaques de cristal ou encore des plaques de tourmaline, taillées parallèlement à leurs axes. Des prismes en spath d'Islande³⁴⁵, en béryl, en tourmaline, ou encore en aragonite font partie du matériel à sa disposition. D'après Frédéric Leclercq, Biot se sert également dans ses expériences d'un prisme de Rochon³⁴⁶, même s'il ne le nomme jamais³⁴⁷. De même, François Arago (1786-1853) et Augustin Fresnel (1788-1827) mentionnent l'usage d'un rhomboïde de spath calcaire ou d'un prisme de roche achromatisé³⁴⁸. Biot utilise également d'autres dispositifs : des glaces réfléchissantes, du verre noir³⁴⁹ ou encore des piles réfringentes³⁵⁰. Ces

³³⁹ Nous reviendrons plus en détails sur cette notion dans le chapitre suivant. Mais la lumière polarisée est une lumière dont le champ magnétique et électrique est orienté dans un seul plan, nous sommes dans le cadre de ce travail dans une polarisation dite linéaire et nous n'évoquerons pas les autres types de polarisation de la lumière.

³⁴⁰ Jean-Baptiste BIOT, « Sur les propriétés optiques de la chaux carbonatée magnésifère vulgairement nommée Bitterspath », *Annales de chimie et de physique*, Tome 14, 1820, 192-198.

³⁴¹ William H. WOLLASTON, « On the oblique refraction of Iceland spar », *Philosophical Transactions of Royal Society of London*, Volume 92, 1802, p. 381-387.

³⁴² David BREWSTER, « On the optical and physical properties of tabasheer », *Philosophical Transactions of Royal Society of London*, Volume 109, 1819, p. 283-299 ou encore Jean-Baptiste BIOT, « Sur l'utilité des lois de la polarisation de la lumière pour manifester l'existence et la nature des systèmes cristallins », *Annales de chimie et de physique*, Tome 8, 1818, p. 438-440.

³⁴³ William H. WOLLASTON, « On the oblique refraction ... », *op.cit.*

³⁴⁴ David BREWSTER, « On the affections of light transmitted through crystallized bodies », *Philosophical Transactions of Royal Society of London*, Volume 104, 1814, p. 187-218.

³⁴⁵ Jean-Baptiste BIOT, « Nouvelles expériences sur le développement des forces polarisantes par la compression dans tous les sens des cristaux », *Annales de chimie et de physique*, Tome 3, 1816, p. 386-394.

³⁴⁶ C'est un prisme polarisateur fabriqué par l'abbé Alexis-Marie de Rochon (1741-1817), à la fin du XVIII^e siècle.

³⁴⁷ Frédéric LECLERCQ, *Jean Baptiste Biot (1774-1862) et la théorie corpusculaire de la lumière*, Thèse de doctorat, Université de Lille-1, 2008, p.85 note de bas de page.

³⁴⁸ Louis ARAGO, Auguste FRESNEL, « Mémoire sur l'action que les rayons de lumière polarisée exercent les uns sur les autres », *Annales de chimie et de physique*, Tome 10, 1819, p. 288-305.

³⁴⁹ Jean-Baptiste BIOT, « Sur une nouvelle propriété physique qu'acquiert les lames de verres quand elles exécutent des vibrations longitudinales », *Annales de chimie et de physique*, Tome 13, 1820, p.151-155.

³⁵⁰ Jean-Baptiste BIOT, « Sur un point de l'histoire de l'optique relatif aux phénomènes de polarisation », *Compte-rendu hebdomadaires de l'Académie des sciences*, Tome 15, juillet-Décembre 1842, 1842, p. 962-975.

exemples illustrent la diversité des dispositifs de polarisation disponibles à partir des années 1810.

D'après Leo Kristjánsson³⁵¹, en près de 20 ans, le prisme de Nicol devient quasi incontournable pour la communauté scientifique. Ce prisme provient de la publication par William Nicol (1770-1851) – celui-là même qui fabrique des sections fines de végétaux fossiles- en 1829, d'un article sur un prisme polarisateur. Il s'insère dans ce contexte d'offres très diversifiées que nous venons d'évoquer. En quoi ce prisme se démarque-t-il des autres dispositifs sur le marché ?

Pour répondre à cette question, nous avons choisi d'appliquer la méthodologie préconisée par Simondon :

« C'est à partir des critères de la genèse que l'on peut définir l'individualité et la spécificité de l'objet technique. »³⁵²

Nous avons alors effectué une analyse de la publication en 1829 de Nicol pour identifier les méthodes et matériaux mobilisés, par ce dernier, ainsi que la spécificité de son prisme. L'étude de deux autres prismes, celui de Rochon et de Wollaston, en mobilisant la même méthode, s'ajoute à cette première analyse. Il s'agit alors de s'interroger sur l'insertion du prisme de Nicol dans une « lignée technique » de prismes polarisateurs en étudiant ces trois prismes pour identifier les méthodes et les matériaux utilisés. Les lignées techniques d'objets s'insèrent dans une approche naturaliste du monde technique. Elles sont définies « à partir de la fonction d'usage de l'objet et des principes mis en œuvre dans l'objet »³⁵³. Les travaux d'André Leroi-Gourhan s'inscrivent dans cette vision tout en posant la question de l'articulation de l'évolution graduelle et des mécanismes d'invention. Des lois d'évolution des objets sont alors émises par Simondon notamment sur la genèse des objets. L'une d'elle, mentionnée par Bruno Jacomy est la loi de récupération de l'existant :

« Rares sont les inventions qui ne se fondent pas sur des techniques éprouvées, le talent de l'inventeur consistant justement à savoir jeter des ponts entre des domaines apparemment éloignés »³⁵⁴.

Pour répondre à la question de l'insertion de l'objet dans une lignée technique et des raisons de l'utilisation aussi rapide du prisme de Nicol, notre première démarche a été de chercher les sources éventuelles d'inspiration dans l'assemblage et les matériaux de construction que Nicol utilise. Nous avons également recherché des informations qui renseignent sur la circulation et la commercialisation du prisme dans les années 1830.

Pour terminer, l'assertion de Kristjánsson sur l'omniprésence du prisme en 1850 invite également à s'interroger sur l'insertion précoce du prisme de Nicol dans les montages

³⁵¹ Leo KRISTJÁNSSON, « Iceland spar and its legacy in science », *History of geo-and space sciences*, n°3, 2012, p. 117-126

³⁵² Gilbert SIMONDON, *Du mode d'existence des objets techniques*, Aubier, réédition 1989, p.20.

³⁵³ Bruno JACOMY, *L'âge du plip, chroniques de l'innovation technique*, Editions du seuil, 2002, p. 154

³⁵⁴ Bruno JACOMY, *L'âge du plip...*, *op.cit.*, p. 158.

expérimentaux et de son usage par les savants dans les décennies qui suivent la parution de l'article.

I. Publier pour fabriquer et utiliser le prisme

Dans cette première partie, nous revenons en détail sur la publication de Nicol en 1829 à propos de son prisme polarisateur. Elle renseigne à la fois sur les détails de fabrication du prisme, son usage et son insertion dans une offre de dispositifs de polarisation déjà existante.

En 1829, William Nicol publie dans le *Edinburgh New Philosophical Journal* un article qui s'intitule « On a method of so far increasing the divergency of the two rays in calcareous spar, that only one image may be seen at a time »³⁵⁵. Le titre peut être traduit par « Sur le moyen de tant faire augmenter la divergence des deux rayons du spath calcaire, qu'une seule image serait visible à la fois »³⁵⁶. Nicol y expose une méthode de construction d'un prisme en calcite qui a pour but d'éliminer l'une des deux images produites par ce cristal biréfringent, d'où son nom de prisme « à simple vue ».

³⁵⁵ William NICOL, «On a method of so far increasing the divergency of the two rays in Calcareous-spar, that only one image may be seen at a time », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Volume 6, Octobre 1828- Mars 1829, 1829, p. 83-84.

³⁵⁶ Nous avons effectué une traduction complète de l'article en Annexe 2, p. 342.



Figure 22 : Photographie d'un prisme à simple vue de W. Nicol³⁵⁷.

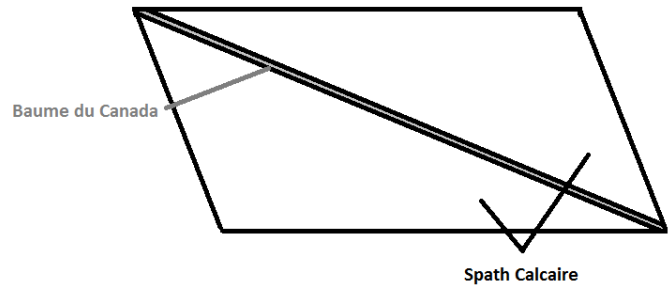


Figure 23 : Représentation d'un prisme à simple vue de W. Nicol.

Ne comptant que deux pages, il s'agit d'un article très court³⁵⁸, par rapport aux autres publications de Nicol qui comptent en moyenne quatre pages. Il est transmis par l'auteur à l'éditeur du journal, Robert Jameson (1774-1854). Il est assez descriptif et technique. Il comporte une introduction dans laquelle Nicol présente son propos accompagné d'une possible utilisation de ce prisme. Celle-ci est suivie par la description du procédé de fabrication, puis de l'analyse de l'effet du prisme sur la lumière. L'auteur ajoute enfin quelques précisions supplémentaires sur certaines étapes de sa fabrication.

Encart 11 : Construction d'un prisme à simple vue, d'après W. Nicol.

Pour fabriquer un tel prisme, William Nicol conseille de prendre un rhomboïde naturel de spath calcaire³⁵⁹ d'un pouce de long et de $3/10^e$ de pouce de largeur et d'épaisseur, et de le retailler afin d'obtenir des angles aigus de 68° . Les nouvelles faces obtenues doivent alors être polies. En effet, à l'état naturel, la calcite cristallise dans un système cristallin rhomboédrique dont les sections principales ont des angles de 71° et 109° .

En diminuant de 3° les angles aigus du rhomboïde, l'obliquité des faces terminales est augmentée, comme le montre le prisme grisé dans la figure ci-dessous.

³⁵⁷ Source : Muséum d'histoire naturelle d'Edimbourg http://www.nms.ac.uk/explore/collection-search-results/?item_id=173298

³⁵⁸ Environ 639 mots.

³⁵⁹ Synonyme de calcite, minéral composé de carbonate de calcium CaCO_3 .

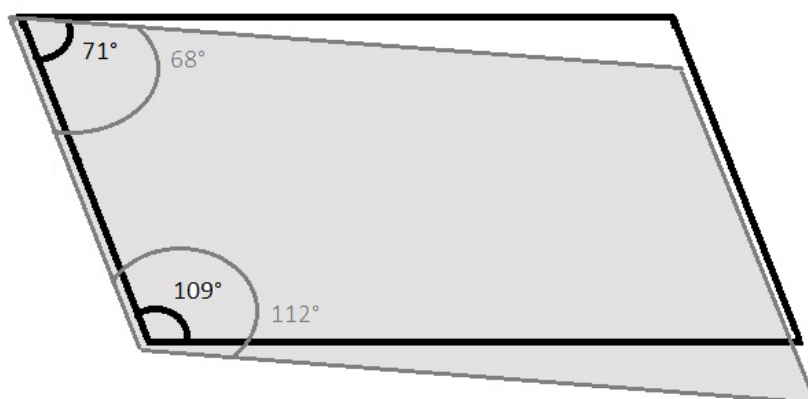


Figure 24 : Illustration de la première étape de taille du rhomboèdre de calcite.

La construction du prisme se poursuit par la division en deux parties identiques du rhomboïde, suivant un plan qui passe par sa plus longue diagonale. Le plan de découpe du rhomboïde passe par les angles aigus latéraux. Son inclinaison est telle qu'elle touche les deux angles obtus latéraux. Ainsi, les nouveaux plans produits, forment un angle de 90° avec chaque face terminale des deux demi-rhomboides. Les deux faces nouvellement obtenues sont préalablement polies puis jointes par une résine, le baume du Canada, afin de reconstituer un rhomboïde. Le prisme est alors fonctionnel. Les étapes décrites sont représentées ci-dessous.

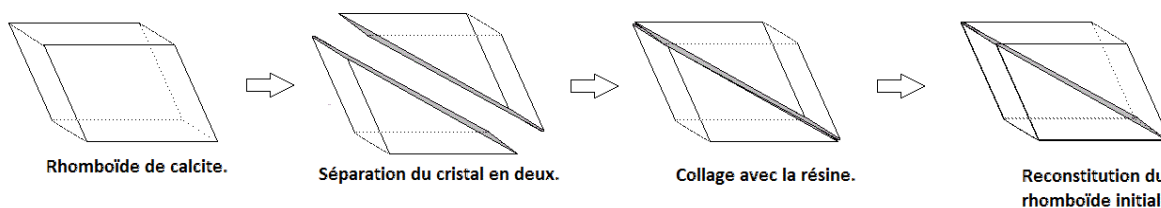


Figure 25 : Récapitulatif des différentes étapes de la construction d'un prisme de Nicol.

L'auteur est précis dans les indications qu'il donne à propos de la construction et avertit le lecteur de la difficulté de fabrication, spécialement lors de la division du rhomboïde en deux parties. Aussi propose-t-il en fin d'article, un second procédé moins difficile, mais qui requiert quand même une certaine habileté³⁶⁰. Cette technique a l'inconvénient de consommer une double quantité de spath d'Islande pour produire un seul prisme, la perte de matière est alors plus importante. Elle est cependant plus facile à reproduire par des expérimentateurs moins habiles et permet de conserver un demi-rhomboides si l'opération de séparation utilisée lors de la première méthode est mal conduite.

³⁶⁰ Les mêmes étapes précédentes sont reproduites sur deux morceaux de calcite identiques, cependant le fabricant ne se préoccupe de garder intacts que deux demi-rhomboides.

Nicol donne également quelques conseils supplémentaires de fabrication, comme les dimensions utiles pour un échantillon plus grand ou la façon de positionner les extrémités des rhomboïdes afin que l'adhésion soit la plus forte possible. Un dernier point important est celui de ne pas polir les autres faces du prisme, afin d'empêcher la réflexion de la lumière externe au montage, lors de son utilisation.

Pour en revenir à l'usage du prisme, la phrase introductive de l'article permet de comprendre à quoi celui-ci est destiné.

« La simple méthode suivante consistant en la construction d'un prisme de spath calcaire, afin qu'une seule image soit perçue à la fois, intéressera peut-être ceux qui ont l'habitude d'examiner les propriétés optiques des corps cristallins par l'intermédiaire de la lumière polarisée »³⁶¹.

Nicol fait ici référence aux recherches, nécessitant l'usage de la lumière polarisée, dans lesquelles le prisme aurait sa place. Ces recherches, entre autres, nécessitent l'utilisation de lumière polarisée et le prisme peut y être intégré. L'unique précision de Nicol à propos de ces recherches est l'examen des propriétés optiques des corps cristallins. Cet usage du prisme et de la lumière polarisée est d'autant plus intéressant qu'il suggère l'existence de recherches liant lumière polarisée et cristaux. La lumière polarisée, produite par le prisme permettrait alors d'étudier les propriétés optiques des cristaux. La suggestion de Nicol et les usages qu'elle implique nous amènent à nous interroger sur la nature de ces recherches et sur les méthodes utilisées pour étudier ces propriétés optiques³⁶².

Le savant indique également que son prisme permet de ne percevoir qu'une seule image. C'est assez inédit, dans l'offre des prismes polarisateurs commercialisés à cette époque, et ce pour deux raisons. La première est qu'il n'existe pas à notre connaissance de prismes polarisateurs commercialisés qui ne permettent d'obtenir qu'une seule image. La seconde raison est la biréfringence de la calcite. Lorsqu'un observateur perçoit une image au travers d'un morceau de calcite, celui-ci apparaît double, c'est une propriété optique que possède la calcite, la biréfringence.

Encart 12 : Biréfringence et double image.

Les cristaux de calcite, dont fait partie le spath d'Islande utilisé par Nicol, cristallisent dans le système rhomboédrique. Ils sont anisotropes ce qui signifie que certaines de leurs propriétés varient en fonction des directions et ils sont biréfringents. Autrement dit, un rayon incident donne deux rayons réfractés de vitesse et de direction différentes, d'où également l'appellation de double réfraction pour qualifier les propriétés de ces minéraux.

³⁶¹ William NICOL, « On a method of so far... », *op.cit.*, p. 83.

³⁶² Ces questions seront abordées dans le chapitre suivant.

La calcite possède deux indices de réfraction, l'indice de réfraction ordinaire de 1,6543 et un indice de réfraction extraordinaire de 1,4833, et ceci explique pourquoi un objet vu au travers d'un cristal de calcite est vu double.



Figure 26 : Démonstration de la double réfraction chez le spath d'Islande.

Or dans le cas du prisme à simple vue de Nicol, l'image est unique. Nicol explique ce phénomène par la construction du prisme. Ainsi, quand un rayon de lumière naturelle entre parallèlement aux faces latérales dans le prisme par les faces terminales, il se divise en deux. Ces deux rayons sont tellement déviés l'un de l'autre d'après Nicol, qu'un seul d'entre eux (le rayon extraordinaire) parvient à sortir du prisme et être perçu par l'observateur, d'où la distinction d'une seule image.

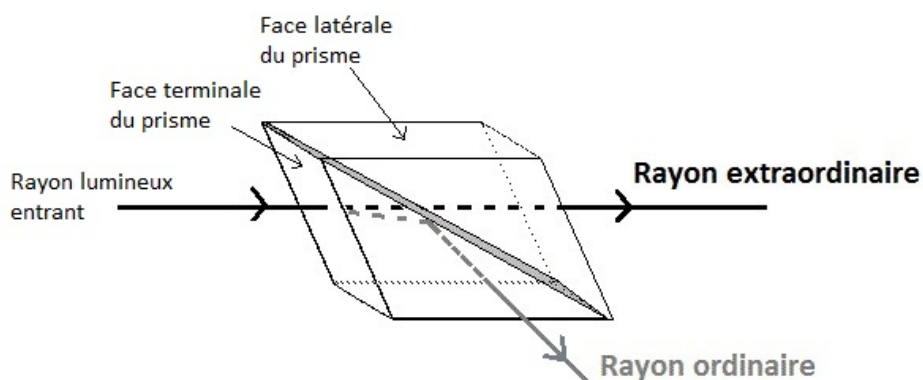


Figure 27 : Illustration du trajet de la lumière à travers un prisme de Nicol.

Afin d'optimiser les effets du prisme, Nicol recommande de faire entrer les rayons lumineux parallèlement aux angles latéraux. Il vante aussi les propriétés polarisatrices de son prisme en les comparant à d'autres moyens de polarisation utilisés à cette époque. Par exemple, la brillance constatée lors de l'utilisation de son prisme n'équivaut à celle d'aucune autre

substance existante, pas même la tourmaline très appréciée à cette époque avec la calcite pour son fort pouvoir polarisateur. Cependant, la coloration de la tourmaline peut être un inconvénient lorsque les teintes de polarisation sont observées. Le quartz est alors utilisé en raison de sa transparence, même si son pouvoir polarisateur est moindre.

Ces commentaires suggèrent que le prisme de Nicol surpasse les autres moyens de polarisation disponibles dans les années 1830. Cette comparaison témoigne également de façon indirecte de la connaissance de Nicol de cet objet d'étude en plein développement et sur les moyens disponibles pour étudier les phénomènes issus de la polarisation de la lumière sur diverses substances. En effet, Nicol n'est pas sans connaître Brewster, puisqu'il lui a fourni des sections fines pour ses études sur la lumière polarisée, et il a sans doute pris connaissance de ses travaux à ce sujet. De plus, Moyes, avant sa mort, est aussi réputé pour ses travaux en optique, ce qui invite à penser que Nicol détiendrait des connaissances dans ce domaine, connaissances qu'il aurait mobilisées afin de construire son prisme polarisateur.

II. Le prisme de Nicol dans l'offre des prismes polarisateurs (1800-1830)

L'article publié par Nicol en 1829 a pour objet un prisme polarisateur de lumière. Construit à partir de deux hémi-rhomboides de spath d'Islande collés à l'aide de baume du Canada, il possède la spécificité de ne produire qu'un seul rayon de lumière polarisée. Il existe cependant d'autres dispositifs de polarisation, comme nous l'avons mentionné en introduction et la place de ce nouveau prisme par rapport aux autres prismes se pose. Qu'est-ce qui dans ses matériaux le différencie des autres ? Existe-t-il des éléments communs qui suggèreraient que Nicol s'inspire de dispositifs déjà existants ?

Construire un prisme en calcite et résine

Le choix des matériaux de construction du prisme est très important puisqu'ils lui confèrent ses propriétés optiques particulières, c'est à dire d'obtenir une seule image. Le premier choix de Nicol, et non le moindre, est celui du spath d'Islande comme matériau constitutif de son prisme.

Le spath d'Islande, encore nommé calcite, a été l'objet de nombreuses études. Erasmus Bartholin en 1670 publie un traité sur ce dernier³⁶³. Sa propriété de double réfraction en fait un minéral particulièrement intéressant en optique et la découverte de la polarisation de la lumière ne fait qu'accroître cet intérêt. En effet, dès les années 1810, le spath est régulièrement utilisé comme dispositif de polarisation dans les montages optiques. Brewster³⁶⁴ ou encore Biot³⁶⁵ l'utilisent en plaques ou bien sous forme de prisme pour polariser la lumière mais aussi pour analyser un faisceau de lumière déjà polarisée. De plus, l'écart des indices minimum et maximum de réfraction de la calcite est assez important³⁶⁶, lui conférant un bon pouvoir polarisant et par conséquent intéressant expérimentalement. Nicol confirme par le commentaire suivant avoir des connaissances sur les propriétés polarisatrices du spath puisqu'il a étudié ses effets sur la lumière polarisée dans les années 1815-20 :

« Lorsque dans un premier temps, j'ai commencé à préparer de telles sections, j'ai eu recours à un procédé que j'ai pratiqué depuis quinze ans, en préparant des fines sections de la plus fragile des substances, tel que le spath calcaire, afin d'examiner ses effets sur la lumière polarisée.³⁶⁷ »

Ainsi, le spath a été choisi à la fois pour ses propriétés polarisatrices mais aussi pour sa transparence.

Nicol spécifie également que la calcite provient d'Islande. Cette précision prend alors toute son importance par l'éclairage que nous apporte Leó Kristjánsson sur son exploitation dans le pays. En effet, la calcite est présente un peu partout en Europe, mais ne présente pas les mêmes qualités optiques que l'islandaise. La calcite étudiée par Erasmus Bartholin (1625-1698)³⁶⁸ provient d'échantillons islandais, montrant ainsi qu'une tradition historique de calcite islandaise existe. Cette calcite provient de l'altération du basalte. Les filons y sont très importants et de nombreux savants en voyage géologique sont priés d'en ramener des échantillons lors de leur passage dans le pays. Cette demande est due à de multiples facteurs. Le premier est lié aux caractéristiques physiques de cette calcite islandaise. Généralement les cristaux présents dans ces cavités sont de grandes tailles, dépassant les quinze centimètres et sont chimiquement purs. De plus ceux-ci sont transparents, sans défaut, ni inclusion et les faces issues des plans de clivages sont douces³⁶⁹. L'ensemble de ces propriétés contribue à en faire un très bon matériau pour produire notamment de la lumière polarisée et participe à son usage massif. Le dernier facteur concourant à la présence forte de la calcite islandaise en Europe est sans doute

³⁶³ Erasmus BARTHOLIN, *Experimenta crystalli islandici disclastici – quibus mira et insolita refraction detegitur*, sumptibus Danielis Paulli, Hafinae, 1670, 60 pages.

³⁶⁴ David BREWSTER, « On the affections of light transmitted through crystallized bodies », *Philosophical Transactions of Royal Society of London*, Volume 104, 1814, p. 187-218

³⁶⁵ Jean-Baptiste BIOT, « Nouvelles expériences sur le développement des forces polarisantes par la compression dans tous les sens des cristaux », *Annales de chimie et de physique*, Tome 3, 1816, p. 386-394.

³⁶⁶ Pour la calcite $n_o = 1,658$ et $n_e = 1,486$.

³⁶⁷ William NICOL, « Observations on the structure of recent and fossil conifers », *The Edinburg New Philosophical Journal*, Volume 16, Octobre 1833-Avril 1834, 1834, p.156.

³⁶⁸ Bartholin rencontre lors d'un voyage en Europe Christiaan Huygens. Il est diplômé de l'université de Padoue en 1654 et publie notamment *Experimenta crystalli islandici disclastici – quibus mira et insolita refraction detegitur* en 1670 dans lequel il analyse le phénomène de double réfraction propre à la calcite.

³⁶⁹ Leó KRISTJÁNSSON, « Iceland spar: the Helgustadir calcite locality and its influence on the development of science », *Journal of Geosciences Education*, Volume 50, n°4, 2002, p. 419.

l'exploitation d'un gisement, situé près de la localité d'Helgustadir, dont le rendement est très important au début du XIX^e siècle. L'organisation d'une exploitation régulière du gisement ainsi que du commerce de cette calcite d'Islande contribue à alimenter un marché européen de plus en plus demandeur de ce produit. Cependant, comme le mentionne Leó Kristjánsson³⁷⁰, le site d'Helgustadir a parfois quelques difficultés à répondre à cette demande, ce qui entraîne de véritables pénuries. Les savants en sont alors réduits lors de leurs voyages géologiques islandais à ramener le plus discrètement possible des morceaux de calcite, comme c'est le cas du minéralogiste d'Alfred Des Cloizeaux en 1845 et 1846³⁷¹. Des Cloizeaux à partir de 1857 étudie les propriétés optiques des cristaux sous la lumière polarisée. Nous reviendrons davantage sur ses travaux et son usage du prisme de Nicol dans le Chapitre 5.

L'autre matériau choisi est le baume du Canada. Le baume du Canada doit subir des manipulations au préalable afin d'être suffisamment collant. L'ensemble des étapes a été relaté au chapitre précédent³⁷². C'est également un choix conscient de la part de Nicol. Les propriétés optiques du baume sont particulièrement intéressantes afin de conserver la transparence d'un échantillon. Nicol exploite également ses propriétés adhésives afin de reconstituer son rhomboïde initial. De plus, l'usage d'une résine pour fixer deux éléments taillés permet de limiter les imperfections issues d'un polissage ou d'une découpe imparfaite. Cette propriété, associée à sa transparence en fait un bon médium. Par exemple, l'usage du baume du Canada est mentionné par Wollaston pour ses propriétés optiques adhésives mais également pour ces propriétés optiques³⁷³. Wollaston utilise une autre résine, le baume de Tolu en 1803³⁷⁴. Il semblerait que ce soit autour de cette date que le savant ait utilisé du baume du Canada et l'ait ensuite adopté pour effectuer ces montages.

Ainsi Nicol sélectionne les deux matériaux constitutifs de son prisme en ayant connaissance de leurs propriétés optiques mais également parce qu'ils sont utilisés dans d'autres prismes polarisateurs. Il combine à la fois la transparence du baume du Canada et la biréfringence de calcite, pour obtenir un prisme très transparent possédant la propriété d'éliminer l'un des rayons issus de la double réfraction de la calcite.

³⁷⁰Leó KRISTJÁNSSON, « Iceland spar: the Helgustadir ... », *ibid.*

³⁷¹ Caroline KASPAR, *Optique et Minéralogie au XIX^e siècle. L'approche interdisciplinaire d'Alfred Des Cloizeaux*, Thèse de doctorat, Université de Lyon-1, p. 85.

³⁷² Voir le Chapitre 3 Encart 8 : Préparation et utilisation du baume du Canada d'après l'ouvrage de H. Witham. p.72 .

³⁷³ William H. WOLLASTON, « Nouvelles méthodes d'examen des pouvoirs des corps pour la réfraction et dispersion de la lumière, etc. », *Annales de chimie*, Tome 46, 1803, p.51.

³⁷⁴ William H. WOLLASTON, « Sur la réfraction oblique du cristal d'Islande », *Annales de chimie*, Tome 46, 1803, p. 66.

Une offre variée de prismes polarisateurs

D'autres prismes polarisateurs sont disponibles pour les savants souhaitant utiliser ces dispositifs au moment où Nicol publie son article en 1829. Le prisme de Rochon, du nom de son inventeur, en est un exemple (voir à ce propos Frise 2, p.128).

L'abbé Alexis-Marie de Rochon (1741-1817), astronome mais s'intéressant également aux instruments optiques, publie à ce propos assez régulièrement³⁷⁵. Le prisme de Rochon obtient sa forme définitive à partir de 1784 où sous les conseils de P. Beccaria, l'abbé taille deux prismes de spath identiques, qu'il place à angle droit l'un de l'autre. Cependant, l'un des prismes est taillé dans le sens de la double réfraction, alors que le second dans le sens où la double réfraction n'est pas perceptible.

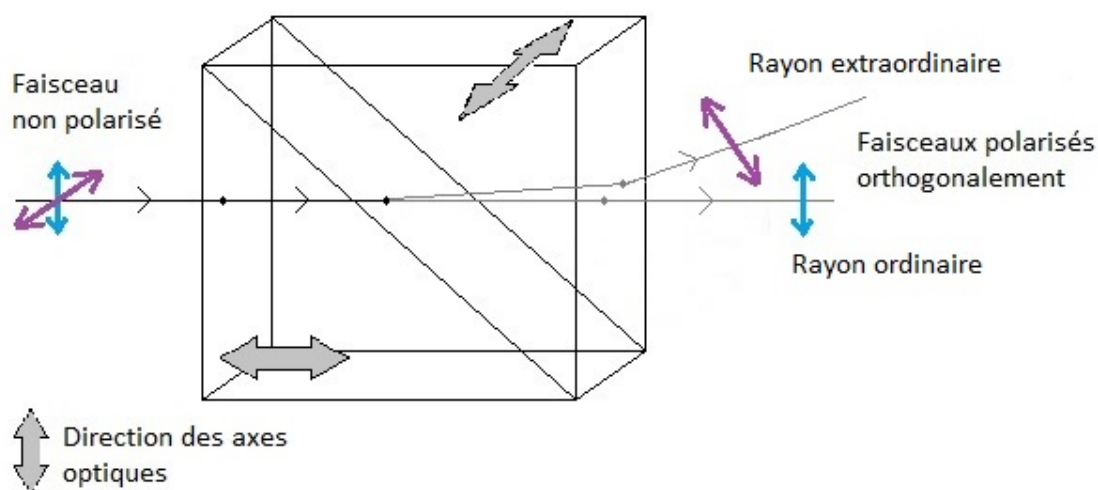


Figure 28 : Illustration du prisme de Rochon et de son action sur la lumière.

Les deux parties du prisme sont collées à l'aide de résine, dont la nature n'est pas précisée par Rochon. Ce choix s'explique notamment parce que Rochon travaille aussi sur l'amélioration des objectifs achromatiques et propose dans une communication en 1774³⁷⁶, l'insertion d'un fluide entre les deux verres. Ce fluide est dans un premier temps de l'eau. Mais pour des raisons techniques, le savant Jean Baptiste de Grateloup (1735-1817)³⁷⁷ lui préférerait, d'après Rochon, une résine nommée mastic en larme, utilisée par les joailliers. Celui-ci à l'avantage,

³⁷⁵ Notons par exemple son « Mémoire sur les verres acromatiques, adaptés à la mesure des angles, et sur les avantages que l'on peut retirer de la double réfraction pour la mesure précise des petits angles » *Journal de Physique, de Chimie, d'Histoire Naturelle et des Arts*, Tome 53, 1801, p. 169-198.

³⁷⁶ Alexis-Marie de ROCHON, « Mémoire sur les verres acromatiques, adaptés à la mesure des angles, et sur les avantages que l'on peut retirer de la double réfraction pour la mesure précise des petits angles » *Journal de Physique, de Chimie, d'Histoire Naturelle et des Arts*, Tome 53, 1801, p. 175.

³⁷⁷ Nous avons peu d'information sur cette personne. Il serait graveur d'après les indications issues de la Bibliothèque Nationale de France. Il a publié en 1878 un *Mémoire sur l'optique. Moyen de perfectionner les objectifs des lunettes achromatiques*.

contrairement à l'eau de ne pas s'évaporer et d'être plus solide. En raison de la transparence de ce mastic, Grateloup l'utilise pour coller deux objectifs ensemble. Rochon s'inspire de cette idée, mais critique le matériau³⁷⁸, qui nécessite une chaleur trop forte pour être décollé et risque alors de modifier les courbures des verres impliqués dans le montage. Il utilise davantage de la résine ou de la térébenthine, dont l'origine n'est pas précisée, mais sa transparence est mise en évidence par l'auteur. Rochon reprend alors cet usage de la résine pour coller son prisme.

Ce prisme polarisateur ne va pas dévier le rayon ordinaire, tandis que le rayon extraordinaire l'est. Les deux rayons sont polarisés orthogonalement l'un par rapport à l'autre. Il est largement diffusé et utilisé, grâce à sa présence dans les lunettes astronomiques et dans les micromètres prismatiques, également inventés par Rochon³⁷⁹. Par ailleurs, Wollaston mentionne le micromètre de Rochon et son prisme en 1820 dont il essaie de reproduire les propriétés optiques³⁸⁰.

Deux autres dispositifs sont mentionnés ou existent dans les années 1830, le prisme de Wollaston et le dispositif de Brewster. Ce dispositif, décrit dans un article en 1849³⁸¹, est constitué de l'assemblage d'une tourmaline avec une lentille plano-convexe et n'est pas identique aux prismes évoqués précédemment. Brewster l'utilise afin de réaliser ses expériences sur la polarisation des cristaux. Il illumine alors les objets avec de la lumière polarisée réfléchie sur un verre ou sur une surface laquée, qu'il observe à travers cet assemblage. En 1833, une invention de Brewster permettant d'éliminer une des images d'un cristal biréfringent est également mentionnée³⁸². Il est probable que ces deux dispositifs soient les mêmes, car les effets décrits sont identiques. En ce qui concerne le prisme inventé par le physicien Wollaston, sa construction reprend celle de Rochon, avec l'assemblage de deux héli-rhomboïdes. Nous avons déduit la période de création du prisme entre 1805 et 1820 car elle coïncide avec celle où Wollaston se consacre à ses travaux en optique. Les prismes sont constitués de spath calcaire également collé à l'aide de mastic ou d'une résine.

Encart 13 : Le prisme de Wollaston.

La construction de Wollaston est sensiblement la même que celle de l'Abbé Rochon. Elle reprend deux prismes de spath calcaire, collés entre eux avec de la résine. Cependant, les deux prismes sont positionnés de telle sorte que leurs axes optiques forment un angle droit ensemble. Lorsqu'un faisceau de lumière traverse le prisme, deux rayons sont générés, en raison du milieu biréfringent traversé. Les deux faisceaux sont polarisés orthogonalement l'un par rapport à l'autre et leur divergence peut varier de quelques minutes jusqu'à 45°.

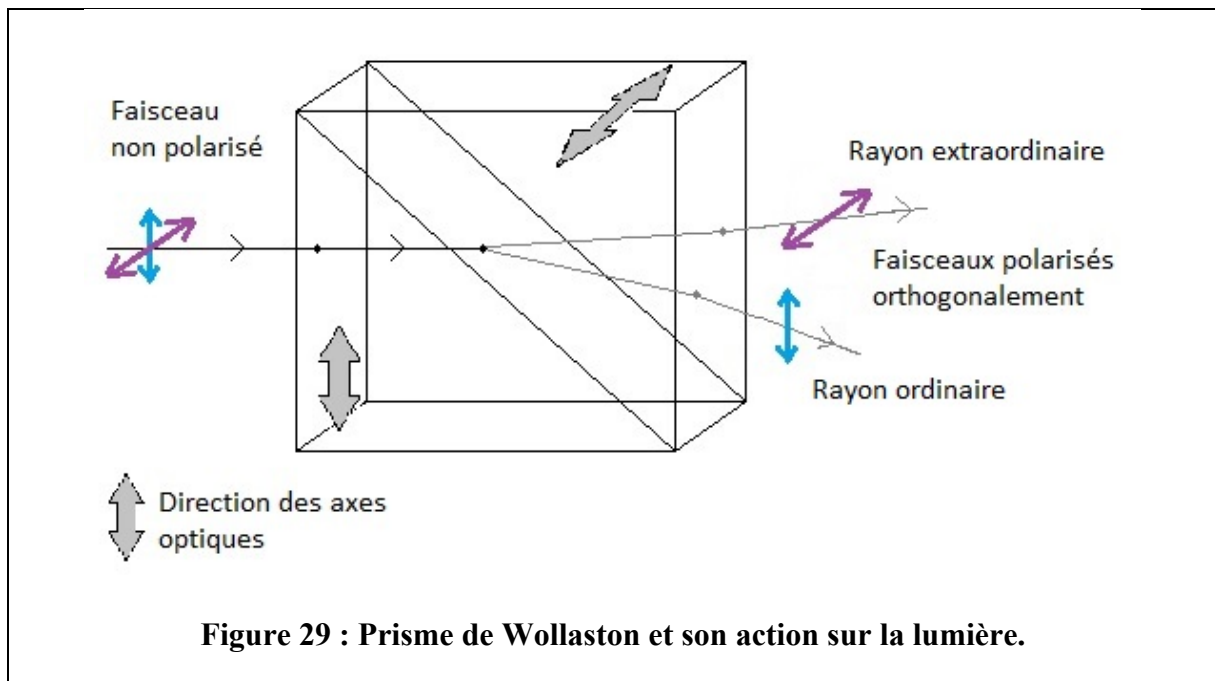
³⁷⁸ Alexis-Marie de ROCHON, « Mémoire sur les verres acromatiques... », *op.cit.*, p. 180.

³⁷⁹ Danielle FAUQUE, « Alexis-Marie Rochon (1741-1817), savant, astronome et opticien », *Revue d'histoire des sciences*, Volume 38, n°1, 1985, p.33-34

³⁸⁰ William H. WOLLASTON, « On the methods of Cutting Crystals for micrometers » *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Volume 110, 1820, p.126

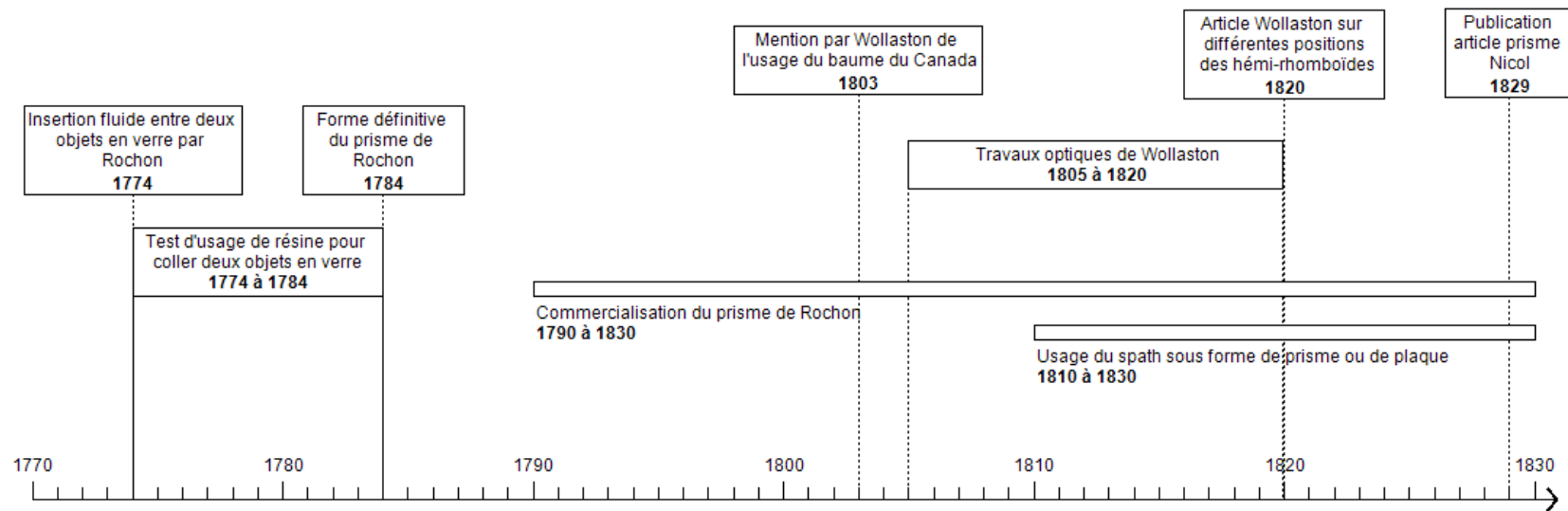
³⁸¹ M.S. LEGG « Addendum to the paper "On the application of polarized light in microscopic investigation", *The Transactions of the microscopical Society of London*, Volume 2, 1849, p. 122.

³⁸² ANONYME, « Mittel, die Divergenz der beiden Bilder eines Kalkspaths so zu vergrößern, dafs nur eins zur Zeit gesehen wird », *Annalen der Physik und chemie*, Leipzig, Tome 205, série 2 Tome 29, 1833, p. 182.



Dans un dernier article, un auteur anonyme évoque un autre prisme, de construction similaire à celui de Wollaston, mais en quartz. D'après cet auteur, le prisme est décrit dans le *Traité de la lumière* de John Herschel (1792-1871)³⁸³.

³⁸³ ANONYME, « Mittel, die Divergenz ... », *op.cit.*, p. 182.



Frise 2 : Chronologie récapitulative des différents éléments relatifs à la construction des prismes polarisateurs entre 1770 et 1829.

La figure ci-dessus illustre les éléments chronologiques relatifs à la fabrication et circulation des prismes de Rochon, de Wollaston et de Nicol. Il existe donc d'autres prismes polarisateurs en 1829, dont les matériaux et les formes sont proches.

Le prisme de Nicol dans une lignée technique

De nombreux points communs existent entre les prismes de Wollaston, de Rochon et de Nicol. Le prisme de Nicol est le dernier chronologiquement à être fabriqué et nous allons montrer que Nicol s'est inspiré des matériaux et des constructions déjà existants pour concevoir le sien.

Tout d'abord, Nicol a sans doute possédé ou pu étudier un prisme de Rochon. En effet, d'après Danielle Fauque, l'objet est commercialisé dans toute l'Europe. Les caractéristiques du prisme de Rochon, rhomboïde recomposé, se retrouvent également dans le prisme de Wollaston. Ce dernier étudie à ce propos la taille en deux héli-rhomboïdes dans un article de 1820 *On the methods of Cutting Crystals for micrometers*³⁸⁴. Cet article a pour but de faciliter la construction de prismes par le jeu de combinaisons optiques³⁸⁵. L'auteur propose alors trois manipulations pour obtenir des prismes dont les axes optiques sont orientés différemment. Il est également possible que Nicol ait pris connaissance de l'article de Wollaston.

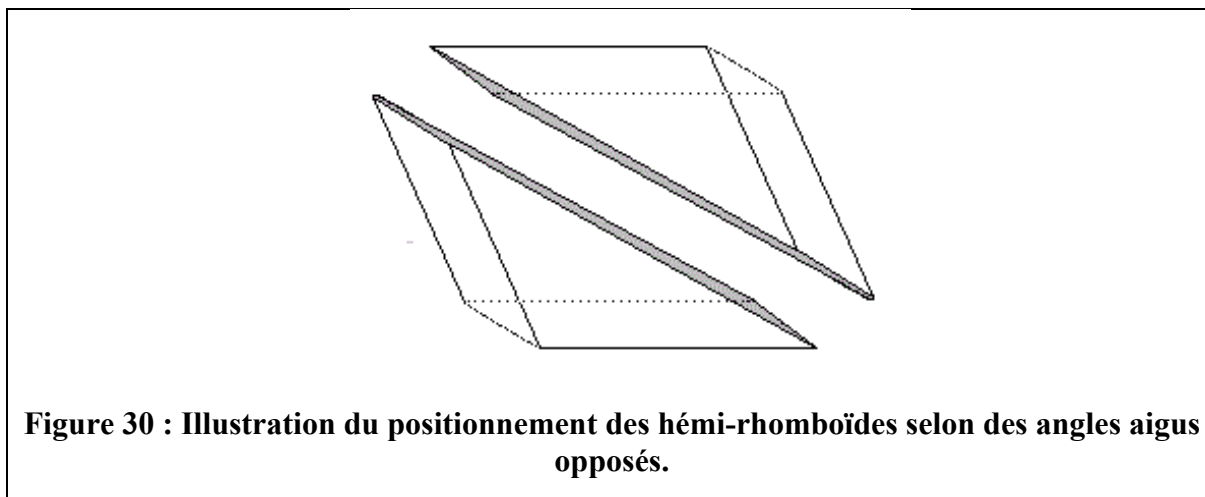
Encart 14 : Trois montages de prismes d'après Wollaston.

Wollaston propose de tailler trois héli-rhomboïdes. Le premier a un axe optique perpendiculaire à la première surface, le second a son axe optique parallèle à la première surface et parallèle à l'angle aigu et le troisième a un axe optique parallèle à la première surface mais à 90° de l'angle aigu. Par la suite, le savant construit trois combinaisons différentes de prismes en prenant l'un ou l'autre des héli-rhomboïdes³⁸⁶ et en les disposant selon des angles aigus opposés afin d'étudier les propriétés optiques qu'ils développent.

³⁸⁴ William Hyde WOLLASTON, « On the methods of Cutting Crystals for micrometers » *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Volume 110, 1820, p.126-131.

³⁸⁵ Wollaston mentionne à ce propos Rochon et son prisme dont l'usage est récurrent dans les micromètres.

³⁸⁶ Il combine le premier avec le second, puis le troisième avec le premier et enfin le troisième avec le second.



Ces différentes propositions de Wollaston pourraient donc être une source d'inspiration pour Nicol dans l'assemblage de son prisme, tout comme peut l'être la construction du prisme de Rochon.

L'usage de résine est également commun puisque Rochon utilise ce médium pour faire adhérer ensemble ses héli-rhomboides. D'autres savants comme Brewster et Wollaston indiquent utiliser du baume dans certains de leurs articles³⁸⁷. Par exemple, dans une traduction française d'un article de Wollaston³⁸⁸, l'auteur révèle l'usage du baume du Canada. Nicol peut s'inspirer de ces pratiques. L'origine peut également provenir des travaux qu'il conduit lui-même à propos des sections fines de végétaux fossiles et dont il publie des articles à partir de 1831. A ce titre, l'auteur explique à propos des sections fines qu'il s'est exercé à les produire sur des substances telles que le spath lorsqu'il voulait en observer les phénomènes optiques sous lumière polarisée³⁸⁹. L'usage de ce médium n'est pas explicitement mentionné comme étant utilisé par l'auteur, mais Nicol l'utilise avant la publication de son article et plus sûrement lorsqu'il s'essaie à produire des sections fines, soit entre les années 1815-1820.

Le prisme de Nicol est construit en mobilisant des matériaux déjà éprouvés comme la résine ou encore le spath d'Islande. Rappelons que Biot ou encore Brewster utilisent la calcite sous forme de prisme entier pour polariser la lumière. Sa structure est également commune à d'autres prismes. L'assemblage de deux héli-rhomboides, pour en reconstituer un, se retrouve aussi pour ceux de Rochon et Wollaston, bien que pour ces derniers la résine utilisée n'est pas spécifiée.

³⁸⁷ Brewster mentionne l'utilisation du baume de Capivi par exemple en 1819.

³⁸⁸ William Hyde WOLLASTON, « Nouvelles méthode d'examen des pouvoirs des corps pour la réfraction et dispersion de la lumière, etc. », *Annales de chimie*, Tome 46, 1803, p. 36-62.

³⁸⁹ « Lorsque dans un premier temps, j'ai commencé à préparer de telles sections, j'ai eu recours à un procédé que j'ai pratiqué depuis quinze ans, en préparant des fines sections de la plus fragile des substances, tel que le spath calcaire, afin d'examiner ses effets sur la lumière polarisée. » extrait de William NICOL, « Observations on the structure of recent and fossil conifers », *The Edinburg New Philosophical Journal*, Volume 16, Octobre 1833-Avril 1834, 1834, p.156.

Le prisme de Nicol se distingue des autres prismes dans le choix de l'orientation des axes optiques des deux hémirhomboïdes du spath. Cette orientation et la couche de baume du Canada lui confère des propriétés uniques lui permettant de ne conserver qu'une seule image.

Lorsque nous analysons la construction du prisme de Nicol en termes de lignée technique, nous comprenons alors les choix qu'effectue le savant sur les matériaux qu'il utilise pour le construire. Nous comprenons également le montage du prisme avec la réunion de deux hémirhomboïdes. Pour terminer, l'originalité du montage que propose Nicol apparaît plus distinctement parmi l'offre de prismes disponibles à cette époque. La figure ci-après représente cette analyse pour les dispositifs de polarisation que nous avons rencontrés dans notre travail. Il mériterait d'être approfondi à d'autres montages sur la période et dont la commercialisation serait visible dans des catalogues des fabricants.

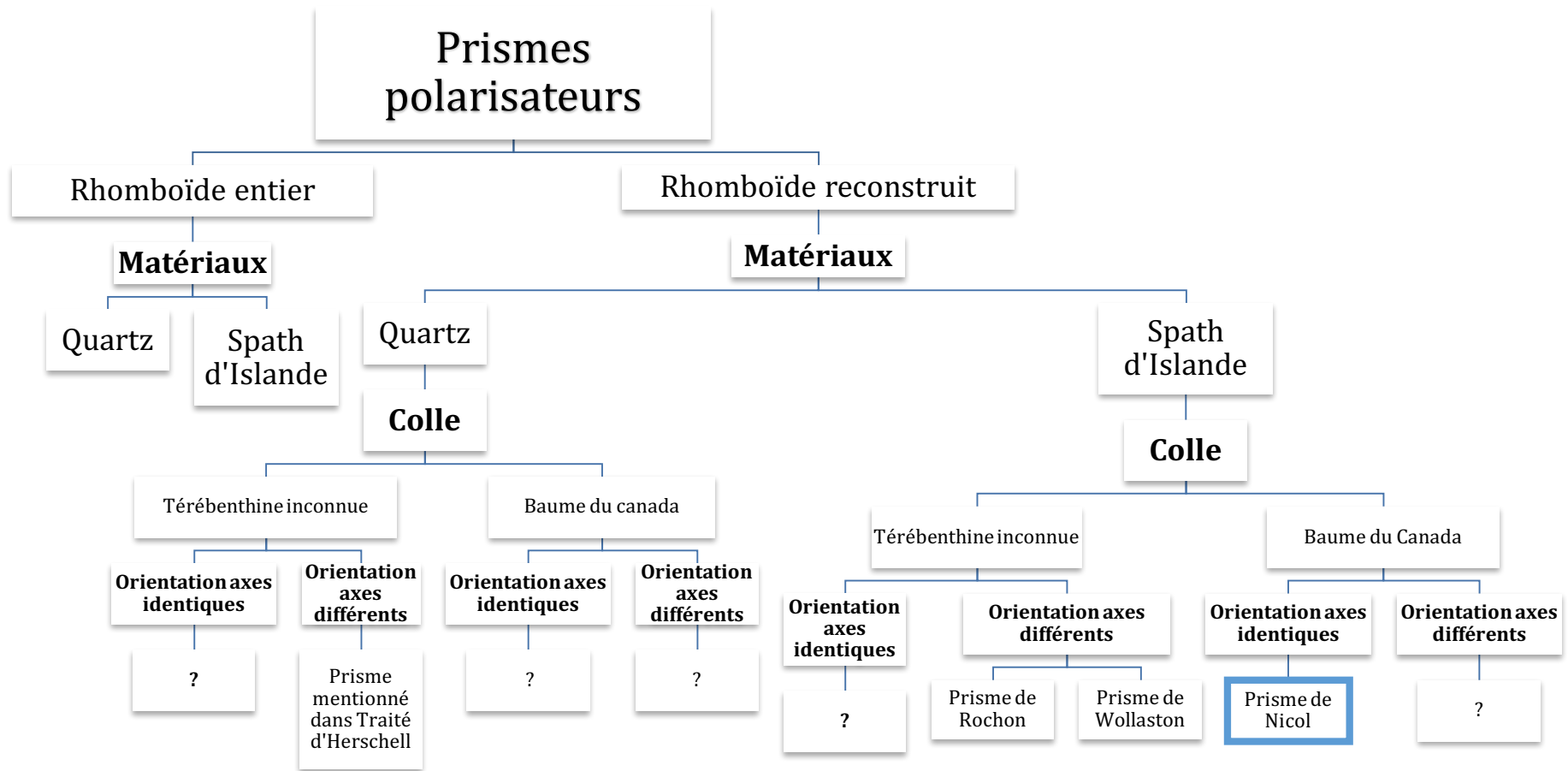


Figure 31 : Lignée technique de prismes polarisateurs de lumière.

Légende :

? : Pas de prisme identifié dans les sources consultées qui présentent cette construction, dont leur existence n'est pas à exclure.

III. Les circulations du prisme de Nicol (1829-1840)

Le prisme de Nicol s'inscrit dans une lignée technique de dispositifs de polarisation. Mais son insertion dans le paysage instrumental ne permet pas vraiment d'identifier si le prisme est mobilisé par des savants. En effet, Nicol suggère dans son introduction que le prisme est susceptible d'intéresser des savants, mais est-ce vraiment le cas ? Quels indices suggèrent l'usage du prisme dans des expériences ? A quel moment l'objet apparaît-il ? Comment est-il utilisé dans les montages ?

Circulation de l'article de 1829 : entre traduction et appropriation

L'article de 1829 de Nicol est l'objet de reprises par des auteurs étrangers, qui s'approprient et développent son contenu, participant à la mise en lumière de son prisme, de ses propriétés optiques et de son usage. Les recherches que nous avons menées sur la réception de l'article de Nicol sont basées sur une recherche du patronyme du savant dans les *Annalen der Physik und Chemie*, mais également dans le *Edinburgh New Philosophical Journal* et aussi dans le *The Edinburgh New Philosophical Journal* sur une période allant de 1825 à 1839.

Certains des articles de Nicol publiés dans le *The Edinburgh New Philosophical Journal* sont traduits près d'un an après leur publication dans le *Annalen der Physik und Chemie*³⁹⁰. Cependant, il n'y a aucune trace de celui sur son prisme de 1829. Ce n'est qu'en 1833 qu'un auteur anonyme³⁹¹ publie dans les *Annalen* un article³⁹² dont le titre est une traduction littérale en allemand de celui de Nicol :

« Mittel, die Divergenz der beiden Bilder eines Kalkspaths so zu vergrößern, dafs nu reins zur Zeit gesehen wird ».

L'auteur fait référence à la publication de Nicol dans la première phrase de l'article lorsqu'il introduit l'objet de sa publication :

³⁹⁰ Ce journal allemand est publié à Leipzig à partir de 1799. L'un de ces directeurs de publication est Johann Christian Poggendorff (1796-1877), physicien, dont le nom est régulièrement utilisé pour évoquer le journal.

³⁹¹ Nous n'avons aucune indication sur l'identité de l'auteur de l'article, il est possible que ce soit un contributeur régulier du journal.

³⁹² ANONYME, « Mittel, die Divergenz der beiden Bilder eines Kalkspaths so zu vergrößern, dafs nur eins zur Zeit gesehen wird », *Annalen der Physik und chemie*, Leipzig, Tome 205, série 2 Tome 29, 1833, p. 182-186.

« C'est sous ce titre que Mr. Nicol il y a quelques années dans le *Edinburgh New philosop. Journal* (NoXI p.83) présente un instrument [...] ³⁹³.

Cette référence introductive, associée à l'absence du nom de Nicol accolé au titre, suggère qu'il ne s'agit pas uniquement d'une traduction, contrairement à ce qui est habituellement réalisé³⁹⁴.

De fait, l'auteur réinterprète entièrement le contenu de l'article de Nicol³⁹⁵ tout en gardant certains contenus et y ajoutant une illustration. La phrase introductive interpelle le lecteur par son effet rhétorique. L'auteur montre un certain désintérêt pour ce prisme qu'il décrit comme « un instrument qui à première vue ne semble pas être supérieur à un bon prisme achromatique de spath calcaire ³⁹⁶ ». Cependant, il ajoute immédiatement que sa propre expérience de l'objet lui permet d'affirmer le contraire. C'est une nouveauté, puisque le prisme n'est jamais mis clairement en situation d'utilisation par Nicol en dehors de sa comparaison avec d'autres prismes du même genre.

A ce propos, l'auteur allemand compare lui aussi d'autres dispositifs de polarisation avec celui de Nicol ³⁹⁷, pour en arriver aux mêmes conclusions. Les explications à propos de la fabrication du prisme gagnent en clarté par rapport à l'article de Nicol, car elles comprennent davantage de détails et se réfèrent à une figure explicative. Celle-ci représente le prisme à l'échelle naturelle. Le prisme est cependant inséré dans une pièce de liège (représenté par le quadrilatère PPPP), qui en facilite la manipulation. L'auteur élude certaines parties trop techniques, comme le polissage des faces ou la manière de couper le rhomboïde en deux.

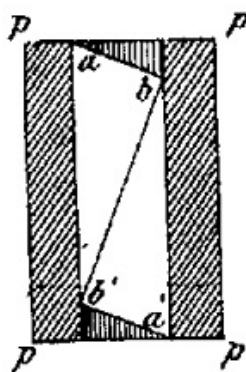


Figure 32 : Représentation du prisme à l'échelle³⁹⁸.

³⁹³ ANONYME, « Mittel, die Divergenz der beiden Bilder eines Kalkspaths so zu vergrößern, dafs nur eins zur Zeit gesehen wird », *Annalen der Physik und chemie*, Leipzig, Tome 205, série 2 Tome 29, 1833, p. 182

³⁹⁴ En effet, certains des articles de Nicol sont traduits dans le journal, mentionnant le contributeur de la communication et le présentant dans son intégralité, sans ajout supplémentaire.

³⁹⁵ 1251 mots environs dans l'article allemand contre 639 mots environs pour l'article initial de Nicol.

³⁹⁶ ANONYME, « Mittel, die Divergenz ... », *op.cit.*, p. 182.

³⁹⁷ Notamment celui de Wollaston, aussi construit en Spath d'Islande ainsi qu'un autre prisme en quartz, mentionné dans un ouvrage d'Herschel. Mais l'auteur mentionne également une technique mise en place par David Brewster qui permet d'éliminer une des images d'un cristal biréfringent.

³⁹⁸ Figure extraite de la Planche 1 *Annalen der Physik*, Leipzig, Tome 205, série 2 Tome 29, 1833, p. 193.

L'auteur mentionne également la capacité du prisme à ne produire qu'une seule image. Il critique ouvertement le manque d'explications de Nicol à ce sujet, pour en fournir une lui-même³⁹⁹. Pour autant, la différence majeure entre l'article de Nicol et celui-ci réside dans l'exposé des résultats obtenus lors de l'utilisation du prisme en sa possession.

Encart 15 : Description de l'utilisation du prisme à simple vue de Nicol en 1833.

L'auteur de l'article des *Annalen* met le prisme en situation à trois reprises.

Il constate tout d'abord l'efficacité du prisme, puisque lorsqu'il observe une ligne sur du papier au travers du prisme, une seule image de celle-ci est restituée.

Par la suite, il décrit une utilisation conjointe de deux prismes, où ceux-ci sont superposés. Un objet est placé horizontalement sous cet ensemble. Lorsque les sections principales du prisme sont parallèles, l'objet est perçu comme si le dispositif n'existait pas. Cependant, du moment où l'un des prismes est tourné, de telle sorte que leurs sections principales soient perpendiculaires, plus rien n'est visible.

Pour terminer, l'auteur exploite la disposition précédente, à savoir une superposition de prismes avec une orientation de leurs sections principales perpendiculaires. Il insère entre les deux prismes une plaque de spath calcaire, coupée perpendiculairement à son axe. L'ensemble ne produit pas le noir attendu, mais bien des cercles colorés, avec une croix noire.

Malgré de nombreux points communs, cet article constitue une réappropriation complète du texte de Nicol, comme le montre l'utilisation du même titre. Mais la finalité n'est plus la même. Sous un même titre, l'article écrit par Nicol, qui consiste en une présentation très complète de son invention, se transforme en un article à visée pratique, où l'utilisation dans un contexte savant est davantage mise en avant.

Un second article attire l'attention car il porte le même titre que celui de Nicol. Il est publié en 1834⁴⁰⁰ dans le *Edinburgh New Philosophical Journal*, imprimé à Londres. L'auteur n'est pas mentionné et rien ne le relie directement à Nicol, à l'exception d'un astérisque accolé au titre. Il renvoie à une note de bas de page mentionnant ceci :

« *From Poggendorf's Annalen der Physik und Chemie, vol. xxxix. p. 182.* ».

Ce renvoi indique qu'il s'agit d'une traduction de l'article allemand publié en 1833 dont nous venons de détailler le contenu. Cet exemple illustre bien l'existence d'une circulation bilatérale d'articles entre ces deux journaux écossais et allemand, où des écrits écossais peuvent

³⁹⁹ L'auteur explique que la divergence des deux rayons est due à la présence du baume du Canada. L'indice de réfraction de celui-ci se situe entre les deux indices du spath (respectivement de 1,6543 pour la réfraction ordinaire et de 1,4833 pour la réfraction extraordinaire). Ainsi le baume modifie la direction des rayons avant leur entrée dans la seconde moitié du prisme, engendrant la perception d'une seule image.

⁴⁰⁰ ANONYME, « On a method of so far increasing the divergency of the two rays in calcareous spar, that only one image may be seen at a time », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Volume XVI, October 1833 to April 1834, 1834, p. 372-376.

être traduits voire réinterprétés par des auteurs allemands, qui eux-mêmes en retour sont traduits en anglais⁴⁰¹.

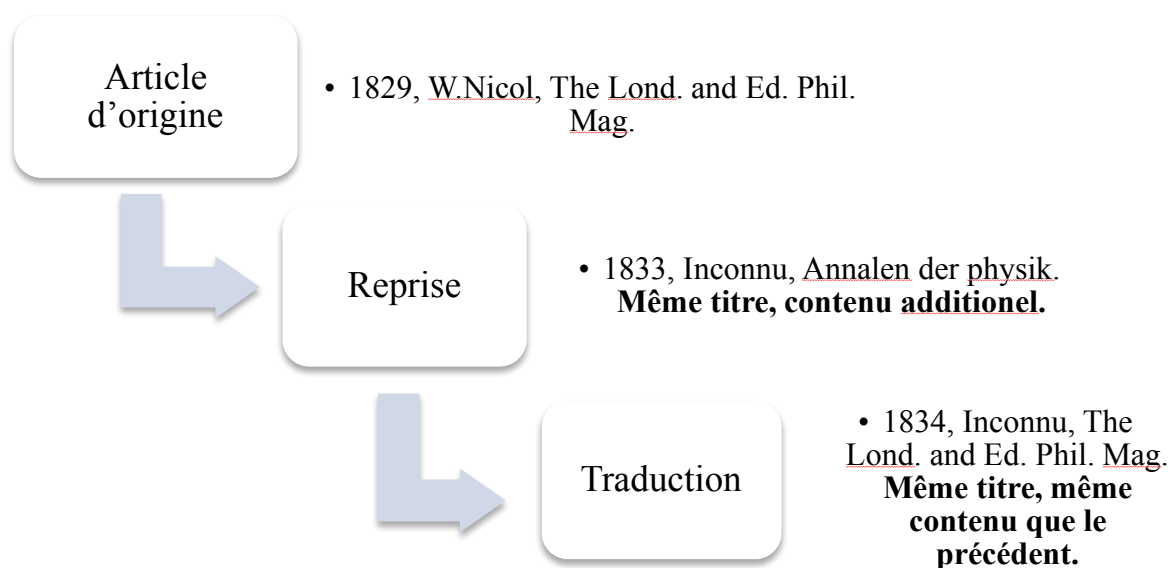


Figure 33 : Représentation de la circulation de l'article de William Nicol.

Un dernier article s'inspire grandement de l'article allemand de 1833. Il s'agit de celui écrit par William Henry Fox Talbot (1800-1877) en 1834 dans le *London and Edinburgh Philosophical Magazine*. Sous le titre « On Mr Nicol's polarizing eye piece » c'est-à-dire « Sur l'oculaire polariseur de Mr Nicol »⁴⁰², Talbot expose un ensemble d'éléments en lien avec la fabrication et l'utilisation du prisme. Il cite également l'article de Nicol. Le tout est très similaire à la construction de l'article allemand⁴⁰³, jusqu'à la reprise de l'introduction sceptique par Talbot. La conclusion est identique :

⁴⁰¹ Notons que cela ne concerne pas seulement l'Ecosse. Le journal allemand comprend des articles de savants provenant d'autres pays comme la France avec notamment François Arago (1786-1853), Auguste Laurent (1807-1853), Louis-Joseph Gay-Lussac (1778-1850), mais aussi d'autres auteurs anglo-saxons tels que Michael Faraday (1791-1867), George B. Airy (1801-1892) et David Brewster (1781-1868).

⁴⁰² William H. F. TALBOT, « Facts relating to optical science n°2, On Mr Nicol's polarizing eye piece », *The London and Edinburgh Philosophical Magazine and Journal of Science*, 3^{ème} series, Volume 4, n° 22 Avril 1834, 1834, p. 289-290.

⁴⁰³ D'autres points communs sont visibles comme la comparaison du prisme à d'autres substances polarisatrices, le mode de construction du prisme ou l'explication du phénomène optique du prisme. A ce propos, un autre savant que Talbot, s'attache à expliquer le fonctionnement du prisme de Nicol. Il s'agit d'Edward Sang (1805-1890) dans son article « Investigation of the action of Nicol's polarizing Eye piece », *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, Volume 18, Novembre 1890-Juillet 1891, 1892, p. 323-336. Il y explique algébriquement et géométriquement comment la construction du prisme de Nicol, permet d'éliminer l'un des deux rayons issus de la double réfraction. Sang valide aussi les dimensions de la construction réalisée par Nicol et estime qu'en utilisant les clivages naturels du Spath, celle-ci est la plus adéquate. Il effectue également d'autres calculs afin de chercher la meilleure forme de rhomboïde, sans tenir compte des clivages naturels du spath.

« [le prisme] possède la puissante énergie de polarisation de la tourmaline additionnée d'une parfaite blancheur et transparence, ce qui nous permet de percevoir les plus délicates teintes des cercles des cristaux, ce qui était absent ou dégradé par la couleur verte ou marron de la tourmaline »⁴⁰⁴.

Talbot ne cache pas l'origine de ses sources⁴⁰⁵ et mentionne également l'article écrit par Nicol en 1829. Il y souligne alors sa faible reconnaissance par la communauté et met en avant l'apport de cette « traduction » pour dévoiler les capacités de l'instrument. D'ailleurs, dans un autre article, le savant y décrit l'utilisation de la tourmaline pour polariser la lumière, mais lui préfère l'invention de Mr Nicol⁴⁰⁶.

William Nicol, presque dix ans après la parution de son premier article, en publie un second au sujet de son prisme, en 1839, dans le *Edinburgh New Philosophical Journal*⁴⁰⁷. Cet article se trouve être traduit sans aucune modification, en 1840 dans le tome 125 de l'*Annalen der Physik*⁴⁰⁸. Cependant la traduction allemande de cet article est complétée par une référence supplémentaire à un article d'un certain Spafsky sur la théorie de l'instrument⁴⁰⁹.

La commercialisation du prisme, un vecteur de circulation

Les articles allemands et leurs reprises ne sont pas uniquement des témoins de la circulation de l'article de Nicol. Ils contiennent des informations relatives à la fabrication du prisme par des tiers ainsi qu'à la commercialisation par l'appropriation du processus de fabrication par des fabricants. Nous avons donc choisi d'exploiter cette piste d'autant plus qu'il existe déjà un marché des prismes polarisateurs, en cherchant également les traces d'appropriations du prisme dans les catalogues des fabricants d'instruments.

La circulation de l'article de Nicol à partir de 1829 s'accompagne de mentions sur l'usage de son prisme ou encore de fabricants produisant l'objet dès les années 1830. Par exemple, l'auteur allemand de 1833 évoque le fait que Wilhelm Hirschmann (1780-1847)⁴¹⁰ a été capable de reproduire le prisme en suivant le plan de fabrication exposé⁴¹¹. Talbot indique également en 1834 :

⁴⁰⁴ William H. F. TALBOT, « Facts relating to optical... », *op. cit.*, p. 289.

⁴⁰⁵ Talbot cite dans son article une référence « *Poggendorff's Annalen*, 1833, n°9, p.182 », qui correspond au même article allemand écrit en 1833, mentionné précédemment.

⁴⁰⁶ William H. F. TALBOT, « Experiments on light », *The London and Edinburgh Philosophical Magazine and Journal of Science*, 3^{ème} série, Volume 5, n° 29 Novembre 1834, 1834, p. 321-334.

⁴⁰⁷ William NICOL, « Notice concerning an Improvement in the construction of the single vision prism of Calcareous spar. », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Volume 27, Avril-Octobre 1839, 1839, p. 332-333.

⁴⁰⁸ William NICOL, « Ueber eine Verbesserung in der Construction des Kalkspathprisma mit einfachen Bilde », *Annalen der Physik und chemie*, Tome 125, Série 2 Tome 49, 1840, p. 238-239.

⁴⁰⁹ SPAFSKY, « Note über das Nicol'sche Prisma », *Annalen der Physik und chemie*, Leipzig, Tome 120, Série 2 Tome 44, 1838, p. 168-176.

⁴¹⁰ Wilhelm Hirschmann est un fabricant de microscope à Berlin qui a formé Edmund Hartnack.

⁴¹¹ ANONYME, « Mittel, die Divergenz ... », *op.cit.*, p. 184.

« Cet instrument est à présent fabriqué parfaitement par Monsieur Watkins, opticien de Charing Cross »⁴¹².

Ceci témoigne de la présence de fabricants de prismes de Nicol, près de cinq ans après la première publication de leur procédé de fabrication. Talbot se réfère ici à la firme Watkins and Hill, fondée par Francis Watkins senior (1723-1791), fabricant d'instruments d'optique et de mathématiques à partir du milieu du XVIII^e siècle à Londres.

Ces deux extraits montrent que le processus est repris par des fabricants d'instruments. Ceci témoigne alors d'une circulation de la technique du milieu savant vers le milieu artisanal, à priori à la demande des savants.

Le fabricant d'instruments Andrew Pritchard (1804-1882) fournit un exemple supplémentaire de commercialisation du prisme. Celui-ci propose certains prismes à la vente dès 1836⁴¹³ par sets pour des microscopes, mais leur nature n'est pas précisée et les associer à l'invention de Nicol est hasardeux. Deux ans plus tard, en revanche, Pritchard détaille les prismes qu'il construit, dont certains sont des prismes à simple image en calcaire⁴¹⁴, vraisemblablement les prismes inventés par Nicol. D'après Pritchard, l'utilisation des appareils de polarisation est indispensable aux observations⁴¹⁵. Il propose en conséquence l'une de ses inventions, constituée de deux petits tubes cylindriques qui contiennent soit un prisme calcaire à une seule image, soit des plaques de tourmaline. Il explique également comment les positionner correctement sur un microscope. En effet, les prismes sont montés dans des cylindres de laiton munis de bouchons protecteurs, positionnables avec une grande facilité sur le microscope dans le but d'observer les cercles colorés produit par des cristaux ou les teintes d'un verre recuit⁴¹⁶. Ils permettent donc par le biais du microscope d'observer des phénomènes optiques curieux liés à la lumière polarisée-analysée.

⁴¹²William H. F. TALBOT, « Facts relating to optical science n°2, On Mr Nicol's polarizing eye piece », *The London and Edinburgh Philosophical Magazine and Journal of Science*, 3^{ème} series, Volume 4, n° 22 Avril 1834, 1834, p. 290.

⁴¹³ Andrew PRITCHARD, *Optical Instrument*, constructed by A. Pritchard, 263 Strand, Wilson and son, London, 1836.

⁴¹⁴ Andrew PRITCHARD et C.R. GORING, *Microscopic illustrations of living objects their natural history, &c, with researches concerning the most eligible methods of constructing microscopes and instructions for using them*, nouvelle édition, Londres, Whittaker and co., 1838, p.113.

⁴¹⁵ Andrew PRITCHARD, *A list of two thousand microscopic objects: with remarks on the circulation in animals and plants; the method of viewing crystals by polarized light, &c*, seconde édition, Londres, Whittaker and co, 1842, p. 19.

⁴¹⁶ Andrew PRITCHARD et C.R. GORING, *Microscopic illustrations...*, *op. cit.*, p. 114.

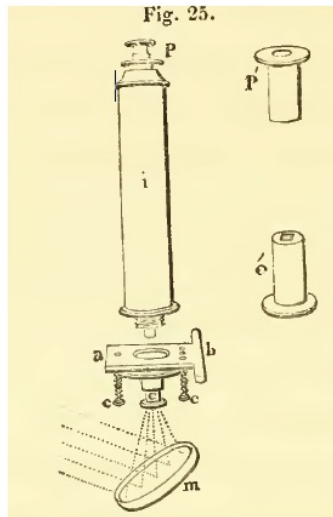


Figure 34: Représentation du positionnement du polariseur (e) et de l'analyseur (P') par rapport au microscope⁴¹⁷.

Dans un même registre, Robert H. Nuttall à propos des instruments qu'utilise H.C. Sorby dans les années 1850, précise qu'en 1848 le catalogue de Smith, Beck & Beck, fabricant de microscopes, propose à la vente des prismes Nicol, utilisables pour les microscopes⁴¹⁸. Robert Nuttall ajoute que la présence des prismes de Nicol dans les catalogues de la firme, est antérieure à cette date⁴¹⁹.

Dans le cas de la France, nous avons constaté que la commercialisation des prismes Nicol n'apparaît que dans les années 1840. En effet, l'ouvrage de Félix Dujardin (1801-1860) *Nouveau manuel complet de l'observateur au microscope*, publié en 1843⁴²⁰, aborde des questions autour de l'observation microscopique. Lorsqu'il évoque les moyens de produire de la lumière polarisée, l'auteur mentionne un « *prisme de Nichol* » pour lequel il détaille le processus de fabrication⁴²¹. De plus, comme le montre Paolo Brenni dans son article⁴²², les catalogues de fabricants d'instruments sont des sources importantes d'informations. Ainsi, la consultation des catalogues de fabricants parisiens montre que le prisme est commercialisé seulement à partir de 1847, soit cinq ans après la publication de l'ouvrage de Dujardin. Le fabricant français Jean Gabriel Auguste Chevallier (1778-1848) par exemple, vend des prismes

⁴¹⁷ Andrew PRITCHARD et C.R. GORING, *Microscopic illustrations...*, *op.cit.*, p. 114.

⁴¹⁸ Robert H. NUTTALL, « The first microscope of Henry Clifton Sorby », *Technology and Culture*, Volume 22, n°2, Avril 1981, 1981 p. 277.

⁴¹⁹ Robert H. NUTTALL, *ibid.*

⁴²⁰ Félix DUJARDIN, *Nouveau manuel complet de l'observateur au microscope*, Editeur Roret, Paris, 1843, 330 pages.

⁴²¹ Le procédé de fabrication du prisme est repris avec quelques inexactitudes surtout au sujet des matériaux nécessaires pour réassembler les deux parties du prisme « *et recollé ensuite avec de la térébenthine cuite ou quelques autres mastics.* » extrait de Félix DUJARDIN, *Nouveau manuel complet...*, *op.cit.*, p. 45.

⁴²² Paolo BRENNI, « The illustrated catalogues of scientific instrument-makers » dans BLONDEL C., PAROT F., TURNER A. and WILLIAMS M. (ed), *Studies in the history of scientific instruments: papers presented at the 7th Symposium of the Scientific Instruments Commission of the Union international d'histoire et de philosophie des sciences*, Roger Turner Books Ltd, Londres, 1989, p. 169-179.

de Nicol, en spath d'Islande et de deux tailles différentes dans son catalogue de 1845⁴²³. Pixii⁴²⁴, un autre fabricant, propose la même année des prismes Nicol⁴²⁵ tout comme le catalogue de Jean-Adrien Deleuil de 1848⁴²⁶. L'offre perdure puisque plus tardivement, en 1860, Chevalier⁴²⁷ commercialise des prismes de Nicol, des prismes biréfringents en spath ou en cristal de roche et des glaces noires⁴²⁸. Secrétan également propose des prismes de Nicol⁴²⁹ de différentes tailles, allant de 4mm de côté jusqu'à 25mm. Nachet⁴³⁰ en 1863 met en vente quant à lui un « *appareil de polarisation formé de deux prismes de Nicol se plaçant l'un sous l'objet, l'autre sur l'oculaire* »⁴³¹.

Ainsi, les fabricants d'instruments anglais ou bien encore français proposent à la vente entre les années 1838 et 1845 des prismes de Nicol. Un décalage de sept ans est perceptible entre la commercialisation française et anglaise du prisme de Nicol. Nous souhaitons nous attarder quelque peu sur les vecteurs de circulation possible entre les deux pays ainsi que sur le constat de ce décalage.

Quelques éléments permettent d'envisager les vecteurs de circulation du prisme vers la France. Par exemple, l'article de Talbot sur le prisme est publié dans un journal vendu à Londres mais également à Edimbourg, Glasgow, Dublin et Paris⁴³². Il n'y a pas d'indication sur le nombre d'exemplaires proposés à la vente dans ces différentes villes, ni même de la visibilité du journal. Pour autant, le journal par ses différents points de vente, est susceptible d'augmenter la visibilité du prisme en dehors du cercle de la ville d'Edimbourg et de Londres. Par ailleurs, Talbot mentionne systématiquement le prisme de Nicol dans ses articles. Il recommande d'ailleurs son utilisation en association avec un microscope⁴³³. Talbot voyage en France autour des années 1830-1840 en raison de l'invention d'un procédé photographique. Il est envisageable

⁴²³ Jean-Gabriel Auguste CHEVALLIER, *Catalogue et prix des instruments d'optique, de physique, de mathématiques, d'astronomie et de marine qui se trouvent et se fabriquent dans les magasins et ateliers de la maison Chevallier*, Imprimerie de Guillois, Paris, 1845, p.24.

⁴²⁴ PIXII père et fils, *Catalogue des principaux instruments de physique, chimie, optique, mathématiques et autres à l'usage des sciences qui se fabriquent chez Pixii père et fils, successeurs de Dumotiez*, Imprimerie de Bachelier, 1845, p.42.

⁴²⁵ Notons également que pour les catalogues de Pixii et de Deleuil, les sections dans lesquelles le prisme Nicol et d'autres appareils de polarisation ne sont pas identiques. Pour le premier, le prisme est dans la partie optique de la section minéralogie du catalogue, alors que pour le second, il est situé dans celle contenant les appareils de polarisation.

⁴²⁶ Jean-Adrien DELEUIL, *Catalogue d'instruments de physique, de chimie, d'optique, de chirurgie, d'hygiène et d'économie domestique*, Imprimerie d'A. René, Paris 1848, p.44

⁴²⁷ Maison CHEVALIER, *Catalogue explicatif et illustré des instruments de physique expérimentale, d'optique expérimentale, chimie, astronomie, minéralogie, chirurgie, etc... qui se fabriquent et se trouvent dans les ateliers et magasins de la maison Charles-Chevalier, ingénieur*, Imprimerie Bonaventure et Ducessois, Paris, 1860, p.65.

⁴²⁸ Section « Double réfraction et polarisation » dans Maison CHEVALIER, *ibid.*

⁴²⁹ SECRETAN, *Catalogue et prix des instruments d'optique, de physique, de mathématiques, d'astronomie et de marine qui se trouvent et se fabriquent dans les magasins et ateliers de Secrétan, successeur de Lerebours et Secrétan : chimie, galvanoplastie, minéralogie*, Imprimerie Henri Plon, Paris, 1862, p. 139

⁴³⁰ MAISON NACHET & FILS, *Catalogue descriptif des instruments de micrographie fabriqués par Nachet et Fils, constructeurs à Paris*, Imprimerie E. Martinet, Paris, 1863, 28 pages.

⁴³¹ MAISON NACHET & FILS, *ibid.*, p.27

⁴³² Sur la page de couverture, sous le volume, il est précisé que le journal est vendu à Londres par Longman, Rees, Orme, Brown, Green et Longman, Cadelle, Baldwin et Cradock, Sherwood, Gilbert et Piper, Simpkin et Marshall ainsi que S. Highley. Il l'est à Edimbourg par Adam Black, à Glasgow par Smith et fils, à Dublin par Hodges et M^r Arthur et à Paris par G.G. Bennis.

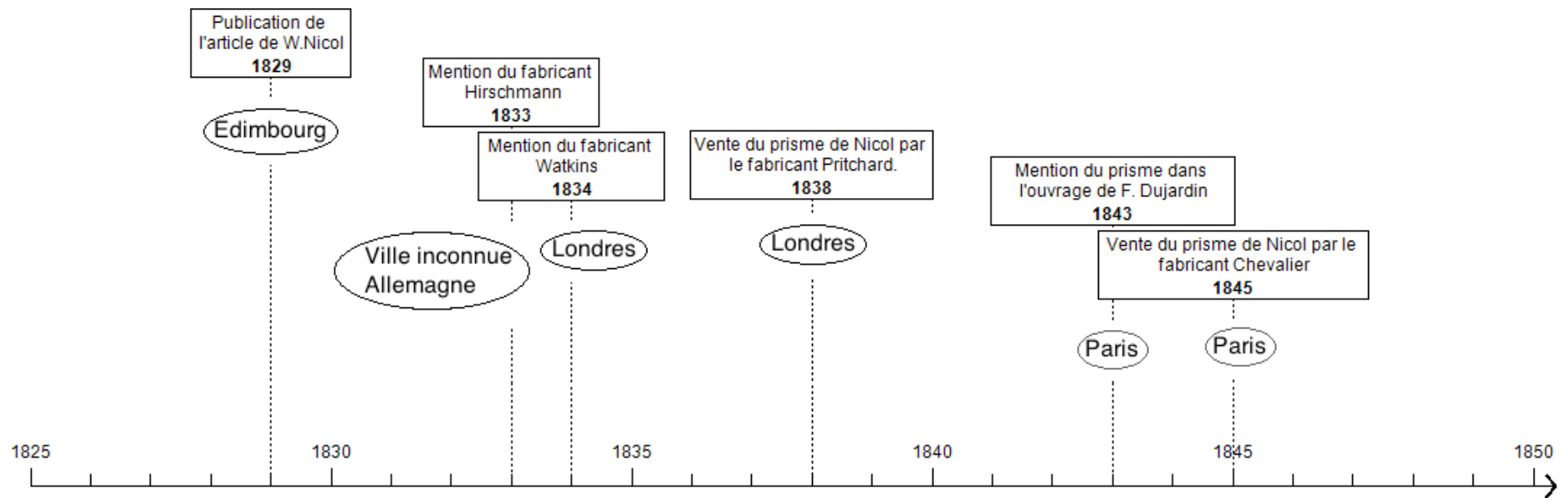
⁴³³ William H. F. TALBOT, « On the optical phenomena of certain crystals » *Philosophical Transactions of Royal Society of London*, Volume 127, 1837, p.25

au vu de l'engouement de Talbot pour le prisme de Nicol qu'il ait pris le prisme avec lui dans son voyage pour en vanter les qualités⁴³⁴. Le savant aurait alors facilité la circulation de l'objet vers la France en l'apportant et en louant ses qualités optiques auprès de ses contemporains.

Le décalage constaté entre la France et la Grande Bretagne peut avoir de multiples raisons. Il est possible que l'arrivée du prisme soit plus tardive en France qu'en Allemagne, mais rien n'indique que cette possibilité soit la plus évidente. En effet, les recherches menées par Nicol à propos des végétaux fossiles sont connues et mentionnées en France dans le *Bulletin de la Société Géologique de France* dans les deux ans qui suivent leur publication en Ecosse. La différence pourrait se situer dans le fait que l'objet est un instrument et non pas un résultat de recherche et qu'en conséquence, les réseaux de circulation mobilisés soient distincts et seraient alors moins efficaces⁴³⁵. Il semblerait que l'apparition décalée du prisme de Nicol au sein des catalogues soit due au fait que les savants français préfèrent utiliser d'autres types de dispositif de polarisation que celui de Nicol, comme par exemple les piles de glaces ou encore des prismes polarisants. L'utilisation d'autres dispositifs de polarisation en France notamment, pose la question de l'insertion du prisme de Nicol dans les montages expérimentaux.

⁴³⁴ Cette hypothèse a surgi lors de ma présentation des travaux sur le prisme de Nicol durant le séminaire d'Histoire de la Lumière de Danielle Fauque et Arnaud Mayrargue. Talbot aurait alors facilité la circulation de l'objet vers la France en l'apportant et en vantant ses qualités optiques à ses contemporains. C'est une piste de recherches que nous n'avons pas eu l'occasion d'approfondir et que nous comptons bien approfondir dans des recherches ultérieures.

⁴³⁵ Les résultats de cette étude sur la circulation mettent en exergue des différences entre circuits de circulation des articles et des inventions. Elle pose la question des vecteurs mobilisés, de leurs efficacités respectives pour comprendre dans le cas du prisme de Nicol ces différences de temporalités différentes. C'est une piste de recherches à envisager dans le cas du prisme, mais qui pourrait être élargie aux sections fines également.



Frise 3 : Chronologie de l'appropriation du prisme de Nicol par les fabricants d'instruments

Les modifications comme témoin de l'usage du prisme de Nicol

Le prisme tel qu'il est décrit par Nicol dans son article est modifié assez rapidement après 1829. La nature de ces modifications témoigne de l'inscription de l'objet dans des pratiques scientifiques.

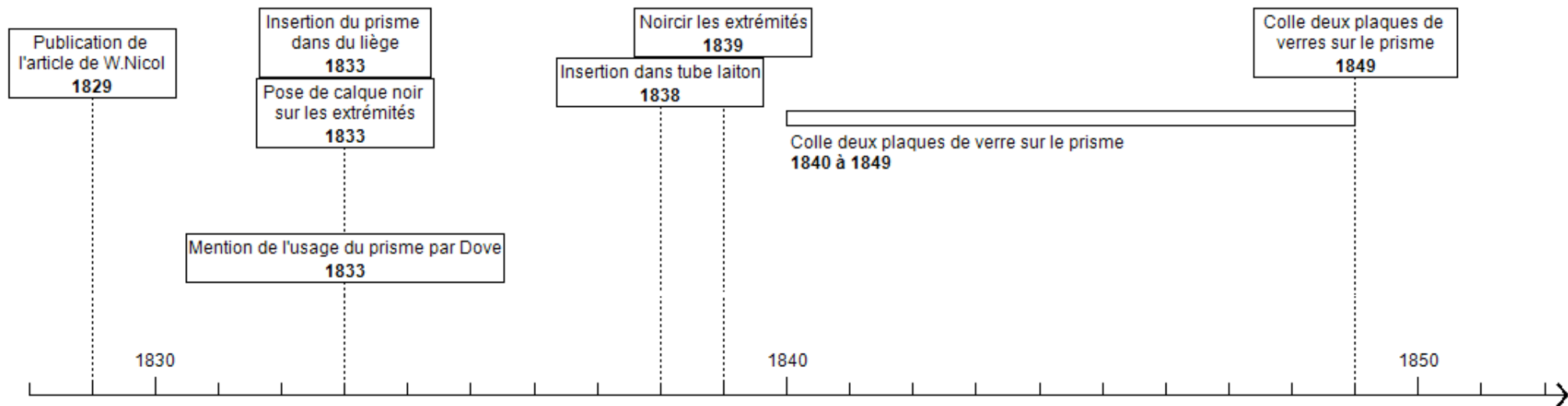
Ainsi, en 1833, l'auteur anonyme de l'article paru dans le *Annalen der Physik und Chemie* mentionne l'utilisation de liège. Le liège est positionné autour du prisme de telle sorte que seule les faces qui reçoivent la lumière sont non recouvertes. Cette gaine protège le prisme et facilite sa manipulation à main nue. Il limite ainsi les altérations ou les rayures. Une seconde amélioration pour faciliter sa maniabilité est mentionné par David Brewster. Il colle une fine plaque de verre sur les deux faces du prisme. Cet ajout a pour but de limiter les détériorations, telles que les rayures et par conséquent de diminuer les imperfections lors des observations. M. S. Legg⁴³⁶ reprend également dans son article⁴³⁷ cette modification et la justifie de manière similaire un peu plus tardivement, en 1849. Toutes ces modifications sont de même nature, à savoir protéger le prisme des altérations liées aux diverses manipulations.

De plus, l'auteur de l'article allemand de 1833 propose d'ajouter des morceaux de calque noir aux extrémités afin de limiter les réflexions latérales de lumière. Il fait écho à l'autre solution proposée par Nicol en 1829, celle de laisser rugueuse ces mêmes faces. Il semblerait que cette dernière ne soit pas celle retenue, puisque près de dix ans plus tard, Nicol reprend dans son article l'idée de noircir les extrémités. L'insertion par Talbot en 1838 du prisme de Nicol dans des tubes en laiton est un exemple supplémentaire de son usage par des savants. La manipulation est alors facilitée par ce biais, mais il est aussi possible d'insérer le prisme sur des dispositifs optiques.

Les modifications relevées témoignent de l'utilisation du prisme par les savants. En effet, ces ajouts ont vocation à protéger le prisme des dégradations. Elles vont dans le sens d'une augmentation de son usage par une population plus large en raison de sa fonction polarisatrice inédite. L'entretien de l'objet est moins important, les possibilités de le détruire sont amoindries grâce à ces modifications supplémentaires. Elles n'illustrent cependant pas la manière dont le prisme de Nicol est mobilisé expérimentalement.

⁴³⁶ Nous n'avons pas davantage d'informations sur qui est M.S. Legg et remercions toute personne susceptible de nous en apprendre davantage sur cet auteur.

⁴³⁷ M. S. LEGG, « Addendum to the paper "On the application of polarized light in microscopic investigation", *The Transactions of the microscopical Society of London*, Volume 2, 1849, p. 122-123.



Frise 4 : Chronologie des modifications techniques et des usages du prisme par aire géographique

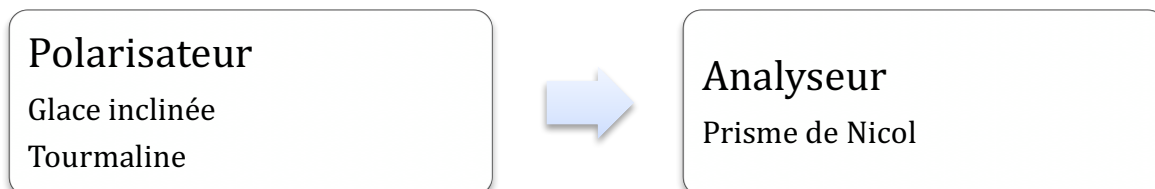
L'insertion du prisme de Nicol dans les pratiques expérimentales

Le prisme à simple vue de Nicol⁴³⁸ est utilisé par les savants pour ses propriétés polarisatrices de lumière. L'article de Talbot⁴³⁹ à propos de l'utilisation du prisme de Nicol pour des observations en lumière polarisée⁴⁴⁰ illustre parfaitement ce phénomène. La position du prisme de Nicol est variable selon les usages des savants. Les dispositifs de polarisation, peu importe leur nature, transforment une onde non polarisée en onde polarisée rectiligne (voir Encart 17). Le premier dispositif polarise la lumière émise par une source, il est nommé polariseur. Le second, monté en série polarise la lumière provenant du second dispositif, il l'analyse, d'où la mention d'analyseur. Ces deux positions suggèrent deux fonctions différentes du prisme au sein des montages.

1) Le prisme est utilisé en position de polariseur et d'analyseur.



2) Le prisme est utilisé en position d'analyseur



3) Le prisme est en position de polarisateur.



Figure 35 : Différentes positions du prisme de Nicol au sein des montages expérimentaux.

⁴³⁸ Différentes orthographes du nom de l'inventeur du prisme sont ainsi relevées dans de nombreux documents, comme Nichol, Nicholl ou bien encore Nicoll. Celles-ci sont toutes assimilées à un même individu, l'écossais William Nicol.

⁴³⁹ William H. F. TALBOT, « Experiments on light », *The London and Edinburgh Philosophical Magazine and Journal of Science*, 3^{ème} série, Volume 5, n° 29 Novembre 1834, 1834, p. 321-334.

⁴⁴⁰ Notons également que cet article est traduit et publié dans le *Annalen*, Henry TALBOT, « Anwendung des polarisirten Lichts zu mikroskopischen Beobachtungen », *Annalen der Physik und chemie*, Tome 111, Série 2 Tome 35, 1835, p. 330.

Le premier constat qui émerge dans l'analyse des expériences réside dans l'utilisation systématique de deux dispositifs de polarisation. Ce montage en série est le résultat des travaux sur la lumière polarisée des années 1810-1820. Nous reviendrons plus en détails sur l'importance de ces configurations dans le chapitre suivant.

L'alternance de la position du prisme de Nicol est spécifique aux montages de chaque expérience et au type d'observations que souhaitent réaliser les savants :

« On fait usage du prisme de Nichol quand les effets à observer sont faibles, et du prisme biréfringent dans le cas contraire [...] »⁴⁴¹.

En effet, le champ de vision du prisme étant plus restreint que d'autres dispositifs, il est parfois plus intéressant de l'utiliser seulement en position de polarisateur, afin d'observer le spectre le plus large possible des rayons émis par le montage.

Contrairement à Talbot qui n'utilise que le prisme de Nicol comme dispositif de polarisation, certains auteurs n'en recommandent pas systématiquement l'utilisation. D'autres dispositifs, comme les piles de verre, peuvent lui être préférés dans les montages en raison de leurs propriétés optiques et des avantages à en tirer. Pour autant, le prisme est présent dans les articles, démontrant son adoption par les savants qui utilisent la lumière polarisée. Notons que parfois, le prisme est aussi mentionné en position d'oculaire, synonyme ici d'analyseur signifiant ainsi qu'il est le plus proche de l'œil⁴⁴².

Les usages du prisme de Nicol dans des expériences peuvent être rattachés à deux catégories⁴⁴³. La première catégorie est la plus représentative de l'usage du prisme dans la période 1835-1850. Le prisme est inséré dans différents instruments dont les buts vont de pair avec les recherches effectuées par les savants. Il n'est pas question de revenir en détails sur l'ensemble de ces montages mais d'illustrer à travers quelques exemples, les usages du prisme de Nicol dans ces expérimentations. Par exemple, le dispositif de l'Irlandais James Mac Cullagh permet, à l'aide du prisme Nicol, de faire des expériences sur la lumière réfléchi par les métaux⁴⁴⁴ en utilisant de la lumière polarisée plane⁴⁴⁵. En France, les usages relevés du prisme,

⁴⁴¹ Edmond BECQUEREL, « Note sur l'action du magnétisme sur tous les corps », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 22, Janvier-Juin 1846, 1846, p. 953.

⁴⁴² Talbot en 1834 ainsi que Mac Cullagh en 1841 évoque également le prisme en tant d'oculaire. En plus de la position près de l'œil que sous-entend cette appellation, elle suggère aussi une utilisation conjointe à un instrument d'optique, tel qu'un microscope ou bien une loupe. L'évolution de sa qualification est alors un indice de son utilisation et révèle par conséquent la place que l'instrument occupe soit dans des observations microscopiques, soit dans d'autres appareils.

⁴⁴³ Un usage qui n'entre pas dans les deux catégories précédentes a été relevé dans l'article de M.S. LEGG, « On the application of polarized light in microscopic investigations », *The Transactions of the Microscopical Society of London*, Volume 2, 1849, p. 83-88. Il s'agit de présenter un ensemble d'expériences afin de faire découvrir à ceux qui ne la connaissent pas l'utilisation de la lumière polarisée. Le prisme Nicol est utilisé dans cet exemple en position de polarisateur.

⁴⁴⁴ James MAC CULLAGH, « On a new optical instrument », *Proceedings of the Royal Irish Academy*, Volume 1 1837-1838, 1841, p. 158-160.

⁴⁴⁵ « [...] each arm being provided with a Nicol's eye piece, or some equivalent contrivance for polarized light in a single plane; [...] » extrait de James MAC CULLAGH, « On a new optical instrument », *op.cit.*, p. 159.

par Edmond Becquerel (1820-1891)⁴⁴⁶ et Heinrich Daniel Ruhmkorff (1803-1877)⁴⁴⁷ le sont dans des appareils qui étudient la déviation du plan de polarisation d'une substance causée par l'électromagnétisme ou bien encore dans un saccharimètre construit par le fabricant d'instruments Soleil⁴⁴⁸. L'allemand Heinrich Wilhelm Dove (1803-1879) l'intègre également dans un appareil pour réaliser des expériences sur la polarisation circulaire de la lumière⁴⁴⁹. Le prisme de Nicol se retrouve également dans un goniomètre de Babinet, utilisé par le mathématicien Auguste Louis Cauchy (1789-1857) et en position d'analyseur dans un appareil qui mesure les effets de la réflexion des rayons lumineux⁴⁵⁰. La même année, en 1849, Antoine Becquerel (1788-1878) utilise cette fois-ci le prisme en position de polarisateur dans un montage qui permet de définir le pouvoir rotatoire de l'albumine⁴⁵¹. L'allemand Dove utilise aussi régulièrement le prisme de Nicol, notamment dans ses expériences sur la polarisation⁴⁵² ou sur l'étude des couleurs⁴⁵³.

La plupart de ces articles sont reliés au domaine de la physique, parfois même de manière explicite, comme par exemple dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, qui mentionnent le domaine concerné par l'article ou le mémoire publié. La lumière polarisée est alors un moyen pour étudier des substances ou des phénomènes lumineux spécifiques. La lumière polarisée détient le statut d'outil, produit par des dispositifs spécifiques comme le prisme de Nicol.

La seconde catégorie est bien moins représentée durant cette période de 1835 à 1850, il s'agit de l'usage du prisme de Nicol au sein d'un microscope. Celle-ci est liée à un autre domaine que la physique, celui de la minéralogie. En effet, Nicol par exemple en 1840, l'utilise pour observer un échantillon de roche⁴⁵⁴. Quelques années plus tard, en 1847, c'est le professeur irlandais James Apjohn (1795-1886) qui décrit la composition et les propriétés optiques d'une hyalite provenant du Mexique⁴⁵⁵, de manière similaire à celle de son confrère écossais. En 1846, le

⁴⁴⁶ Edmond BECQUEREL, « Note sur l'action du magnétisme sur tous les corps », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 22, Janvier-Juin 1846, 1846, p. 952-961.

⁴⁴⁷ Heinrich Daniel RUHMKORFF, « Note sur un appareil destiné à répéter l'expérience fondamentale de la découverte de M. Faraday, de l'action du magnétisme sur la lumière » *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 23, Juillet-Décembre 1846, 1846, p. 417-418.

⁴⁴⁸ SOLEIL, « Note sur un perfectionnement apporté au pointage du saccharimètre », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 24, Janvier-Juin 1847, 1847, p. 974.

⁴⁴⁹ Heinrich Wilhelm DOVE, « Beschreibung eines Apparates für geradlinige, elliptische und circulare Polarisation des Lichtes », *Annalen der Physik und chemie*, Tome 111, Série 2 Tome 35, 1835, p. 596-604.

⁴⁵⁰ Augustin L. CAUCHY (rapporteur), « Rapport concernant un Mémoire de M. Jamin sur la réflexion de la lumière à la surface des corps transparents », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Janvier-Juillet 1849, T.28, 1849, p. 121-126.

⁴⁵¹ Antoine BECQUEREL, « Recherches sur le pouvoir moléculaire rotatoire de l'albumine du sang et des liquides organiques. Description d'un albuminimètre », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Juillet-décembre 1849, T.29, 1849, p. 625-629

⁴⁵² H. W. DOVE, « Versuche über Circularpolarisation des Lichtes », *Annalen der Physik und chemie*, Tome 111, Série 2 Tome 35, 1835, p. 579-596.

⁴⁵³ H. W. DOVE, « Versuche über subjective Complementarfarben », *Annalen der Physik und chemie*, Tome 121, Série 2 Tome 45, 1838, p. 158-163.

⁴⁵⁴ William NICOL, « Proceedings of the Wernerian Natural History Society », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Volume 29, Avril-Octobre 1840, 1840, p. 175.

⁴⁵⁵ James APJOHN, « On the composition and Optical properties of Hyalite », *Proceedings of the Royal Irish Academy*, Volume 3, 1844-1847, 1847, p. 521-525.

français Jean Baptiste Biot (1774-1862) en a une utilisation assez proche⁴⁵⁶. Ces usages restent cependant assez marginaux à cette époque.

Les recherches menées sur la période de 1835 à 1850 en France, montrent que l'usage du prisme de Nicol n'est pas restreint à la minéralogie. Il est bien plus présent dans les recherches en optique ou en physique⁴⁵⁷.

Il apparaît que le prisme à simple vue de Nicol intègre un peu plus tardivement les dispositifs expérimentaux en France (à partir de 1846) qu'en Allemagne à partir de 1835 ou même en Grande Bretagne. Cependant la présence attestée du prisme dans ces expériences, ne signifie pas forcément que l'instrument n'ait pas été utilisé auparavant. Par ailleurs, les exemples mentionnés appartiennent très largement à la physique⁴⁵⁸. Ces résultats ne sont guère étonnants, surtout compte tenu de l'essor des recherches dans cette première moitié du XIX^e siècle autour et avec la lumière polarisée. L'utilisation du prisme dans d'autres domaines est cependant surprenante. En effet, la lumière polarisée à cette époque est principalement employée pour étudier la nature même de la lumière ou bien pour étudier son interaction avec la matière. Peu d'usages en minéralogie sont perceptibles à cette période, bien que la lumière polarisée ait été utilisée pour étudier les cristaux. Ce témoignage pose question sur l'usage de la lumière polarisée dans la minéralogie. En effet, comme l'exemple du spath calcaire l'atteste, les minéraux produisent de la lumière polarisée. Mais la lumière polarisée peut-elle servir à l'identification des minéraux ? Notons que le caractère de la simple ou double réfraction fait partie des caractères physiques⁴⁵⁹, montrant que des liens existent entre minéraux et lumière polarisée en minéralogie avant les années 1840.

Conclusion

L'article publié par William Nicol en 1829 est très technique et détaillé. Ces détails ont vocation à diffuser l'invention. Nicol souhaite promouvoir son invention ainsi que développer l'usage du prisme. Les détails très techniques de découpage et de collage des deux hémirhomboides de son prisme attestent que le savant souhaite également que ce dernier soit fabriqué par la suite. De fait, l'invention du prisme est très rapidement associée au nom de son inventeur Nicol. Les risques de futures contestations de priorités d'inventions sont ainsi fortement diminués, tout comme celles de réappropriation de l'invention par un tiers.

⁴⁵⁶ Jean Baptiste BIOT, « Note de M. Biot, sur deux produits chimiques obtenus par M. Mitscherlich », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 23, Juillet-Décembre 1846, 1846, p. 909-910.

⁴⁵⁷ La présence et l'utilisation du prisme de Nicol dans les recherches en optique nécessitant la lumière polarisée à partir de 1829 mérite une recherche plus systématique, notamment dans des journaux comme les *Annales de chimie et de physique*. Elle viendrait affiner l'argument de Kristjánsson à propos de l'omniprésence du prisme et d'identifier avec précision les usages du prisme sur une période plus étendue.

⁴⁵⁸ Près de 12 articles sur les 20 étudiés sont classés distinctement dans le domaine de la physique ou s'en approchent par les objets qu'ils traitent.

⁴⁵⁹ Voir à ce propos la Figure 8 sur les caractères physiques utilisés par Brongniart en 1807 p.31.

Par ailleurs, le nom de l'inventeur entre progressivement dans le vocabulaire courant et se substitue au nom du prisme. En effet, le nom donné par Nicol, à savoir le prisme à simple vue, est très rapidement remplacé par l'appellation prisme de Nicol, notamment par Talbot en 1834⁴⁶⁰. Il apparaît nommé comme tel dans les catalogues de fabricants avec parfois l'indication du matériau dont il est constitué. En 1866, une abréviation apparaît pour désigner le prisme polarisateur, celle de « Nicol ». A partir de cette date, les deux noms sont utilisés lorsqu'il est fait mention du prisme dans les traités ou les articles. Le nom de son inventeur tend à disparaître avec la perte de la majuscule. Le prisme est alors simplement nommé « nicol » à partir des années 1880.

Les matériaux mobilisés pour la construction du prisme, le spath calcaire et le baume du Canada, possèdent des propriétés optiques particulières qui sont également exploitées dans la construction d'autres prismes polarisateurs. Cependant, la combinaison du baume du Canada avec celle de l'orientation identique des axes optiques des deux héli-rhomboides lui confère ces propriétés spécifiques. Ainsi, le prisme s'insère dans une lignée technique d'instruments polarisateurs.

Le prisme de Nicol est commercialisé en Angleterre et vraisemblablement en Allemagne également dès 1835. Dix ans après, il apparaît dans les catalogues français, témoignant alors d'un intérêt des savants français pour l'objet. Parallèlement à cette commercialisation, la présence du prisme devient plus visible dans les expérimentations. En effet, le prisme est majoritairement utilisé dans des montages en physique ou encore en optique dans le but de produire de la lumière polarisée. Il peut y occuper deux fonctions, celle de polariseur ou bien d'analyseur. Selon le type de caractéristiques optiques souhaitées, le savant peut utiliser deux prismes de Nicol à ces fonctions ou bien le combiner à un autre dispositif de polarisation, telle qu'une pile de glaces par exemple.

Le prisme est à quelques reprises utilisé pour effectuer des observations de roches ou de minéraux. Il s'agirait à présent de s'attarder sur son usage comme l'a préconisé Nicol dans son introduction d'article. En effet, le prisme de Nicol est-il ou va-t-il être utilisé pour observer les phénomènes optiques liés aux cristaux ? Cette question nous permet également de nous interroger sur l'interrelation qui existe entre la lumière polarisée et les cristaux. Notre revue des usages des dispositifs de polarisation ne met pas vraiment en avant cet usage de la lumière polarisée et il est donc nécessaire de revenir en amont de la publication de Nicol, afin d'étudier les usages de la lumière polarisée.

⁴⁶⁰ Henry F. TALBOT, « Facts relating to optical science n°2, On Mr Nicol's polarizing eye piece », *The London and Edinburgh Philosophical Magazine and Journal of Science*, 3^{ème} series, Volume 4, n° 22 Avril 1834, 1834, p. 289-290.

Chapitre 5 : Lier minéralogie et lumière polarisée

Le chapitre précédent sur le prisme de Nicol a permis de mettre en évidence d'une part l'existence d'une diversité importante de dispositifs le mettant en œuvre et d'autre part que le spath, dont il est issu, possède la propriété de polariser la lumière.

Ces deux constats posent la question du lien entre minéraux et lumière polarisée. D'autant que Alexandre Brongniart dans son *Traité élémentaire de Minéralogie* aborde le caractère de la simple et double réfraction de certains minéraux, lié de fait à la lumière polarisée. Ainsi, cette propriété est discriminante pour les minéraux et permet de les identifier. Mais quel lien entre l'usage qu'en fait Brongniart et celui visible à travers le prisme de Nicol, à savoir, produire de la lumière polarisée ?

L'articulation entre un minéral producteur de lumière polarisée et un minéral objet d'étude sous cette même lumière interroge sur la place des minéraux et leur rapport avec la lumière polarisée. En effet, d'après Caroline Kaspar :

« Dès lors, le minéral changea de statut : d'outil révélateur de la nature de la lumière, placé au service de l'optique, il devient l'un des objets de cette discipline (la lumière permettant une analyse fine des structures cristallines) »⁴⁶¹.

L'auteure associe le changement de statut du minéral et de la lumière polarisée à l'usage combiné en minéralogie de la polarisation chromatique des sections fines de cristaux et du microscope polarisant. Bien que la période concernant ce changement soit autour des années 1850, elle met en question le statut respectif et a priori bien établi des minéraux et de la lumière polarisée. Or, dès les années 1810-1820, des travaux combinant lumière polarisée et minéraux sont conduits et interrogent sur la nature du statut de la lumière polarisée et des minéraux dans ces études.

Par ailleurs, la remarque de Caroline Kaspar amène une seconde interrogation relative quant à elle, à l'usage de la lumière polarisée comme outil permettant la reconnaissance des cristaux.

Le caractère de simple et double réfraction ne nécessite pas d'utiliser de la lumière polarisée pour l'identifier. Or, en optique dans les années 1820, la lumière polarisée est utilisée pour identifier des substances minérales. Il s'agit alors de se demander de quelle manière les résultats de ces recherches participent, dans un premier temps, à l'insertion dans les années 1840 de la lumière polarisée comme outil discriminant les minéraux. Puis dans un second temps, de quelle manière l'utilisation par Alfred Des Cloizeaux (1817-1897) de la lumière polarisée dans les années 1860 constitue la base d'une méthode d'identification des cristaux par leurs propriétés optiques ?

⁴⁶¹ Caroline KASPAR, *Optique et Minéralogie au XIX^e siècle. L'approche interdisciplinaire d'Alfred Des Cloizeaux*, Thèse de doctorat, Université de Lyon-1, p.54.

I. Le double statut des minéraux : entre étude et production de lumière polarisée (1808-1830)

André Chappert, s'appuyant sur le récit d'Arago, indique qu'Etienne Louis Malus (1775-1812) a découvert le phénomène de polarisation de la lumière par réflexion en observant à l'aide d'un cristal de spath la lumière réfléchiée par une vitre. Cette observation serait à l'origine d'après l'auteur de la découverte de la polarisation par réflexion selon un angle précis⁴⁶². Malus publie alors un mémoire en 1808, « Propriété de la lumière réfléchiée par les corps diaphanes »⁴⁶³. C'est également dans ce même mémoire que Malus fait le lien entre la double réfraction et la polarisation obtenue par réflexion. La polarisation de la lumière est une altération de la lumière naturelle, lui conférant des propriétés différentes.

⁴⁶² André CHAPPERT, *Etienne Louis Malus (1775-1812) et la théorie corpusculaire de la lumière*, Collection « L'Histoire des sciences. Textes et études », Vrin, Paris, 1977, p.59.

⁴⁶³ Etienne L. MALUS, « Propriété de la lumière réfléchiée par les corps diaphanes », *Procès-verbaux des séances de l'Académie des sciences*, Tome 4, 1808-1811, p.144.

Encart 16 : Explication de la polarisation de la lumière.

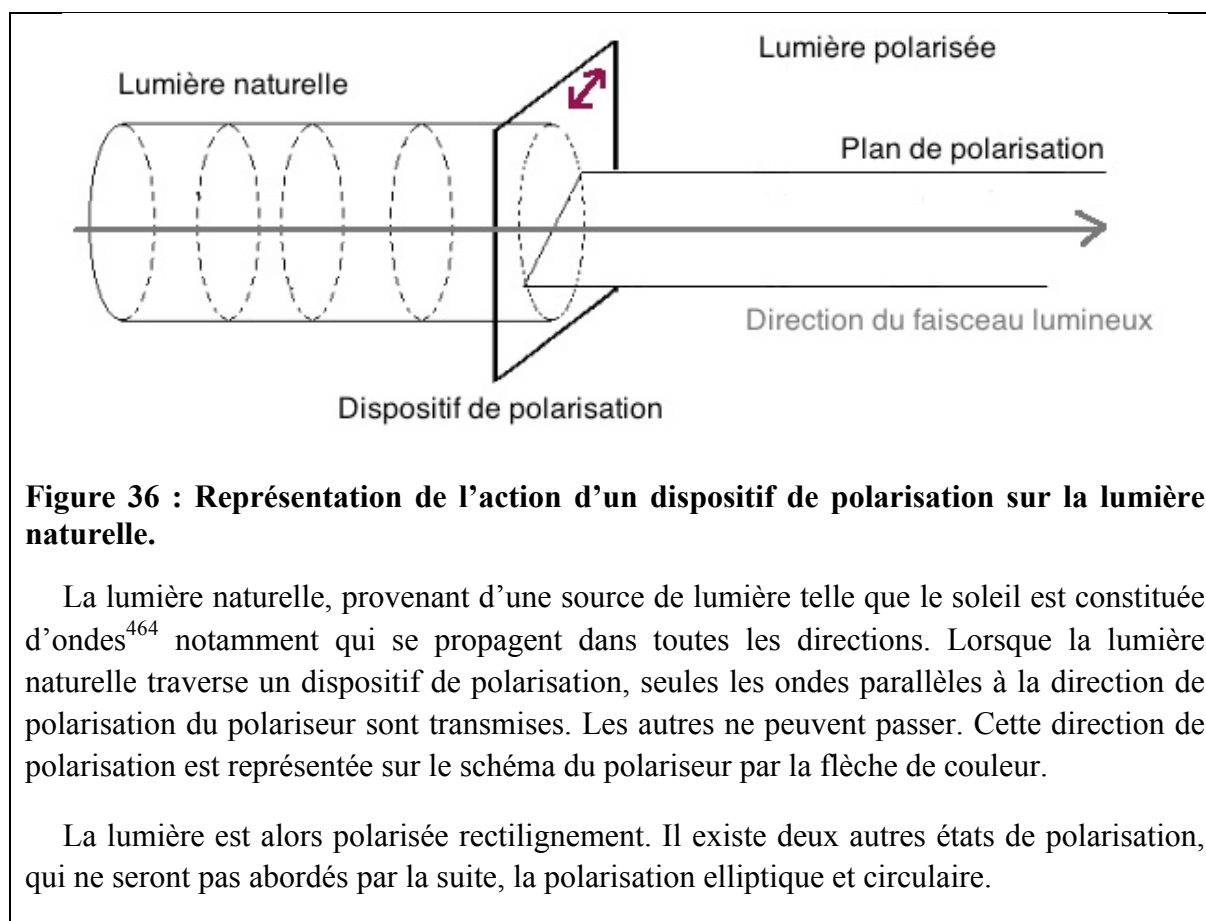


Figure 36 : Représentation de l'action d'un dispositif de polarisation sur la lumière naturelle.

La lumière naturelle, provenant d'une source de lumière telle que le soleil est constituée d'ondes⁴⁶⁴ notamment qui se propagent dans toutes les directions. Lorsque la lumière naturelle traverse un dispositif de polarisation, seules les ondes parallèles à la direction de polarisation du polariseur sont transmises. Les autres ne peuvent passer. Cette direction de polarisation est représentée sur le schéma du polariseur par la flèche de couleur.

La lumière est alors polarisée rectilignement. Il existe deux autres états de polarisation, qui ne seront pas abordés par la suite, la polarisation elliptique et circulaire.

L'exemple du spath calcaire constitutif du prisme de Nicol montre que les minéraux ont une action sur la lumière et sont susceptibles de la polariser. Nous avons également vu dans le chapitre précédent qu'il existe déjà une offre commerciale de dispositifs de polarisation dans les années 1830. Les prismes ne sont pas les seuls dispositifs disponibles pour polariser la lumière et il s'agit alors d'identifier les matériaux de construction mais également la manière dont ils sont utilisés. A ces questions s'ajoute le commentaire de Caroline Kaspar, mentionné précédemment sur le changement de statut de la lumière polarisée et des minéraux au milieu du XIX^e siècle. Les rôles des minéraux et de la lumière polarisée sont-ils aussi bien circonscrits ? Quels sont leurs statuts respectifs dans les recherches sur la lumière polarisée de cette première décennie du XIX^e siècle ?

⁴⁶⁴ Particulièrement au XIX^e siècle, la nature de la lumière est sujette à discussion entre nature corpusculaire et ondulatoire. Nous n'avons pas tenu compte de cet aspect dans les encarts techniques, qui ont une vocation explicative et utilisent donc les termes actuels. Pour plus d'informations sur cette période de changement de nature, nous vous renvoyons vers une liste d'ouvrages non exhaustive : du chapitre II de CHAPPERT André, *Etienne Louis Malus (1775-1812) et la théorie corpusculaire de la lumière*, Collection « L'Histoire des sciences. Textes et études », Vrin, Paris, 1977, 283 pages, de CHAPPERT André, *L'édification au XIX^e siècle d'une science du phénomène lumineux*, Vrin, Mathesis, Paris, 2004, 382 pages, de BUCHWALD Jed Z., *The rise of the wave theory of light. Aspects of Optical Theory and experiment in the first third of the nineteenth century*, The University of Chicago Press, 1989, 467 pages, de LECLERCQ Frédéric, *Jean Baptiste Biot (1774-1862) et la théorie corpusculaire de la lumière*, Thèse de doctorat, Université de Lille-1, 2008, 448 pages.

1. Comment produire de la lumière polarisée ?

La lumière polarisée, pour être utilisée nécessite d'être produite par un dispositif. Celui-ci se doit d'être caractérisé en identifiant les matériaux dont il est constitué et la forme qu'il revêt.

Les minéraux comme outils de production de lumière polarisée

Les savants font régulièrement référence aux dispositifs de polarisation qu'ils utilisent dans leurs articles. Par exemple, Wollaston dans ses articles indique utiliser du spath⁴⁶⁵ ou bien encore des cristaux afin de mesurer leurs pouvoirs de réfracter la lumière⁴⁶⁶. Brewster utilise des plaques d'agate ou de mica ou encore du spath⁴⁶⁷. Ce dernier est taillé en forme de prisme. Le savant l'utilise et le mentionne d'ailleurs dans plusieurs de ses articles⁴⁶⁸. Il utilise un prisme de béryl⁴⁶⁹ ainsi que des plaques de verre comme polarisateur⁴⁷⁰.

Par ailleurs, Biot utilise des plaques de cristal ou encore des plaques de tourmaline, taillées parallèlement à leurs axes. Des prismes en spath d'Islande⁴⁷¹, ou encore en béryl, en tourmaline ou en aragonite font également partie du matériel à sa disposition. De même, Arago et Fresnel mentionnent l'usage d'un rhomboïde de spath calcaire ou d'un prisme de roche achromatisée⁴⁷². Biot utilise d'autres dispositifs également, des glaces réfléchissantes, du verre noir⁴⁷³ ou encore des piles réfringentes⁴⁷⁴.

Ces premiers exemples montrent combien la diversité des dispositifs de polarisation de la lumière est importante. Les savants utilisent des minéraux différents, comme le spath, l'agate ou le béryl. Mais, ils ne présentent pas toujours la même forme. En effet, chez Seebeck par exemple, les minéraux sont taillés en plaques, perpendiculairement à l'axe du cristal⁴⁷⁵. Biot mentionne également des expériences d'Arago où le mica et la chaux sulfatée sont en lames

⁴⁶⁵ William H. WOLLASTON, « On the oblique refraction of Iceland spar » *Philosophical Transactions of Royal Society of London*, Volume 92, 1802, p. 381.

⁴⁶⁶ William H. WOLLASTON, « Nouvelles méthodes d'examen des pouvoirs des corps pour la réfraction et dispersion de la lumière », *Annales de chimie*, Tome 45-46, 1803, p. 26-62, + une planche.

⁴⁶⁷ David BREWSTER, « On the affections of light transmitted through crystallized bodies », *Philosophical Transactions of Royal Society of London*, Volume 104, 1814, p. 187-218

⁴⁶⁸ David BREWSTER, « On the affections of light ... », *ibid.* et David BREWSTER, « On some properties of light », *Philosophical Transactions of Royal Society of London*, Volume 103, 1813, p. 101-109 et David BREWSTER, « On the laws of polarisation and double refraction in regularly crystallized bodies », *Philosophical Transactions of Royal Society of London*, Volume 108, 1818, p. 199-272.

⁴⁶⁹ David BREWSTER, « On the laws of polarisation and ... », *op.cit.*, p. 210.

⁴⁷⁰ David BREWSTER, « On the laws of the polarization of ... », *op.cit.*, p. 134.

⁴⁷¹ Jean-Baptiste BIOT, « Nouvelles expériences sur le développement des forces polarisantes par la compression dans tous les sens des cristaux », *Annales de chimie et de physique*, Tome 3, 1816, p. 388.

⁴⁷² Louis ARAGO et Auguste FRESNEL, « Mémoire sur l'action que les rayons de lumière polarisée exercent les uns sur les autres », *Annales de chimie et de physique*, Tome 10, 1819, p. 291.

⁴⁷³ Jean-Baptiste BIOT, « Sur une nouvelle propriété physique qu'acquièrent les lames de verres quand elles exécutent des vibrations longitudinales », *Annales de chimie et de physique*, Tome 13, 1820, p.152.

⁴⁷⁴ Jean-Baptiste BIOT, « Sur un point de l'histoire de l'optique relatif aux phénomènes de polarisation », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 15, Juillet-Décembre 1842, 1842, p. 966.

⁴⁷⁵ Jean-Baptiste BIOT, « Sur un point de l'histoire de l'optique relatif aux phénomènes de polarisation », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 15, Juillet-Décembre 1842, 1842, p. 964.

minces⁴⁷⁶. Ces mêmes expériences d'Arago sont également mentionnées par Brewster avec la même transformation des minéraux. Chez le savant britannique, les minéraux sont également taillés en plaques, parfois perpendiculairement au plan⁴⁷⁷. Il est l'un des seuls dans ses articles à préciser l'épaisseur des plaques. Ces dernières doivent être assez fines et transparentes. Il utilise par exemple une plaque de topaze de 103/1000 de pouce de finesse⁴⁷⁸ ou encore une section d'agate, découpée parallèlement à sa face de 1/15 de pouce d'épaisseur⁴⁷⁹. Dans un autre de ses articles, il mentionne l'usage de plaques de cristal de 1/12 à 1/15 de pouce d'épaisseur⁴⁸⁰.

Ainsi, les nombreux dispositifs de polarisation mentionnés sont construits à partir de minéraux. Ces minéraux ont tous la propriété de polariser la lumière, même s'ils ne le font pas de la même manière. Le spath par exemple est biréfringent, tout comme l'agate, le mica et le beryl. D'autres minéraux, comme la tourmaline polarise la lumière par absorption. Les glaces réfléchissantes ou le verre noir mentionnés, proviennent initialement des expériences faites par Malus. Ce dernier découvre que l'empilement de plaques de verre permet par réflexions successives de polariser la lumière. De plus, les cristaux utilisés comme dispositif de polarisation sont taillés soit en plaques, soit en prismes. Il arrive que certains auteurs précisent que le prisme de spath est achromatique. Les prismes achromatiques sont construits afin de limiter les différentes réflexions des rayons colorés du spectre visible, nommées plus généralement aberrations chromatiques⁴⁸¹.

Les savants mentionnent souvent l'orientation selon laquelle le cristal a été taillé. C'est une indication relative à l'orientation du plan de polarisation de la lumière. Ces modifications témoignent d'un savoir-faire technique concernant la taille des cristaux. La multiplicité des formes des dispositifs de polarisation mène à s'interroger sur les acteurs qui les construisent. Les gestes techniques nécessaires à leur fabrication ou à leur mise en forme nécessitent un apprentissage ou du moins des savoir-faire dont l'origine reste à clarifier. Il s'agit alors d'identifier les informations concernant les constructeurs de ces dispositifs.

Des fabricants présents mais invisibles

Les savants dans leurs publications ne mentionnent pas s'ils fabriquent ou non leurs dispositifs de polarisation. Seul Brewster remercie William Nicol pour les sections fines qu'il lui a fabriquées⁴⁸². Il mentionne également dans « Sur les pouvoirs réfringens de deux nouveaux

⁴⁷⁶ Jean-Baptiste BIOT, « Sur un point de l'histoire ... », *op.cit.*, p. 966.

⁴⁷⁷ David BREWSTER, « On the affections of light transmitted through crystallized bodies », *Philosophical Transactions of Royal Society of London*, Volume 104, 1814, p. 188.

⁴⁷⁸ 1 pouce correspond à 2,54 cm, ce qui correspond à 0,26 cm d'épaisseur.

⁴⁷⁹ David BREWSTER, « On some properties of light », *Philosophical Transactions of Royal Society of London*, Volume 103, 1813, p. 102.

⁴⁸⁰ David BREWSTER, « On the laws of polarisation and double refraction in regularly crystallized bodies », *Philosophical Transactions of Royal Society of London*, Volume 108, 1818, p. 227.

⁴⁸¹ Une aberration chromatique est liée aux différentes réflexions des rayons colorés composant la lumière blanche. Il s'ensuit qu'une image observée est floue et ses contours sont irisés.

⁴⁸² David BREWSTER, « Account of a remarkable peculiarity in the structure of glauberite, which has one axis of double refraction for violet, and two axes for red light », *The Edinburgh Journal of Science*, Volume 10, 1829, p. 325.

fluides contenus dans les cavités de certains minéraux »⁴⁸³ en 1826, que le cristal qu'il utilise appartient à M. Sanderson⁴⁸⁴. Il s'agit vraisemblablement du même lapidaire que celui mentionné par Nicol à propos des sections fines.

Les savants se fournissent probablement chez des artisans tels que des opticiens ou des lapidaires, capables de produire ces types d'objets. En effet, les contraintes techniques nécessaires aux observations, à savoir la régularité, l'épaisseur peu importante, souvent inférieure au millimètre, sont telles que seule une pratique régulière permet d'obtenir des résultats satisfaisants.

Biot par exemple mentionne en 1814 : « *J'ai fait polir les faces inclinées [...]* »⁴⁸⁵. Le savant ne précise pas qui effectue cet acte technique. Cependant la consultation des catalogues de fabricants à partir des années 1820 montrent qu'il existe une offre commerciale pour ces dispositifs. Par exemple, le fabricant anglais Pritchard, vend en 1838⁴⁸⁶ des prismes polarisants pour microscope, des prismes à simple image, dit prisme Nicol, des plaques cristallisées d'aragonite ou de spath calcaire par exemple. Le fabricant français Chevallier propose en 1842 des pinces d'acier à vis de pression pour tourmaline, des prismes également, tels que des prismes Biot et des prismes achromatiques⁴⁸⁷. La pince à tourmaline est constituée de deux branches dans lesquelles sont insérées deux tourmalines. La tourmaline est un minéral qui polarise la lumière et fait donc de cette pince, un instrument manuel qui permet d'observer des minéraux sous lumière polarisée.



Fig. 261.

Figure 37 : Pince à tourmaline⁴⁸⁸.

⁴⁸³ David BREWSTER, « Sur les pouvoirs réfringens de deux nouveaux fluides contenus dans les cavités de certains minéraux », *Annales de Chimie et de Physique*, Tome 33, 1826, p.103-107.

⁴⁸⁴ David BREWSTER, « Sur les pouvoirs réfringens ... », *op.cit.*, p.104.

⁴⁸⁵ Jean-Baptiste BIOT, « Sur un mode particulier de polarisation qui s'observe dans la Tourmaline », *Nouveau Bulletin des Sciences, par la Société Philomathique de Paris*, 1815, Paris, p. 26.

⁴⁸⁶ Dans « Addenda to lists of new optical instruments » en fin d'ouvrage de Andrew PRITCHARD et C.R. GORING, *Microscopic illustrations of living objects their natural history, &c, with researches concerning the most eligible methods of constructing microscopes and instructions for using them*, nouvelle édition, Londres, Whittaker and co., 1838.

⁴⁸⁷ J.-G. A. CHEVALLIER, *Catalogue des instruments d'optique de physique, de mathématiques et de minéralogie qui se fabriquent et se vendent chez l'ingénieur Chevallier*, Imprimerie De Guillois, Paris, 1842, p. 7-8.

⁴⁸⁸ SECRETAN, *Catalogue et prix des instruments d'optique, de physique, de mathématiques, d'astronomie et de marine qui se trouvent et se fabriquent dans les magasins et ateliers de Secrétan, successeur de Lerebours et Secrétan : chimie, galvanoplastie, minéralogie*, Imprimerie Henri Plon, Paris, 1862, p. 139

Une pratique d'observation : le montage en série des polarisateurs de lumière

L'usage par les savants des dispositifs de polarisation est assorti d'un discours spécifique éclairant sur les méthodes et les montages mobilisés dans les expériences sur la polarisation de la lumière. Par exemple, Biot dans « Sur un point de l'histoire de l'optique relatif aux phénomènes de polarisation », en 1842, utilise un prisme pour analyser la lumière transmise⁴⁸⁹ et indique régler le dispositif sur deux positions différentes. De plus, dans l'une des lettres insérées dans l'article, écrite par Seebeck, il est mentionné l'usage de deux piles croisées⁴⁹⁰. Ce sont des empilements de plaques de verre qui polarisent la lumière. La mention de l'adjectif « croisé » indique que les plans de polarisation sont perpendiculaires entre eux (voir à ce propos Encart 18).

Biot parle également dans « Nouvelles expériences sur le développement des forces polarisantes par la compression dans tous les sens des cristaux », d'analyser un rayon transmis de lumière polarisée⁴⁹¹. Une mention similaire est présentée dans un autre document⁴⁹² où il prépare un large faisceau de lumière polarisée, reçu par un verre noir. Brewster aborde un vocabulaire très similaire. A titre d'illustration, Brewster dans « On the affections of light transmitted through crystallized bodies » décrit soit des plaques d'agate dont les lames sont positionnées en angle droit l'une par rapport à l'autre, soit le mouvement circulaire donné par l'observateur à un prisme de spath⁴⁹³. Il détaille la superposition de deux dispositifs de polarisation, une plaque d'agate et un prisme de spath. La lumière est également transmise chez le savant⁴⁹⁴. Arago aussi, d'après Brewster utilise une fine plaque de sulfate de chaux et de mica dont la lumière transmise est analysée par un prisme de spath⁴⁹⁵.

Les termes « analyser », « lumière transmise » sont régulièrement présents dans les publications de ces savants. Cependant la signification de leur sens n'est pas précisée. Nous avons vu précédemment lors de l'analyse des montages mobilisant le prisme de Nicol, que les dispositifs de polarisation vont souvent de pair. Les noms qui leur sont attribués diffèrent selon cette position et le terme « analyser » est utilisé également. L'utilisation d'un seul dispositif ne semble pas suffisante mais soulève la question de l'origine de ces montages tout en permettant de clarifier la continuité de fonction observée pour le prisme de Nicol.

⁴⁸⁹ Jean-Baptiste BIOT, « Sur un point de l'histoire de l'optique relatif aux phénomènes de polarisation », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 15, Juillet-Décembre 1842, 1842, p. 963.

⁴⁹⁰ Jean-Baptiste BIOT, « Sur un point de l'histoire ... », *op.cit.*, p. 966.

⁴⁹¹ Jean-Baptiste BIOT, « Nouvelles expériences sur le développement des forces polarisantes par la compression dans tous les sens des cristaux », *Annales de chimie et de physique*, Tome 3, 1816, p. 393.

⁴⁹² Jean-Baptiste BIOT, « Sur une nouvelle propriété physique qu'acquièrent les lames de verres quand elles exécutent des vibrations longitudinales », *Annales de chimie et de physique*, Tome 13, 1820, p.151-155.

⁴⁹³ David BREWSTER, « On the affections of light transmitted through crystallized bodies », *Philosophical Transactions of Royal Society of London*, Volume 104, 1814, p. 188.

⁴⁹⁴ David BREWSTER, « On some properties of light », *Philosophical Transactions of Royal Society of London*, Volume 103, 1813, p. 102.

⁴⁹⁵ David BREWSTER, « On the laws of polarisation and double refraction in regularly crystallized bodies », *Philosophical Transactions of Royal Society of London*, Volume 108, 1818, p. 203.

D'après Leclercq⁴⁹⁶, c'est autour de 1811 que Malus utilise des montages comprenant un second dispositif de polarisation. Avant cette date, il semblerait qu'un seul dispositif soit utilisé. Le montage en série s'explique par l'utilisation de la lumière polarisée comme outil d'étude de différentes substances.

Encart 17 : Dispositif polariseur-analyseur et ses différentes positions.

Un polariseur transforme une onde non polarisée en onde polarisée rectiligne. Cette illustration montre l'action d'un polariseur sur un faisceau de lumière naturelle, c'est à dire non polarisée.

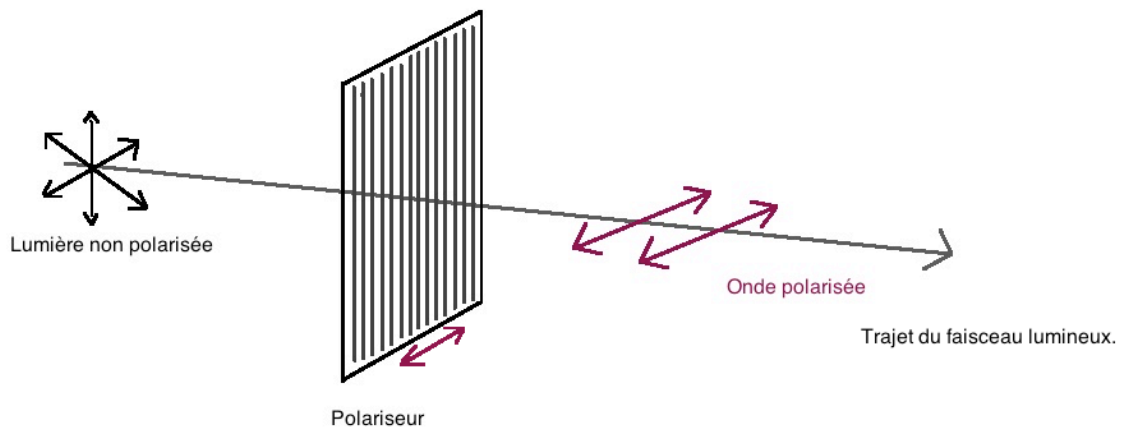


Figure 38 : Schéma représentant l'action d'un polariseur sur un rayon lumineux⁴⁹⁷.

Le second dispositif ajouté permet également de polariser la lumière. Parfois, il s'agit du même dispositif que le premier, d'autre fois, ils sont différents. Ce second dispositif est appelé analyseur. Il va polariser la lumière issue du premier polariseur, comme le montre l'illustration.

⁴⁹⁶ Frédéric LECLERCQ, *Jean Baptiste Biot (1774-1862) et la théorie corpusculaire de la lumière*, Thèse de doctorat, Université de Lille-1, 2008, p.68.

⁴⁹⁷ Notons que la représentation et le vocabulaire utilisé n'est pas représentatif des débats sur la nature de la lumière à cette époque. Nous avons choisi pour faciliter la compréhension du lecteur d'utiliser des représentations actuelles au sein des encarts.

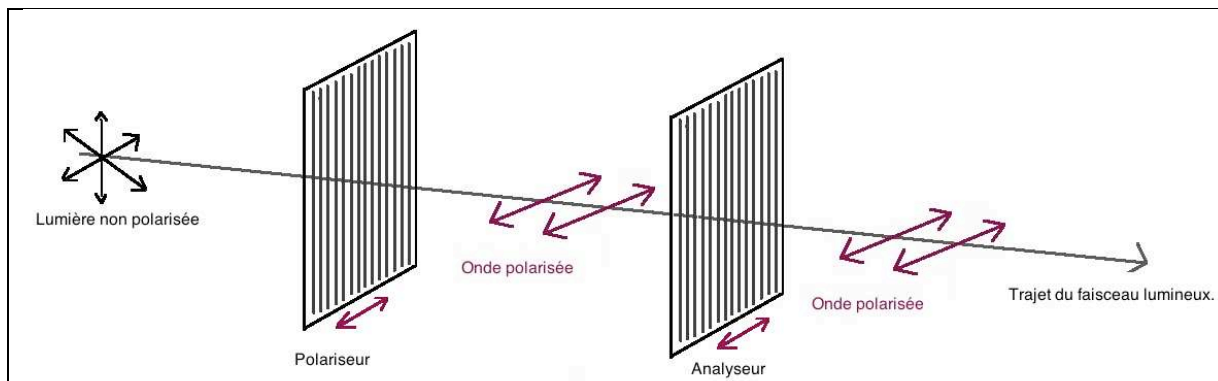


Figure 39 : Schéma représentant l'action d'un polariseur et d'un analyseur sur un rayon lumineux.

Le but de la succession d'un polariseur et d'un analyseur est de détecter les ondes polarisées.

L'adjectif « *croisé* » nous indique que les dispositifs peuvent prendre des positions différentes. Brewster parle de plaques de minéraux dont les plans des lames sont positionnés à angle droit tandis que Seebeck parle de piles croisées. L'orthogonalité des plans de polarisation des dispositifs ont des incidences sur la lumière qui traverse le montage. Malus d'après Frédéric Leclercq, positionne ces dispositifs parallèlement. Quelques années plus tard, le vocabulaire relevé nous indique que Brewster, tout comme Biot, utilisent des dispositifs en série dont le second est mobile. L'analyseur est soit parallèle, soit tourné à 90° du premier (voir encart ci-après).

Encart 18 : Différentes positions des polariseurs-analyseurs et passage de la lumière.

La lumière naturelle, c'est à dire non polarisée, issue d'une source lumineuse traverse le premier dispositif de polarisation, le polariseur. Ce dernier polarise la lumière dans une direction, comme le montre la figure ci-dessous. Un second dispositif est placé sur le trajet du rayon lumineux polarisé. Il est traversé par le rayon polarisé.

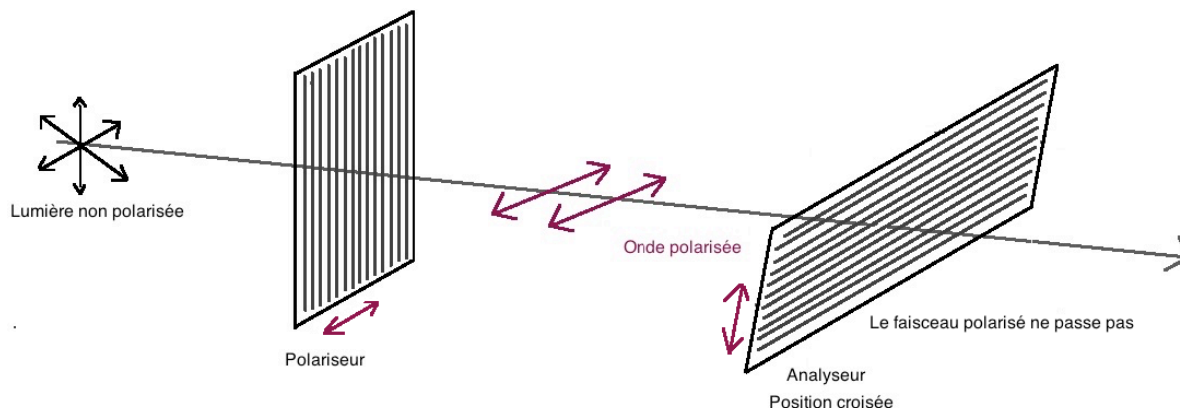


Figure 40 : Illustration d'un montage polariseur et analyseur croisés.

Or, dans le cas d'un montage avec polariseur et analyseur croisés, le second dispositif, l'analyseur est tourné à 90° du premier dispositif. Il en résulte que les plans de polarisation des deux dispositifs sont orthogonaux.

Le rayon issu du polariseur est polarisé dans une direction et lorsqu'il rencontre le second dispositif l'analyseur, la lumière ne peut passer, car elle n'est pas orientée dans le même plan de polarisation que celui de l'analyseur.

Les minéraux sont donc mis à contribution pour leurs propriétés polarisatrices de la lumière et sont donc utilisés comme outils pour produire de la lumière polarisée. Avec cet usage, un vocabulaire et des pratiques se mettent en place, comme l'usage en série des dispositifs de polarisation. Pour autant, le rôle des minéraux ne se cantonne pas uniquement à cet usage et ils peuvent également devenir des objets d'études.

2. Etudier les minéraux avec la lumière polarisée

Certains minéraux, comme le quartz ou la tourmaline permettent de produire de la lumière polarisée. Cependant, ce statut d'outil n'est pas si clair, car ils apparaissent également comme objets d'études. Ce double statut pourrait permettre une convergence des pratiques permettant l'ajout de nouveaux caractères relatifs à la lumière polarisée au sein de la méthode minéralogique.

La lumière polarisée comme outil d'étude des minéraux

Les savants s'attachent à utiliser la lumière polarisée pour étudier son effet sur des substances comme par exemple les sucres dans le cas de la construction d'un saccharimètre. Ils le font notamment sur les cristaux pour comprendre les effets de la lumière polarisée sur ces corps. Brewster dans « On the optical and physical properties of tabasheer », étudie l'action des minéraux sur la lumière polarisée⁴⁹⁸. Il examine également dans « On the laws of polarisation and double refraction in regularly crystallized bodies » près de 165 cristaux pour construire des lois sur la double réfraction dans les cristaux⁴⁹⁹. Par ailleurs, Biot étudie des micas qu'il soumet à la lumière polarisée⁵⁰⁰.

Talbot quant à lui, dans « On the optical phenomena of certain crystals » observe les phénomènes optiques que produisent des plaques de cristal de borax traversées par la lumière polarisée⁵⁰¹. Il utilise pour cela un microscope polarisant, dont les polariseur et analyseur sont des prismes de Nicol⁵⁰². Le savant propose aussi d'utiliser des plaques de tourmaline comme dispositif de polarisation.

Ces exemples montrent que les minéraux sont des objets d'études, soumis à l'action de la lumière polarisée dans le but de comprendre leur nature. Ils sont observés et décrits grâce à l'utilisation de la lumière polarisée. L'exemple de Talbot l'illustre parfaitement puisqu'il observe différentes plaques de cristal sous lumière polarisée analysée. Ainsi, les minéraux sont à la fois utilisés comme outils permettant de polariser la lumière mais ils sont aussi des objets de recherches. Ce double statut va de pair avec une modification du statut de la lumière polarisée. Cette dernière de manière inverse aux minéraux passe du statut d'objet d'étude à celui d'outil. Il n'y a pas de période spécifique montrant un basculement d'un statut pour un autre. Nous assistons en même temps, et ce dès le début de la décennie 1810, à un usage conjoint des minéraux et de la lumière avec des statuts respectifs alternant entre outil et objet d'étude. Ce double usage des minéraux dans les expériences rend parfois complexe l'identification de leur statut. De même, il est parfois difficile de savoir si la lumière polarisée est objet d'étude ou outil de recherche.

⁴⁹⁸ David BREWSTER, « On the optical and physical properties of tabasheer », *Philosophical Transactions of Royal Society of London*, Volume 109, 1819, p. 284.

⁴⁹⁹ David BREWSTER, « On the laws of polarisation and double refraction in regularly crystallized bodies », *Philosophical Transactions of Royal Society of London*, Volume 108, 1818, p. 204.

⁵⁰⁰ Jean-Baptiste BIOT, « Sur l'utilité des lois de la polarisation de la lumière pour manifester l'existence et la nature des systèmes cristallins », *Annales de chimie et de physique*, Tome 8, 1818, p. 438-439.

⁵⁰¹ Henry Fox TALBOT, « On the optical phenomena of certain crystals » *Philosophical Transactions of Royal Society of London*, Volume 127, 1837, p. 25.

⁵⁰² Une étude plus spécifique à propos du prisme nicol est effectuée dans le chapitre 4.

Les figures de polarisation, un témoin de la structure cristalline

L'utilisation de la lumière polarisée pour observer des substances met à jour des phénomènes optiques colorés, des figures de polarisation qui sont assez rapidement corrélées à la structure cristalline, conférant une méthode supplémentaire d'identification des minéraux.

Brewster mentionne par exemple l'observation de cercles colorés⁵⁰³ ou encore de cercles concentriques⁵⁰⁴. Biot quant à lui parle du fait que la compression des minéraux a un effet sur les teintes de Newton⁵⁰⁵. Talbot note dans son article, l'observation d'une croix noire et de quatre sections de lumière⁵⁰⁶. C'est une figure de polarisation, un phénomène optique issu de l'observation d'un cristal à travers une lumière polarisée-analysée convergente. Il constate également un ou de nombreux cercles de couleurs vives⁵⁰⁷, tout comme Nicol⁵⁰⁸. Pour autant, ce dernier n'arrive pas à les observer en raison de l'extrême finesse de l'échantillon. Plus tardivement en 1844, Matthiessen⁵⁰⁹, dans son article décrit une série d'anneaux à centres noirs, similaires aux anneaux ordinaires vus par réflexion.

La description de ces phénomènes par Brewster ou encore Biot apparaît comme inédite dans leurs articles tandis que dans ceux des auteurs tels que Matthiessen ou Nicol, ces phénomènes font partie intégrante des descriptions qu'ils donnent. Ainsi, il semblerait que les descriptions des figures de polarisation des minéraux observés sous lumière polarisée entrent dans les pratiques des savants entre 1820 à 1830.

Nous souhaitons ajouter quelques éléments complémentaires à propos de ces figures de polarisation. Les couleurs observées sont très variées et suscitent un engouement non pas des savants, mais des amateurs éclairés et des mondains pour ce type d'observation. Ces observations deviennent très populaires entre 1820 et 1830. Certains auteurs, tels que Talbot, décrivent avec précision la manière de conduire ce type d'observation pour observer des figures de polarisation⁵¹⁰. Par ailleurs, la commercialisation de plaques de cristaux ou de section fines de cristaux notamment par Pritchard est un exemple supplémentaire de l'attrait pour ce type d'observation.

Les phénomènes décrits correspondent à la manière dont la lumière polarisée traverse le milieu cristallin. Selon l'orientation des cristaux mais aussi leur nature, la lumière est réfléchi

⁵⁰³ David BREWSTER, « On the affections of light transmitted through crystallized bodies », *Philosophical Transactions of Royal Society of London*, Volume 104, 1814, p. 204-205.

⁵⁰⁴ David BREWSTER, « On the laws of polarisation and double refraction in regularly crystallized bodies », *Philosophical Transactions of Royal Society of London*, Volume 108, 1818, p. 227.

⁵⁰⁵ Jean Baptiste BIOT, « Nouvelles expériences sur le développement des forces polarisantes par la compression dans tous les sens des cristaux », *Annales de chimie et de physique*, Tome 3, 1816, p. 392.

⁵⁰⁶ Henry Fox TALBOT, « Further observations on the optical phenomena of crystals », *Philosophical Transactions of Royal Society of London*, Volume 127, 1837, p. 29.

⁵⁰⁷ Henry Fox TALBOT, *ibid* et Henry Fox Talbot, « On the optical phenomena of certain crystals » *Philosophical Transactions of Royal Society of London*, Volume 127, 1837, p. 26.

⁵⁰⁸ William NICOL, « Proceedings of the Wernerian Natural History Society », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Volume 29, Avril-Octobre 1840, 1840, p. 175.

⁵⁰⁹ Augustus MATTHIESSEN, « Sur les anneaux colorés produits dans un solide transparent limité par une surface plane combinée avec une surface courbe », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 18, Janvier-Juin 1844, 1844, p.710.

⁵¹⁰ William H. F. TALBOT, « Further observations on the optical phenomena of crystals », *Philosophical Transactions of Royal Society of London*, Volume 127, 1837, p. 29-35

différemment et produit des figures différentes ⁵¹¹. Cependant, la description de ces phénomènes est très rapidement liée à la structure cristalline des cristaux étudiés. A titre d'exemple, Brewster dans l'un de ses articles⁵¹² utilise la lumière polarisée afin de savoir si les objets soumis possèdent ou non une structure cristalline. Biot dit à ce propos :

« *Il était utile d'avoir, pour ces occasions un indice expérimental qui pût pencher dans l'intérieur des substances y manifester l'existence ou non du système cristallin, et montrer sa continuité ou sa discontinuité, sa variation ou sa constance* »⁵¹³.

En effet, certaines formes primitives d'espèces⁵¹⁴ n'ont pas été bien déterminées en raison du manque d'existence de cristaux bien formés et/ou des faces peu planes qu'ils possèdent. Les mesures des angles sont alors difficiles voire impossibles. Biot choisit donc d'utiliser comme « indice expérimental » le phénomène de polarisation. Il considère alors que l'usage de la lumière polarisée est un bon moyen expérimental pour déterminer la présence ou non d'un système cristallin au sein d'un échantillon.

Biot l'applique d'ailleurs à l'étude des micas comme le précise Frédéric Leclercq :

« [...] *le sujet principal étant la détermination du système cristallin au moyen de la lumière polarisée lorsque l'aspect d'un cristal ne permet pas d'identifier sa forme cristalline : les micas offrent une indétermination de cette sorte.* »⁵¹⁵

Malus avant lui, a aussi fait le lien entre polarisation et structure cristalline. Il cherche notamment dans la structure des cristaux l'origine des forces qui génèrent la polarisation. Il se demande d'ailleurs si « [l'] *étude de l'architecture des cristaux ne doit-elle pas tenir le plus grand compte des propriétés que manifestent les rayons soumis aux réfractions cristallines* » ⁵¹⁶ ?

Les propriétés de réfraction de la lumière polarisée permettent également d'en déduire le nombre d'axes optiques des cristaux. Brewster par exemple fait des études sur ces propriétés optiques. Il découvre par exemple que certains cristaux ont deux axes de réfraction extraordinaire ⁵¹⁷. Il affirme aussi qu'il est possible de déduire du nombre des axes optiques d'un cristal sa forme primitive ⁵¹⁸.

⁵¹¹ Les figures sont présentées avec plus de détails dans Encart 22 p.150.

⁵¹² David BREWSTER, « On the laws of polarisation ... », *op.cit.*, p. 199-272.

⁵¹³ Jean Baptiste BIOT, « Sur l'utilité des lois de la polarisation de la lumière pour manifester l'existence et la nature des systèmes cristallins », *Annales de chimie et de physique*, Tome 8, 1818, p. 438.

⁵¹⁴ C'est une forme commune que prennent les cristaux d'un même groupe, malgré les formes géométriques de cristallisation secondaire qu'ils peuvent présenter

⁵¹⁵ Frédéric LECLERCQ, *Jean Baptiste Biot (1774-1862) et la théorie corpusculaire de la lumière*, Thèse de doctorat, Université de Lille-1, 2008, p. 219.

⁵¹⁶ André CHAPPERT, *Etienne Louis Malus (1775-1812) et la théorie corpusculaire de la lumière*, Librairie philosophique Vrin, Paris, 1977, p. 83

⁵¹⁷ David BREWSTER, « Sur la différence qui existe entre les propriétés optiques de l'arragonite et celles du spath calcaire », *Annales de chimie et de physique*, Tome 6, 1817, p. 104.

⁵¹⁸ David BREWSTER, « On the laws of polarisation and double refraction in regularly crystallized bodies », *Philosophical Transactions of Royal Society of London*, Volume 108, 1818, p. 225.

Ainsi, les savants, comme Malus, ou même Biot et Brewster relient l'agencement des cristaux aux propriétés optiques qu'ils peuvent avoir. Ces mêmes propriétés sont mises au jour par leur interaction avec la lumière polarisée. La structure des minéraux, jusqu'au niveau moléculaire serait alors révélée par l'usage de la lumière polarisée et des propriétés qu'elle permet de mettre au jour. L'usage de la lumière polarisée permet alors d'entrer à l'intérieur même des corps, au-delà de ce qui est possible par les techniques en vigueur afin d'obtenir des résultats assez rapidement, sans manipulations complexes pour déterminer avec précision la structure cristalline d'un minéral.

Et en minéralogie, quelle place pour la lumière polarisée ?

Les minéraux ont un double statut, à la fois outils pour produire de la lumière polarisée, mais également objets d'étude favorisant ainsi l'intégration des caractères optiques en minéralogie pour la reconnaissance des minéraux.

Ainsi, Haüy dans son *Traité de minéralogie* parle de la simple et de la double réfraction⁵¹⁹, dont il explique également le phénomène. De même, Brongniart mentionne les deux types de réfraction, tout en signalant que le spath et le zircon possèdent cette propriété. Brongniart se réfère d'ailleurs à Haüy pour expliquer cette propriété de la double réfraction. Elle provient de l'arrangement des molécules. D'après Brongniart, la double réfraction est un caractère distinctif des plus importants⁵²⁰ qu'il faut identifier chez les minéraux. Ainsi, sa détection est primordiale. Cependant, certains minéraux ne présentent pas une double réfraction très importante, comme le spath. Une manipulation est nécessaire pour « rendre la double réfraction plus sensible ⁵²¹ » d'après Brongniart. On perce alors un très petit trou dans une carte. Puis on pose cette carte sur le cristal. Il faut alors bien veiller à ce que la face cristalline soit opposée à la face observée. On regarde une source lumineuse à travers le cristal. Le trou apparaît double si le minéral possède la double réfraction.

En 1825 dans *Introduction à la minéralogie ou exposé des principes de cette science* Brongniart nomme une catégorie « Action des minéraux sur la lumière »⁵²². Cette catégorie regroupe un ensemble de caractères tels que la transmission de la lumière, la transparence, la translucidité et l'opacité et la réfraction, simple ou double.

⁵¹⁹ René Just HAÜY, *Traité de minéralogie*, Tome 1, Paris, 1801, p. xlj.

⁵²⁰ Notons que la propriété de double réfraction d'un objet, bien qu'elle soit par la suite reliée à la propriété de polariser la lumière est connue par les minéralogistes et les physiciens. En effet, l'ouvrage de Erasmus Bartholin, à propos de la double réfraction du spath d'Islande est connu. Il n'est donc pas étonnant de retrouver cette caractéristique chez les minéralogistes pour distinguer les minéraux, avant même la découverte de Malus et les travaux de polarisation qui suivent.

⁵²¹ Alexandre BRONGNIART, *Traité élémentaire de Minéralogie avec des applications aux arts*, Tome 1, Imprimerie de Crapelet, Paris, 1807, p. 49.

⁵²² Alexandre BRONGNIART, *Introduction à la minéralogie ou exposé des principes de cette science*. Article inséré dans le tome 31 du Dictionnaire des sciences naturelles au mot Minéralogie F.G. Levrault, libraire-éditeur, Paris, 1825, p. 42.

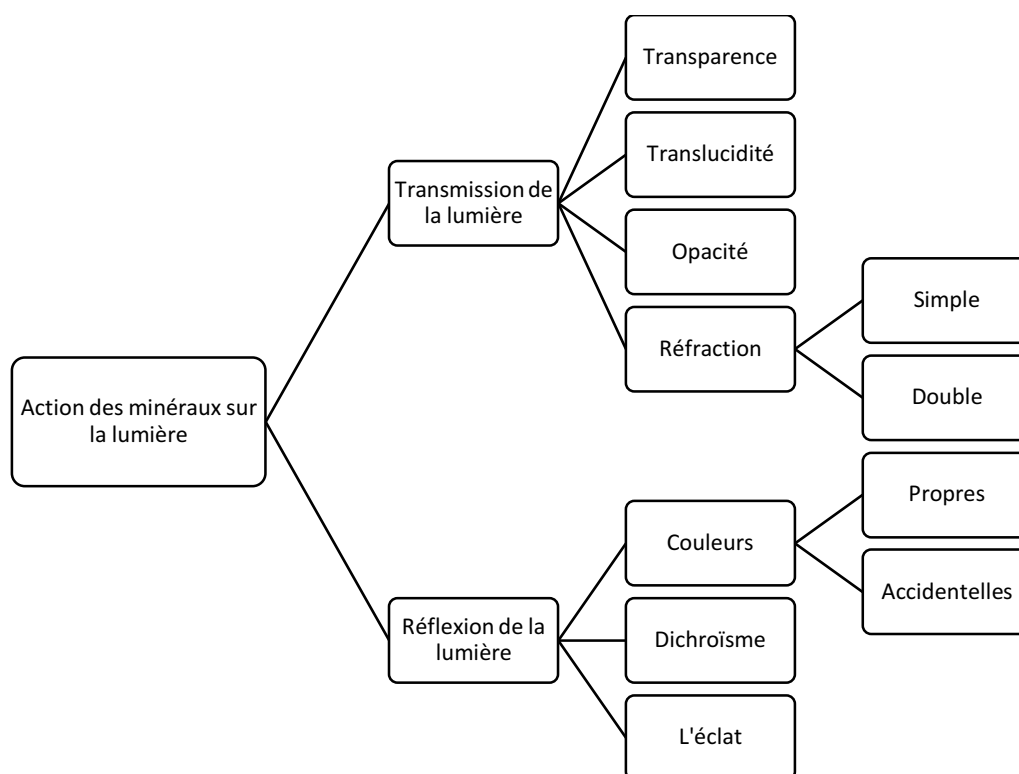


Figure 41 : Illustration des caractères "optiques" chez Brongniart⁵²³.

Brongniart précise en parlant de la polarisation de la lumière que :

« Cette découverte a introduit dans l'histoire des minéraux une nouvelle série de propriétés, qu'on désigne sous le nom de caractères ou propriétés optiques des minéraux [...] »⁵²⁴.

L'apparition de cette catégorie « *Action des minéraux sur la lumière* » est significative de l'ampleur progressive que prennent les caractères optiques dans la détermination des minéraux. Les caractères optiques restent inclus dans le groupe des caractères physiques, mais cela tend à montrer l'importance croissante qu'ils acquièrent. Ce phénomène peut être corrélé avec les recherches en optique réalisées dans le domaine de la physique. D'ailleurs, le minéralogiste mentionne les travaux de Brewster, de Biot, d'Arago ou encore de Fresnel lorsqu'il évoque la double réfraction.

Un autre exemple est celui de Girardin et Lecoq qui parlent de la simple et double réfraction également, ainsi que du dichroïsme⁵²⁵ et de la polarisation⁵²⁶. Il en est de même avec le *Précis de Minéralogie moderne*, d'Odolant Desnos. Le savant explique la réfraction en faisant

⁵²³ Alexandre BRONGNIART, *Introduction à la minéralogie ou exposé des principes de cette science*. Article inséré dans le tome 31 du Dictionnaire des sciences naturelles au mot Minéralogie F.G. Levrault, libraire-éditeur, Paris, 1825, p. 42-59.

⁵²⁴ Alexandre BRONGNIART, *Introduction à la minéralogie ...*, op.cit., p. 49.

⁵²⁵ Le dichroïsme est « la propriété singulière que possèdent quelques minéraux de présenter une couleur quand on les regarde dans un sens, et d'en offrir une autre lorsqu'on change leur position relativement à l'oeil. » extrait de Alexandre BRONGNIART, *Traité élémentaire de Minéralogie avec des applications aux arts*, Tome 1, Imprimerie de Crapelet, Paris, 1807, p.30.

⁵²⁶ Jean GIRARDIN et Henri LECOQ, *Elemens de Minéralogie appliquée aux sciences chimiques, ouvrage basé sur la méthode de M. Berzelius*, Tome 1 et Tome 2, Imprimerie de Huzard-Courgier, Paris, 1826, p.30.

référence à la théorie des accès de Biot⁵²⁷ et mentionne aussi les travaux de Fresnel et Brewster. La double réfraction dépend d'après le savant de l'arrangement des particules d'un corps⁵²⁸. Odolant Desnos parle aussi d'axe optique et de cristaux qui en possèdent un ou deux, mais reste assez vague quant à ce qu'il représente.

Il conclut :

« *La propriété de la double réfraction est devenue fort utile pour déterminer rigoureusement à quelle forme et à quel système un corps appartient, quelle que soit l'irrégularité du fragment que l'on a à examiner* »⁵²⁹.

Cette citation montre un changement dans le discours à propos de la double réfraction. Cette dernière n'est plus uniquement considérée comme un caractère discriminant. Son usage permet de révéler le système cristallographique et assure donc un moyen de reconnaissance fiable. Cependant, Odolant Desnos ne précise pas la manière de procéder pour reconnaître un objet.

Ainsi, les caractères optiques sont utilisés comme caractères discriminants pour l'identification des minéraux. Ces caractères ne sont pas uniquement liés à la lumière polarisée puisque par exemple, ils comprennent l'éclat ou la couleur. Cependant l'article de Jacques Babinet « Précis d'un mémoire sur les caractères optiques des minéraux », permet d'appréhender un autre type de caractères optiques non présentés dans les traités⁵³⁰. La détermination de ces caractères est quant à elle directement dépendante de l'utilisation de la lumière polarisée. Les caractères optiques des minéraux sont d'après lui :

« [...] *les propriétés diverses dont ils jouissent dans leur action sur la lumière, et qui peuvent servir à reconnaître ou à distinguer l'une de l'autre les nombreuses substances que nous offre la nature* »⁵³¹.

L'auteur distingue six classes de caractères (voir figure ci-après).

⁵²⁷ La théorie des accès permet d'expliquer comment se forme les anneaux colorés des lames minces cristallines. Elle a été émise dans un premier temps par Newton, puis reprise par Biot. Pour plus d'informations à ce propos voir l'article de Frédéric LECLERCQ, « Biot, la polarisation chromatique et la théorie des accès », *Revue d'histoire des sciences*, Tome 64, n° 1, 2011, p. 121-156.

⁵²⁸ Joseph Jacques ODOLANT DESNOS, « Précis de Minéralogie moderne », *Encyclopédie portative ou Résumé universel des sciences, des lettres et des arts*, Première partie, Tome 1, Imprimerie de Decourchant, Paris, 1828, p.60.

⁵²⁹ Joseph Jacques ODOLANT DESNOS, « Précis de Minéralogie moderne », *op.cit.*, p.61.

⁵³⁰ Jacques BABINET, « Précis d'un mémoire sur les caractères optiques des minéraux », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 4, janvier-juin 1837, 1837, p. 758-766.

⁵³¹ Jacques BABINET, « Précis d'un mémoire ... », *op.cit.*, p. 758

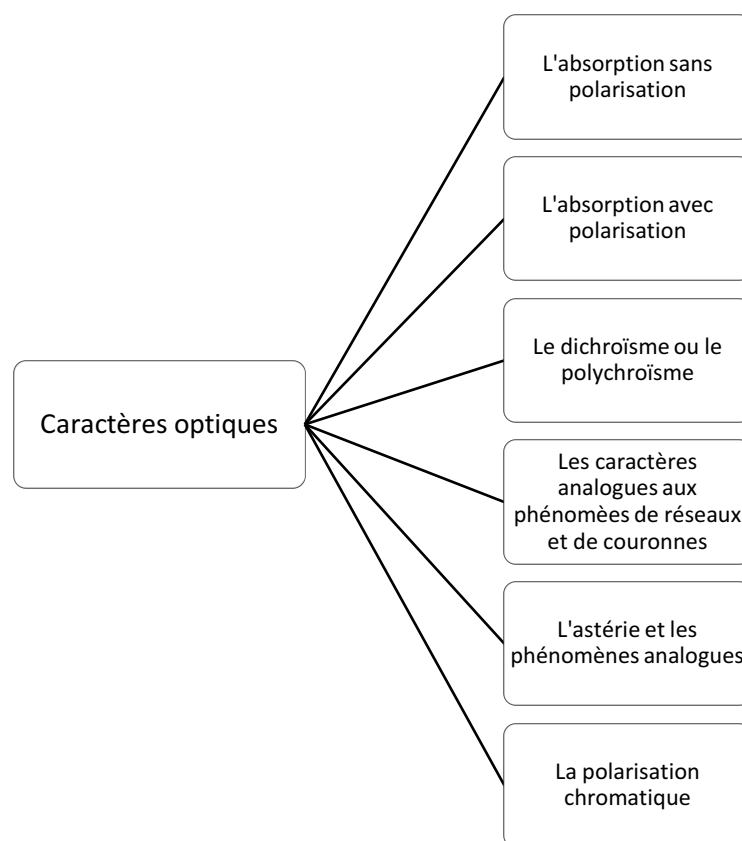


Figure 42 : Les caractères optiques d'après Babinet ⁵³².

Babinet fait le lien entre les observations des phénomènes optiques de polarisation- notamment des physiciens comme Biot ou Brewster- et la détermination des cristaux. Par exemple, il précise que lorsque des anneaux à croix noires sont observés, il s'agit d'un cristal uniaxe, tandis que si la ligne noire forme un huit, le cristal observé est biaxe⁵³³. L'auteur mentionne également les travaux de Arago mais aussi de Beudant⁵³⁴.

L'article de Babinet est un exemple intéressant de l'application de l'optique à la minéralogie. Il est probable que Babinet, en tant que physicien ait une meilleure connaissance des travaux effectués en optique, comme en témoigne cette citation :

« On sait que les propriétés optiques des corps bruts, découvertes par divers savants, ont acquis une haute importance pour l'histoire naturelle même ; qu'on s'en est servi avec avantage pour distinguer, pour caractériser un grand nombre de substances et qu'elles ont conduit à des faits remarquables relativement à la structure intime de certains corps » ⁵³⁵.

⁵³² Jacques BABINET, « Précis d'un mémoire ... », *op.cit.*, p. 758

⁵³³ Jacques BABINET, « Précis d'un mémoire ... », *op.cit.*, p. 766.

⁵³⁴ Jacques BABINET, « Précis d'un mémoire ... », *op.cit.*, p.762

⁵³⁵ François Sulpice BEUDANT, « Rapport sur un mémoire de M. Babinet concernant les caractères optiques des minéraux », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 9, Juillet-Décembre 1839, 1839, p.731

Le savant apparaît plus à même d'appliquer ces résultats à l'étude des minéraux. Cependant, même si au sein des ouvrages de minéralogie une identification plus précise des caractères optiques est visible, il n'y a pas d'utilisation de la lumière polarisée comme méthode d'identification de caractères supplémentaires discriminants. Le regroupement de ces caractères en une même catégorie, à l'instar des caractères cristallographiques, pourrait se constituer, mais ce n'est pas encore clairement affiché dans les traités de minéralogie des années 1830. Notons que dans le *Traité de minéralogie* de Dufrénoy de 1844⁵³⁶, il développe au sein des caractères physiques plusieurs éléments en lien avec, par exemple, la détermination de l'indice de réfraction, la polarisation circulaire ou encore les astéries⁵³⁷.

L'un des contributeurs à l'utilisation systématique de la lumière polarisée dans l'identification des cristaux est Alfred Des Cloizeaux. Le savant construit une méthode intégrant microscope et lumière polarisée pour identifier avec plus de précision les cristaux en mobilisant de nouveaux caractères. Il s'agit alors de se demander en quoi consiste cette méthode et quels instruments elle nécessite.

II. Des Cloizeaux : utiliser le microscope polarisant pour étudier les cristaux (1847-1862)

Le statut de la lumière polarisée, de même que celui des minéraux est dual dans la première décennie du XIX^e siècle. Son usage pour étudier les corps cristallisés ou d'autres substances se poursuit et l'un des savants s'inscrivant dans ces pratiques est Alfred Louis Le Grand Des Cloizeaux (1817-1897). Caroline Kaspar consacre sa thèse de doctorat au savant dans laquelle elle exploite des archives familiales inédites pour analyser les travaux du savant. Des Cloizeaux obtient son baccalauréat ès lettres en 1835 et poursuit ses études à Paris. Le savant assiste à de nombreux cours, dont ceux de Armand Lévy (1795-1841), mathématicien et cristallographe. Des Cloizeaux revendique être son disciple et c'est sur ses conseils qu'il suit les cours de Ours-Pierre-Armand Petit-Dufrénoy (1792-1857) à l'*Ecole des Mines* ainsi que les leçons de Alexandre Brongniart au *Muséum d'Histoire naturelle*⁵³⁸. Au sein de l'*Ecole des Mines*, Des Cloizeaux fait également la connaissance d'Henri Hureau de Sénarmont (1808-1862). Ce dernier l'influence vers les études des propriétés optiques des cristaux. Des Cloizeaux est

⁵³⁶ Armand DUFRENOY, *Traité de minéralogie*, Tome premier, Laboratoire de Géologie, 1844, Paris, 669 pages.

⁵³⁷ Armand DUFRENOY, *Traité de minéralogie, op.cit.*, p. 243-289.

⁵³⁸ Par ailleurs, d'après Caroline Kaspar, les carnets de cours de Des Cloizeaux contiennent d'autres notes de cours. Ainsi, il apparaît que le savant suit également des enseignements en chimie, notamment ceux de Théophile Pelouze s'intitulant « Analyse chimique » ou encore ceux de Jean Baptiste Dumas de « Chimie minérale » ente 1837 et 1838, extrait des Cahier de notes manuscrites de Descloizeaux, du cours de Pelouze « Analyse chimique », Archives du Muséum annexe 3 dossier 5 cahier 6 et Archives du Muséum annexe 3, dossier 5, cahier 5, Cahier de notes manuscrites de Des Cloizeaux, du cours de Dumas « Chimie minérale ».

également introduit par Lévy dans le laboratoire de Jean Baptiste Biot au *Collège de France*. Il y effectue des travaux de mesures d'angles d'extinction des clivages⁵³⁹ en utilisant notamment un goniomètre de Wollaston. Des Cloizeaux voyage également. Entre 1845 et 1846, le savant effectue deux missions en Islande dont Biot appuie la candidature auprès de l'Instruction Publique⁵⁴⁰. En 1848, il part dans le Tyrol avec Marignac. Ces voyages sont également l'occasion d'entrer en contact avec des savants étrangers. Des Cloizeaux fait la connaissance entre autres de Augustus Matthiessen, mais aussi de James Dwight Dana (1813-1895) et Gerhard Vom Rath (1830-1888)⁵⁴¹. Plus tard, en 1868, Des Cloizeaux part en Russie et en Suède. Les contacts que noue Des Cloizeaux avec les savants qu'il rencontre, montrent qu'il se crée un réseau scientifique. Des Cloizeaux est élu à l'*Académie des sciences* en 1869 sur le siège de d'Archiac dans la section minéralogie. Il est d'ailleurs président de l'*Académie* en 1889. De plus, il est membre de la *Royal Society of London*, de l'*Académie dei Lincei*, de celle de Berlin mais aussi celle de Saint Pétersbourg, de Vienne et de New York⁵⁴². Il reçoit notamment la médaille Rumford en 1870 et la médaille Wollaston de la *Geological Society of London* en 1886.

Des Cloizeaux possède un parcours entre physique et minéralogie⁵⁴³ lui permettant de mobiliser des savoirs appartenant aux deux domaines. Il effectue principalement des recherches en minéralogie mais aussi en cristallographie optique. La mise en perspective de son parcours et la nature de ses recherches, posent la question des pratiques du savant. Quels instruments Des Cloizeaux mobilise dans ces recherches en cristallographie optique ? Quelles méthodes convoque-t-il pour étudier les propriétés optiques de ces cristaux ? En quoi son usage et la méthode qu'il constitue sont liés à la détermination des minéraux ?

La pratique instrumentale de Des Cloizeaux

Des Cloizeaux effectue des observations dans le but d'identifier les caractères optiques des minéraux. Nous allons spécifier les conditions matérielles de ces observations afin d'identifier les instruments qu'il utilise.

Des Cloizeaux dans son *Manuel de Minéralogie* (1862) précise qu'il utilise différents instruments pour observer le phénomène de dispersion⁵⁴⁴. L'un d'entre eux est un microscope

⁵³⁹ On mesure l'angle d'extinction entre la position d'extinction, c'est à dire la position où le cristal apparaît noir en lumière polarisée-analysée et la direction du clivage de ce dernier.

⁵⁴⁰ Kenneth L. TAYLOR, « Notice sur Alfred Louis Olivier Legrand Des Cloizeaux », dans *Dictionary of scientific biography*, Charles Coulston GILLESPIE (ed), Charles Scribner's sons, Volume 4, New York, p.65.

⁵⁴¹ Matthiessen publie notamment des articles sur l'usage de la lumière polarisée tandis que James Dana est un minéralogiste et géologue américain qui publie notamment en 1837 *System of Mineralogy*. Gerhard Vom Rath est également un minéralogiste et un géologue. Il devient professeur titulaire de minéralogie et de géologie au Musée de minéralogie de Bonn en 1872.

⁵⁴² Caroline KASPAR, *Optique et Minéralogie au XIX^e siècle. L'approche interdisciplinaire d'Alfred Des Cloizeaux*, Thèse de doctorat, Université de Lyon-1, p.103.

⁵⁴³ Caroline KASPAR, « Des Cloizeaux et l'optique : l'influence d'une nouvelle méthode d'investigation en minéralogie au 19^{ème} siècle », Acte de Colloque, XIV Colloque National de la Recherche dans les IUT, 29 et 30 mai 2008, 2008, p.3.

⁵⁴⁴ Alfred DES CLOIZEAUX, *Manuel de Minéralogie*, Tome 1, Editeur Dunod, Paris, 1862, p. XXXV.

polarisant construit par le fabricant Soleil selon le principe des microscopes de Giovanni Battista Amici (1786-1863) et de Johann Gottlieb Christian Nörremberg (1787-1862)⁵⁴⁵. Par ailleurs, deux ans plus tard, le savant insiste sur l'importance de ces instruments dans son travail :

« *Les microscopes polarisants imaginés par Amici et Nörremberg sont les instruments les mieux appropriés à l'observation des propriétés optiques biréfringentes des cristaux*⁵⁴⁶ ».

Revenons auparavant sur ces deux instruments. Des Cloizeaux renvoie au traité de Pouillet⁵⁴⁷ pour obtenir une description de l'appareil d'Amici. Amici publie lui-même en 1844, « Note sur un appareil de polarisation »⁵⁴⁸, dans les *Annales de Chimie et de Physique* dans lesquelles il décrit l'instrument. Par ailleurs, Des Cloizeaux dans son *Manuel de minéralogie* indique utiliser également le microscope de Nörremberg lors de ces manipulations. Ce dernier est notamment décrit par Bertin dans les *Annales de Chimie et de Physique*⁵⁴⁹. D'après Bertin, Nörremberg présente son microscope au congrès scientifique de Karlsruhe en 1850. L'instrument est assez répandu en Allemagne à la différence de la France où il est peu présent.

⁵⁴⁵ Alfred DES CLOIZEAUX, *Manuel de Minéralogie*, Tome 1, Editeur Dunod, Paris, 1862, p. XXXVI.

⁵⁴⁶ Alfred DES CLOIZEAUX, *Mémoire sur l'emploi du microscope polarisant et sur l'étude des propriétés optiques biréfringentes propres à déterminer le système cristallin dans les cristaux naturels ou artificiels*, Editeur Dunod, Paris, 1864, p.13

⁵⁴⁷ Alfred DES CLOIZEAUX, *ibid.*

⁵⁴⁸ Giovanni Battista AMICI, « Note sur un appareil de polarisation », *Annales de chimie et de physique*, 3^{ème} série, Tome 12, 1844, p. 114-117.

⁵⁴⁹ BERTIN, « Note sur le microscope polarisant de Nörremberg », *Annales de Chimie et de Physique*, 3^{ème} série, Tome 69, 1863, p.87-97.

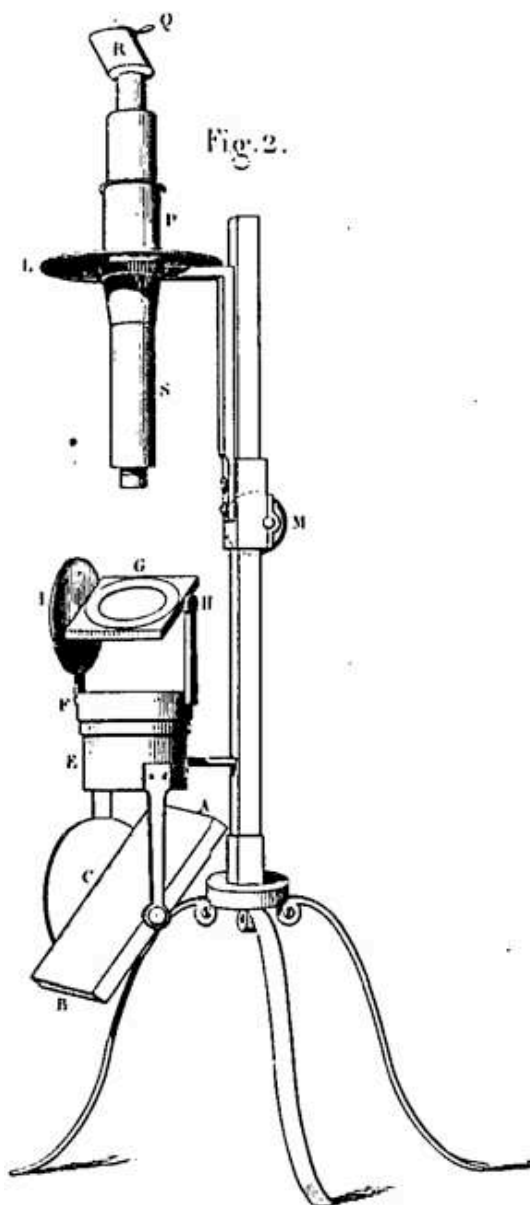


Figure 43 : Appareil polarisant d'Amici⁵⁵⁰.

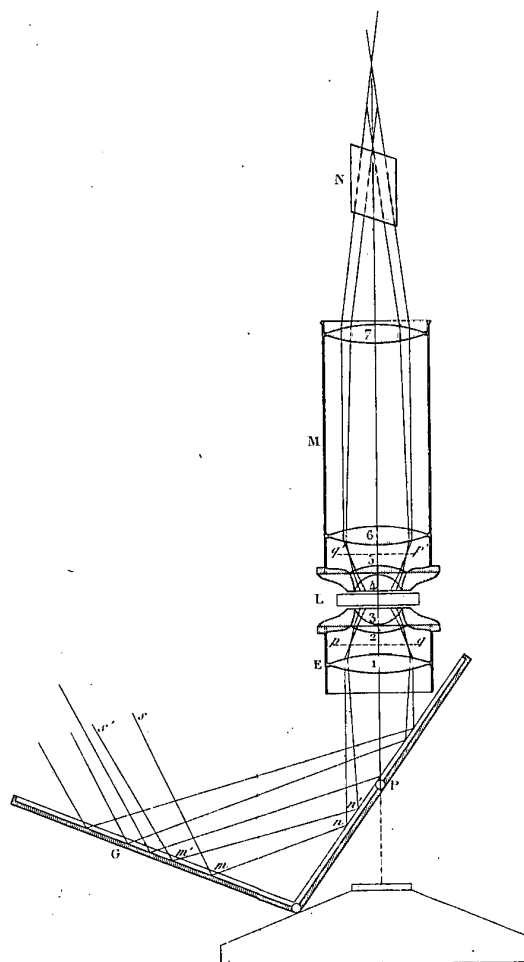


Figure 44 : Le microscope de Nörremberg⁵⁵¹.

Encart 19 : Description des microscopes d'Amici et de Nörremberg.

Le microscope d'Amici possède de nombreuses lentilles ce qui en fait un microscope composé, capable de polariser la lumière. Le polariseur est constitué d'un empilement de 8 à 10 glaces à faces parallèles, représenté en AB sur la Figure 43. Cette pile de glaces est mobile et l'origine du faisceau peut provenir du ciel ou d'une lampe. L'analyseur est quant à lui un prisme de spath d'Islande (R sur la Figure 43). Il est fixe au-dessus de ce dernier et une petite

⁵⁵⁰ Giovanni Battista AMICI, « Note sur un appareil de polarisation », *Annales de Chimie et de Physique*, 3^{ème} série, Tome 12, 1844, Planche 1.

⁵⁵¹ BERTIN, « Note sur le microscope polarisant de Nörremberg », *Annales de Chimie et de Physique*, 3^{ème} série, Tome 69, 1863, Planche 1.

plaque métallique (Q sur la Figure 43) en recouvre la moitié. Cette plaque laisse alors passer selon le positionnement de l'observateur l'image ordinaire ou l'image extraordinaire. Le polariseur est positionné avant le porte objet, représenté par la lettre G sur la Figure 43, tandis que l'analyseur est au-dessus du corps du microscope, au plus proche de l'œil de l'observateur.

L'analyseur n'est pas un prisme de Nicol, puisque d'une part, le microscope est d'après l'article construit autour des années 1830 et l'usage du prisme à cette époque n'est pas encore très répandu. D'autre part, le prisme permet d'obtenir deux images, or la spécificité du prisme de Nicol est de n'en produire qu'une. Le prisme est un simple rhomboèdre de spath, utilisé couramment à cette époque pour ses propriétés polarisatrices.

Le microscope de Nörremberg est également polarisant. Le polariseur est constitué d'une glace noire, (représentée par P sur la Figure 44). Le miroir mobile (G sur la Figure 44) renvoie la lumière vers le polariseur. Bertin ajoute également que la glace noire peut être remplacée par une pile de glaces, une tourmaline ou encore un prisme de Nicol. Ce dernier dispositif a la préférence de Nörremberg car il permet d'avoir une lumière importante même si cette dernière n'est pas uniforme. L'analyseur est constitué d'un prisme de Nicol, monté sur un cercle divisé (N sur la Figure 44). Le microscope est constitué de nombreuses lentilles et entre alors dans la catégorie des microscopes composés. Les positionnements du polariseur et de l'analyseur sont identiques à celui du microscope d'Amici.

Les microscopes, tels qu'ils ont été décrits ne vont pas être utilisés ainsi par Des Cloizeaux. En effet, les microscopes ne permettent pas au savant de conduire les observations qu'il souhaite. D'après Caroline Kaspar, il est en relation régulière avec le fabricant Soleil. Ce dernier est fabricant de microscopes⁵⁵². Sous les demandes de Des Cloizeaux, il effectue des modifications sur les instruments d'Amici et de Nörremberg. Des Cloizeaux précise par exemple en 1864 que les modifications effectuées ont pour but de rendre possibles les observations des phénomènes optiques, et ce dans tous les cristaux à deux axes, sans limitation de l'écartement de leurs axes⁵⁵³. D'après Caroline Kaspar, Des Cloizeaux commence à modifier les microscopes de Amici et de Nörremberg dès 1857. Il en détaille d'ailleurs quelques-unes des modifications dans un mémoire de 1861⁵⁵⁴. Ces modifications ont pour but de répondre à deux objectifs⁵⁵⁵. Le premier consiste à élargir les limites d'observation, notamment pour effectuer des mesures d'écartements des axes optiques. La seconde consiste, dans une ligne

⁵⁵² Paolo BRENNI, « La science française au Crystal Palace », *Documents pour l'histoire des techniques*, n°19, 2^{ème} semestre, 2010, p.255-265.

⁵⁵³ Alfred DES CLOIZEAUX, *Mémoire sur l'emploi du microscope polarisant et sur l'étude des propriétés optiques biréfringentes propres à déterminer le système cristallin dans les cristaux naturels ou artificiels*, Editeur Dunod, Paris, 1864, p. 13

⁵⁵⁴ Alfred DES CLOIZEAUX, « Mémoire sur un nouveau procédé propre à mesurer l'indice moyen et l'écartement des axes optiques dans certaines substances où cet écartement est très grand, et sur la séparation de plusieurs espèces minérales regardées jusqu'ici comme isomorphes », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 52, Janvier-Juin 1861, 1861, p. 784-790

⁵⁵⁵ Caroline KASPAR, *Optique et Minéralogie au XIX^e siècle. L'approche interdisciplinaire d'Alfred Des Cloizeaux*, Thèse de doctorat, Université de Lyon-1, p.118.

directe avec les travaux de Nörremberg et de Mitscherlich à étudier l'influence de la chaleur sur les propriétés optiques.

Bertin dans « Note sur le microscope polarisant de Nörremberg » mentionne quatre modifications⁵⁵⁶ réalisées par Des Cloizeaux. D'après Bertin, les deux premières modifications, à savoir, les ajouts de la plaque tournante et du goniomètre vont être reprises massivement par les fabricants d'instruments. Pour autant d'après Kaspar, Des Cloizeaux effectue bien plus de modifications que celles relevées par Bertin⁵⁵⁷.

Des Cloizeaux utilise systématiquement un polariseur et un analyseur témoignant à propos de l'usage de la lumière polarisée de l'inscription de cet usage dans les pratiques d'observation. Des Cloizeaux ne précise pas dans ses publications où les dispositifs de polarisation ont été fabriqués ni achetés. Les contacts réguliers qu'il entretient avec Soleil montre qu'il est probable que le savant se fournisse directement chez ce dernier pour l'achat des prismes de Nicol ou encore les piles de glaces, ou qu'il en commande chez d'autres fabricants français tels que Chevalier ou Secrétant. Les publications de Des Cloizeaux sont une autre source pour en savoir davantage sur les dispositifs de polarisation utilisés par le savant. Ils sont assez variables selon les articles. En effet, l'auteur utilise en 1862 divers dispositifs allant de la glace noire, à la pile de glaces ou encore le prisme de Nicol⁵⁵⁸. En 1864, il mentionne une pile de 9 à 10 glaces minces montées sur un fond noir⁵⁵⁹. Elles polarisent alors par réflexion la lumière qui provient d'un miroir. L'analyseur est un prisme de Nicol⁵⁶⁰. Ce dispositif est utilisé pour avoir un champ de vision assez large pour observer des écartements d'axes optiques allant jusqu'à 121°. De plus, l'usage de la pile de glaces pour polariser la lumière est justifié par l'auteur. Ce dispositif augmente le champ du microscope⁵⁶¹. Dans le cas où l'angle de dispersion est supérieur à 135°, Des Cloizeaux préconise d'immerger l'objet dans un milieu plus réfringent dont l'indice est connu à l'avance. Le microscope est alors positionné à l'horizontale et la lumière est polarisée par un prisme de Nicol. L'auteur conseille également de pratiquer pour obtenir des résultats et ainsi observer des phénomènes parfois difficiles à observer⁵⁶².

Sachant que Des Cloizeaux observe des cristaux au microscope polarisant, la question du format des cristaux se pose. Dans certains de ses articles le savant explique qu'il « *taille des*

⁵⁵⁶ L'éclaireur (E sur la Figure 44) subit deux modifications. La première est l'ajout d'une plaque tournante circulaire afin d'orienter les échantillons. Un goniomètre est également présent. L'objectif de l'appareil est également modifié puisqu'il comprend une lentille supplémentaire. Pour terminer, l'oculaire et le prisme de Nicol fusionnent pour ne former qu'un seul élément, d'après BERTIN, « Note sur le microscope polarisant de Nörremberg », *Annales de Chimie et de Physique*, 3^{ème} série, Tome 69, 1863, p. 89.

⁵⁵⁷ Caroline KASPAR, *Optique et Minéralogie au XIX^e siècle. L'approche interdisciplinaire d'Alfred Des Cloizeaux*, Thèse de doctorat, Université de Lyon-1, p. 119-127.

⁵⁵⁸ Alfred DES CLOIZEAUX, *Manuel de Minéralogie*, Tome 1, Editeur Dunod, Paris, 1862, p. XXXV.

⁵⁵⁹ Alfred DES CLOIZEAUX, *Mémoire sur l'emploi du microscope polarisant et sur l'étude des propriétés optiques biréfringentes propres à déterminer le système cristallin dans les cristaux naturels ou artificiels*, Editeur Dunod, Paris, 1864, p. 14.

⁵⁶⁰ Alfred DES CLOIZEAUX, *Mémoire sur l'emploi*, *op.cit.*, p. 15.

⁵⁶¹ Alfred DES CLOIZEAUX, *Mémoire sur l'emploi*, *op.cit.*, p. 16-17.

⁵⁶² Alfred DES CLOIZEAUX, *Mémoire sur l'emploi*, *op.cit.*, p. 21.

*plaques normales à l'axe*⁵⁶³». Il parle parfois de plaques de cristal⁵⁶⁴. Ces expressions suggèrent que Des Cloizeaux utilise des cristaux non pas entiers comme en cristallographie, mais taillés en plaques, comme cela a pu être mentionné précédemment à propos des travaux en optique. De plus, l'usage systématique du microscope, surtout en lumière convergente ou même parallèle conduit le savant à utiliser une lumière transmise et non réfléchi. Ainsi, les échantillons sont taillés en plaques minces et transparentes. Cet extrait tend à le montrer :

« *Le nombre des espèces minérales transparentes ou susceptibles de le devenir en plaques suffisamment minces [...]* »⁵⁶⁵.

Des Cloizeaux observe donc ces cristaux en plaques transparentes et le manipulateur précise que lorsqu'il y a un problème de transparence, il utilise de l'huile pour augmenter cette dernière. Il y a peu de précisions sur ces objets qui parfois ne sont pas du tout décrits. L'épaisseur des plaques est mentionnée par le savant dans *Manuel de Minéralogie*, elles ont une épaisseur supérieure ou inférieure à 3mm.

Construction d'une méthode d'identification par Des Cloizeaux

Des Cloizeaux dans la continuité des pratiques et des travaux de ses contemporains, comme Brewster et Biot, étudie les propriétés des cristaux à l'aide de la lumière polarisée. Il va alors mettre en place une méthode propre, utilisant le microscope et des plaques minces de cristaux.

Ainsi, dans la thèse qu'il publie en 1857, Des Cloizeaux indique explicitement son but :

« [...] *montrer que la détermination précise du caractère optique de l'axe unique des cristaux à un axe ou de la bissectrice des cristaux à deux axes peut fournir à la minéralogie un élément précieux pour assurer la réunion ou la séparation de certaines espèces [...]* »⁵⁶⁶.

Le savant souhaite améliorer la détermination de certaines espèces qui résistent aux méthodes utilisées à son époque. Ainsi, il propose une méthode différente, considérée comme plus efficace, qui se base sur la détermination des caractères optiques. Ces caractères optiques sont spécifiés puisqu'il s'agit de l'identification d'un axe ou de deux axes optiques chez les cristaux. De même, le mémoire publié en 1857 reprend un discours sensiblement similaire puisque Des Cloizeaux écrit :

⁵⁶³ Alfred DES CLOIZEAUX, « Recherches physiques et cristallographiques sur le quartz » (Rapport sur un mémoire), *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 40, Janvier-Juin 1855, 1855, p.1136

⁵⁶⁴ Alfred DES CLOIZEAUX, « Sur la forme clinorhombique à laquelle on doit apporter l'harmotome et la Wöhlrite ; d'après de nouvelles recherches sur la dispersion de leurs axes optiques », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 66, Janvier-Juin 1868, 1868, p.200

⁵⁶⁵ Alfred DES CLOIZEAUX, « Nouvelles recherches sur les propriétés biréfringentes des corps cristallisés », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 48, Janvier-Juin 1859, 1859, p.267.

⁵⁶⁶ Alfred DES CLOIZEAUX, *De l'emploi des propriétés optiques biréfringentes en minéralogie*, Thèse présentée à la faculté des sciences de Paris, Imprimé par E. Thunot et C^{ie}, Paris, 1857, p.4.

« [...] que des corps géométriquement semblables, et d'une composition chimique presque identique, peuvent avoir des caractères optiques biréfringents opposés »⁵⁶⁷.

Des Cloizeaux dans cet extrait explicite l'une des limites de la méthode minéralogique utilisée à l'époque. En effet, l'usage de l'ensemble des caractères (chimiques, cristallographiques et physiques) ne permet pas de différencier tous les minéraux. Le savant, sept ans plus tard, en 1864, dans *Mémoire sur l'emploi du microscope polarisant* identifie avec plus de précision cette limite, il s'agit de l'isomorphisme et du dimorphisme⁵⁶⁸ des cristaux.

Encart 20 : L'isomorphisme et le dimorphisme cristallin.

Deux minéraux sont considérés comme isomorphes lorsque qu'ils possèdent la même structure mais des compositions chimiques différentes. A titre d'exemple, la halite de formule NaCl et la galène de formule PbS sont isomorphes, ils cristallisent sous forme cubique (voir Figure 45).

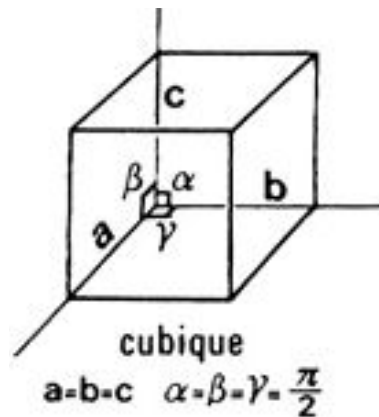


Figure 45 : Système cristallin cubique.

Le dimorphisme quant à lui correspond au fait qu'une même composition chimique peut cristalliser sous des formes différentes.

L'exemple le plus représentatif est la calcite. Sa composition est CaCO₃. Elle cristallise sous forme rhomboédrique (voir Figure 46).

Pour autant, l'aragonite, de même formule chimique CaCO₃ cristallise sous une autre forme : orthorhombique (voir Figure 47).

⁵⁶⁷ Alfred DES CLOIZEAUX, « Mémoire sur l'emploi des propriétés optiques biréfringentes pour la distinction et la classification des minéraux cristallisés », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 44, Janvier-Juin 1857, 1857, p. 322

⁵⁶⁸ Alfred DES CLOIZEAUX *Mémoire sur l'emploi du microscope polarisant et sur l'étude des propriétés optiques biréfringentes propres à déterminer le système cristallin dans les cristaux naturels ou artificiels*, Editeur Dunod, Paris, 1864, p. 1

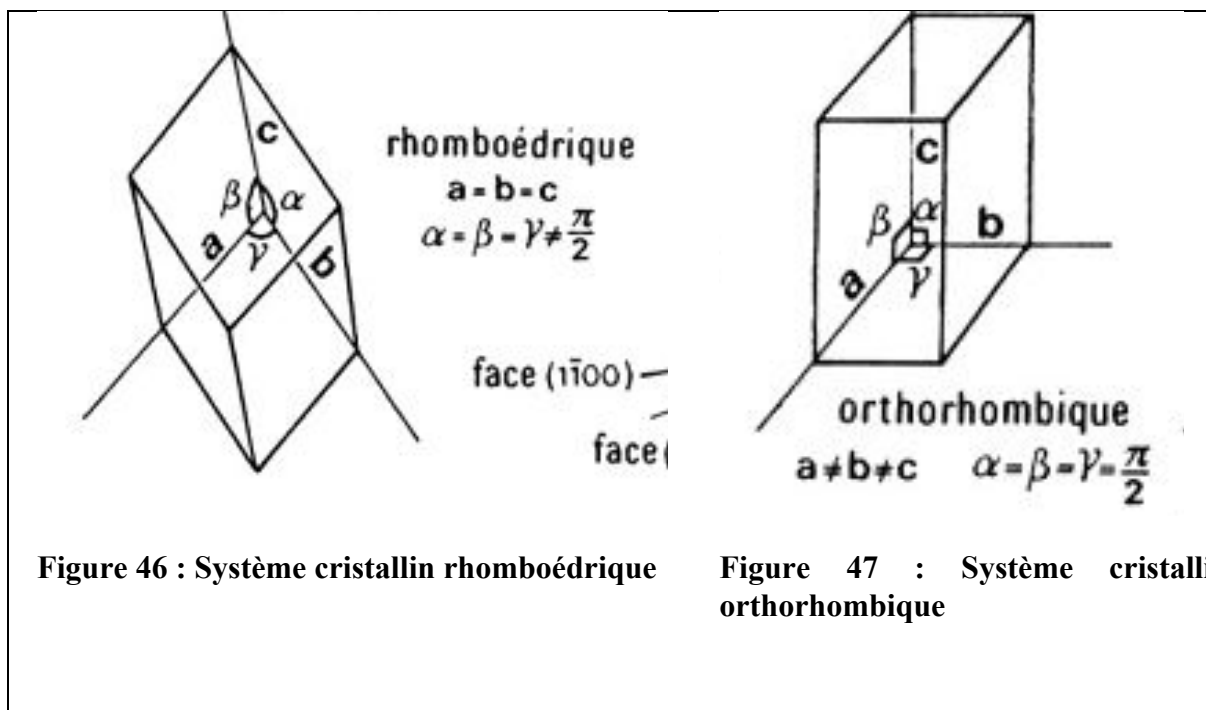


Figure 46 : Système cristallin rhomboédrique

Figure 47 : Système cristallin orthorhombique

L'enjeu est alors de taille et comme le souligne le savant, la détermination du système cristallin prend d'autant plus d'importance :

« La détermination exacte du système cristallin est une question fondamentale, surtout dans l'étude intéressante de l'isomorphisme et du dimorphisme des cristaux naturels ou artificiels »⁵⁶⁹.

Conscient de cet enjeu, le savant propose une méthode pour y remédier dans laquelle il mobilise le microscope polarisant. Le minéralogiste combine alors l'optique à la cristallographie afin de déterminer par la première des éléments de la seconde. Ainsi, identifier les propriétés optiques d'un cristal, notamment par l'identification de son axe optique, permet alors d'en préciser de manière sûre selon lui les caractères cristallographiques de ce dernier.

L'application de cette méthode d'étude aux substances cristallisées n'est pas sans difficulté. En particulier, lorsque les échantillons sont trop petits, fragiles ou encore de faibles biréfringences, les données sont peu fiables ou absentes. Pour contourner ces contraintes et étudier les cristaux, Des Cloizeaux s'appuie sur les travaux de Brewster et de Biot qui montrent l'existence d'un lien entre les propriétés optiques des cristaux et les systèmes cristallins proposé par Haüy. Des Cloizeaux propose une méthode qui systématise ces informations pour étudier le mode de propagation de la lumière et la position des axes optiques par rapport aux axes cristallographiques.

Plusieurs cas de figure apparaissent alors. D'après Des Cloizeaux, dans le cas où les cristaux possèdent un seul axe optique, l'axe coïncide avec l'axe principal cristallographique. La

⁵⁶⁹ Alfred DES CLOIZEAUX, *Mémoire sur l'emploi du microscope polarisant et sur l'étude des propriétés optiques biréfringentes propres à déterminer le système cristallin dans les cristaux naturels ou artificiels*, Editeur Dunod, Paris, 1864, p.1-2

direction est alors parallèle au plan de polarisation ordinaire et perpendiculaire au plan de polarisation du rayon extraordinaire. Dans le cas des cristaux à deux axes, les axes font entre eux un angle différent de 90° et cela donne alors trois directions différentes. Ces trois directions donnent alors trois indices de réfraction principaux. Les cristaux sont alors divisés en deux catégories, les cristaux uniaxes et biaxes, qui se déclinent aussi biaxes positifs ou négatifs (voir encart ci-après). En effet, lorsque l'indice de réfraction du rayon extraordinaire est, d'après Des Cloizeaux, plus grand que l'indice du rayon ordinaire, le cristal est positif, tandis qu'il est plus petit pour un cristal négatif. Les cristaux sont alors davantage discriminés.

Encart 21 : Explication des phénomènes optiques.

La propagation de la lumière dans un milieu anisotrope comme la plupart des cristaux peut être représentée par un ellipsoïde. Cet ellipsoïde possède trois axes orthogonaux qui correspondent aux axes optiques mentionnés par Des Cloizeaux.

Ces trois axes correspondent à l'indice minimum (N_p), l'indice maximum (N_g) et l'indice moyen (N_m) (voir figure ci-dessous).

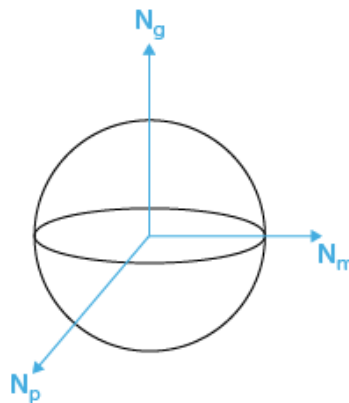


Figure 48 : Ellipsoïde des indices dans un matériel isotrope.

Selon la forme géométrique des cristaux, les axes optiques n'auront pas les mêmes valeurs.

A titre d'exemple, les cristaux appartenant au système quadratique et rhomboédrique possèdent un axe de symétrie principal. Ils possèdent également un axe optique. Ils sont alors qualifiés d'uniaxes.

Les cristaux appartenant aux systèmes orthorhombiques, monocliniques et tricliniques possèdent deux axes optiques. L'ellipsoïde est construit autour de trois axes orthogonaux entre eux. De plus, l'angle aigu formé entre deux axes optiques est appelé $2V$.

Le cristal est nommé biaxe positif lorsque N_g est la bissectrice aiguë de l'angle $2V$ (voir Figure 49). Le cristal est biaxe négatif lorsque N_p est la bissectrice aiguë de l'angle $2V$ (voir Figure 50).

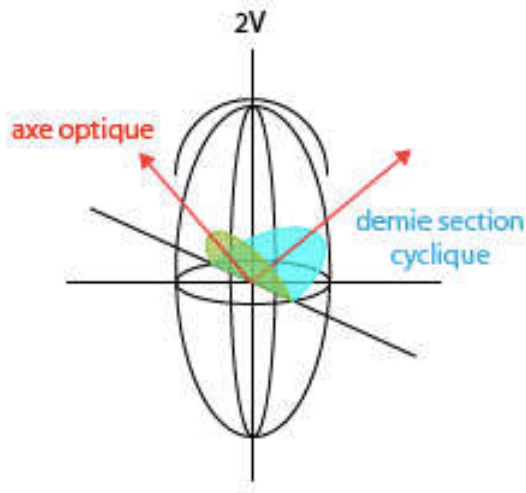


Figure 49 : Illustration d'un ellipsoïde de cristal biaxe positif⁵⁷⁰

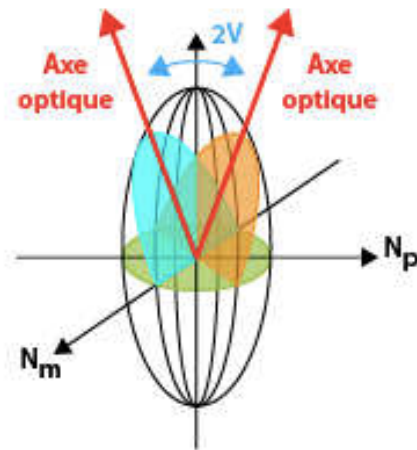


Figure 50 : Illustration d'un ellipsoïde de cristal biaxe négatif⁵⁷¹

Cette manière de classer les objets est directement dépendante de la cristallographie et des systèmes établis par Haüy, puisque Des Cloizeaux fait appel à l'axe principal cristallographique. Elle permet alors de classer les cristaux selon des caractères supplémentaires. Mais comment identifier ces caractères ?

En effet, Biot par exemple utilise une pince à tourmaline pour déterminer si les cristaux observés sont uniaxes ou biaxes négatifs ou positifs. Le savant positionne une plaque de minéral épaisse entre les deux branches de la pince à tourmaline et observe à l'œil nu les figures de polarisation émises par l'échantillon. Or, d'après Caroline Kaspar, Des Cloizeaux n'utilise pas de microscope au sein du laboratoire de Biot⁵⁷². Des Cloizeaux va cependant utiliser l'instrument de manière systématique pour observer les cristaux sous lumière polarisée pour en identifier les caractères optiques. Cette pratique microscopique n'est pas visible dans les premiers articles de Brewster par exemple. Cependant, il mentionne explicitement l'instrument en 1838⁵⁷³, période où l'usage du microscope est assez répandu à la fois dans les pratiques savantes et mondaines.

⁵⁷⁰ Image extraite de http://minweb.univ-lille1.fr/cours/co/chap04_02.html

⁵⁷¹ *ibid.*

⁵⁷² Caroline KASPAR, *Optique et Minéralogie au XIX^e siècle. L'approche interdisciplinaire d'Alfred Des Cloizeaux*, Thèse de doctorat, Université de Lyon-1, p.110.

⁵⁷³ David BREWSTER, « On the colours of mixed Plates », *Philosophical Transactions of Royal Society of London*, Volume 128, 1838, p. 73-77.

Des Cloizeaux taille alors une plaque perpendiculairement à l'axe du cristal, la positionne sous le microscope polarisant et observe les figures de polarisation développées, notamment sous lumière convergente.

Encart 22 : Méthode utilisée par Des Cloizeaux.

Des Cloizeaux place les plaques de cristaux à identifier sous un microscope polarisant. Ces dernières sont alors observées en lumière convergente.

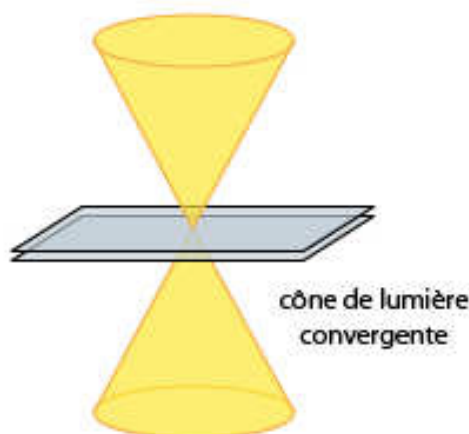


Figure 51 : Illustration des rayons de lumière en lumière dite convergente.

Le minéralogiste insère également une plaque de cristal, selon la nature du corps observé afin de déterminer avec précision la nature et le signe des propriétés biréfringentes. Ainsi, si l'échantillon étudié est un corps à un seul axe, Des Cloizeaux ajoute une lame très mince de mica. Dans le cas d'un cristal à deux axes, il insère une lame de quartz très légèrement prismatique. Ces manipulations sont peu complexes et valables même si l'échantillon est de petite taille.

Les figures de polarisation obtenues peuvent varier selon que le cristal est uniaxe ou biaxe ou encore selon son signe.

Lors de l'observation d'un échantillon, un fond blanc coupé par une croix noire et par 3 ou 4 anneaux noirs⁵⁷⁴ peut être constaté. Ce phénomène est dû d'après Des Cloizeaux au fait

⁵⁷⁴ Alfred DES CLOIZEAUX, « Mémoire sur l'emploi des propriétés optiques biréfringentes pour la distinction et la classification des minéraux cristallisés », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 44, Janvier-Juin 1857, 1857, p.323

que les cristaux positifs possèdent un pouvoir biréfringent qui polarise l'ensemble des rayons de la lumière blanche.

Un second type de figure peut être observé. Aucun anneau n'est observé et seulement une croix grisâtre traverse un champ violet⁵⁷⁵. Cela s'explique car les cristaux négatifs polarisent tous les rayons sauf le violet, qui s'éteignent dans les analyseurs.

D'autres figures peuvent apparaître en fonction du nombre d'axes optiques que possède l'échantillon. Ainsi, si une plaque à faces parallèles est mise perpendiculairement à l'axe d'un cristal uniaxe, l'observateur voit une série d'anneaux circulaires, concentrique autour de la normale à la plaque. Elle est traversée par une croix noire, avec des branches parallèles et perpendiculaires au plan de polarisation de l'instrument. Si la plaque est en position oblique, les anneaux ont une forme elliptique et la croix se déplace.

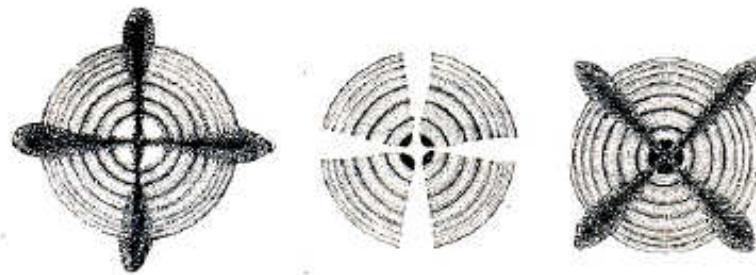


Figure 52 : Figures des anneaux pour un cristal uniaxe⁵⁷⁶.

Par ailleurs, si l'observateur place une plaque perpendiculairement à l'un des axes d'un cristal biaxe, les anneaux observés sont plus ou moins ovales et sont toujours traversés soit par une bande noire (quand le plan est parallèle ou perpendiculaire au plan de polarisation du microscope) soit par une branche d'hyperbole (quand le plan de l'axe est à 45° du plan de polarisation du microscope).



Figure 53 : Figure des anneaux colorées pour un cristal biaxe⁵⁷⁷.

⁵⁷⁵ Alfred DES CLOIZEAUX, *ibid.*

⁵⁷⁶ M.L. PORTES, *Manuel de minéralogie*, Doin, Paris, 1879, p. 92

⁵⁷⁷ M.L. PORTES, *ibid.*



Figure 54 : Extrait d'une planche colorée des anneaux colorés d'un cristal biaxe⁵⁷⁸.

Les cristaux ne présentent pas les mêmes figures de polarisation selon leurs systèmes cristallins lorsqu'ils sont observés à l'aide de la lumière polarisée. Ces différentes figures permettent alors visuellement d'identifier le système cristallographique du cristal. Par ailleurs, l'orientation des plaques de l'échantillon et de celles ajoutées pour identifier le signe⁵⁷⁹ est déterminante dans l'observation. C'est une base commune de recherche des caractères et permet de fixer leurs conditions de reconnaissance des caractères dans le cas où un échantillon inconnu doit être identifié.

Des Cloizeaux répertorie également d'autres caractères pour identifier les cristaux étudiés. Il inclut les indices de réfraction, les indices ordinaires et extraordinaires ainsi que les indices maximum, moyen et minimum, notamment pour les cristaux à deux axes⁵⁸⁰.

Les travaux de Des Cloizeaux et la méthode qu'il construit pour identifier des caractères optiques des cristaux a pour but de distinguer les cristaux entre eux. Ce n'est pas sans rappeler la méthode minéralogique évoquée en première partie de ce travail avec l'identification des caractères chimiques par exemple. Pour autant, les caractères que propose Des Cloizeaux par le biais de sa méthode sont-ils applicables à la minéralogie et à l'identification des minéraux ?

⁵⁷⁸ Alfred DES CLOIZEAUX, *Mémoire sur l'emploi du microscope polarisant et sur l'étude des propriétés optiques biréfringentes propres à déterminer le système cristallin dans les cristaux naturels ou artificiels*, Editeur Dunod, Paris, 1864, planche V.

⁵⁷⁹ Actuellement, on parle du signe l'allongement d'un minéral. Il est positif ou négatif et correspond à l'augmentation ou à la diminution des teintes observées d'un minéral vu en lumière polarisée analysée. Il se détermine en interposant une lame cristalline supplémentaire, dite de teinte sensible.

⁵⁸⁰ Alfred DES CLOIZEAUX, *De l'emploi des propriétés optiques biréfringentes en minéralogie*, Thèse présentée à la faculté des sciences de Paris, Imprimé par E. Thunot et C^{ie}, Paris, 1857, p.10

Quelle application pour l'identification et la classification des minéraux ?

Des Cloizeaux propose une nouvelle méthode pour identifier les cristaux en utilisant leurs propriétés optiques biréfringentes. Il utilise pour cela un microscope polarisant. Il estime que cette méthode permet de pallier certaines limites des méthodes minéralogiques qui utilisent préférentiellement les caractères cristallographiques et chimiques pour distinguer les espèces entre elles.

L'exemple de l'étude de la pennine⁵⁸¹ que propose Des Cloizeaux illustre l'insertion de ces caractères dans une description classique d'un minéral. Il décrit la grosseur des cristaux, de taille centimétrique à millimétrique puis le dichroïsme et les couleurs. Le savant observe aussi l'échantillon au microscope polarisant et utilise une lumière parallèle et une lumière convergente. Il distingue, grâce à leur biréfringence, les différents minéraux de la famille des chlorites. Ces descriptions sont complétées par une analyse chimique. Notons que Des Cloizeaux utilise le clivage pour diviser la lame mince de manière perpendiculaire à l'axe.

Un autre exemple est donné dans sa « Note sur la classification des roches dites hypérites et euphotides »⁵⁸². Le titre est significatif du problème d'identification et par conséquent de classification entre ces deux objets. Des Cloizeaux précise alors que « [...] *le type cristallin de l'hypersthène est déterminé par l'étude de ses propriétés optiques biréfringentes* »⁵⁸³.

Il décrit alors les axes optiques des minéraux inclus dans ces roches, comme celui de la bronzite⁵⁸⁴. Il ajoute :

« *Pour y voir des anneaux colorés, il faut tailler une lame mince perpendiculaire au clivage métalloïde et parallèle à la grande diagonale du prisme [...]* »⁵⁸⁵.

Des Cloizeaux complète ses observations par la description d'autres caractères tels que le clivage, la densité, l'éclat et le comportement sous chalumeau.

Des Cloizeaux conclut d'ailleurs :

« *Les propriétés optiques sont donc les seules qui présentent dans l'hypersthène et la diallage des différences tranchées et absolument incompatibles. Pour les constater, il suffit de soumettre au microscope polarisant une lame mince obtenue dans la direction du clivage facile et métalloïde* »⁵⁸⁶.

⁵⁸¹ Alfred DES CLOIZEAUX, *De l'emploi des propriétés optiques biréfringentes en minéralogie*, Thèse présentée à la faculté des sciences de Paris, Imprimé par E. Thunot et C^{ie}, Paris, 1857, p.14

⁵⁸² Alfred DES CLOIZEAUX, « Note sur la classification des roches dites hypérites et euphotides », *Bulletin de la Société Géologique de France*, Série 2 Tome 21, années 1863-1864, 1864, p.104-109

⁵⁸³ Alfred DES CLOIZEAUX, « Note sur la classification ... », *op.cit.*, p.106.

⁵⁸⁴ Alfred DES CLOIZEAUX, « Note sur la classification ... », *op.cit.*, p.108.

⁵⁸⁵ Alfred DES CLOIZEAUX, « Note sur la classification ... », *op.cit.*, p.106.

⁵⁸⁶ Alfred DES CLOIZEAUX, *ibid.*

Ainsi, l'utilisation des propriétés optiques biréfringentes permettent de distinguer des minéraux que les autres types de caractères ne parvenaient pas à différencier. Notons que cet article est également l'occasion pour Des Cloizeaux de revenir sur un problème de nomenclature :

« *Les roches qui les renferment ont également reçu fréquemment des dénominations erronées que je demande aux géologues la permission de leur signaler* »⁵⁸⁷.

Il soulève de manière similaire à Fleuriau de Bellevue et Cordier, les erreurs qui existent dans les noms donnés aux roches. Par cette remarque, Des Cloizeaux indique que la connaissance des roches n'est pas exhaustive. De plus, par sa rhétorique, il suggère que sa méthode peu pallier ces problèmes. Il existe d'autres publications de Des Cloizeaux où ce dernier mobilise sa méthode pour identifier des cristaux. En effet, il publie en 1868 un article⁵⁸⁸ qui commence ainsi :

« *On connaît maintenant un assez grand nombre de substances naturelles ou artificielles dont la forme cristalline n'a pu être déterminée exactement que par l'examen de leurs propriétés biréfringentes* »⁵⁸⁹.

L'auteur précise que la détermination du système cristallin est compliquée par l'absence d'étude approfondie sur certains spécimens. Il y applique donc sa méthode. Les lames de morvénite sont étudiées au microscope polarisant et taillées de manière normale à la bissectrice⁵⁹⁰. Notons également que la Wöhlérinite, même en plaque mince n'est pas transparente. Pour contourner ce problème, Des Cloizeaux utilise de l'huile. Cet exemple témoigne aussi des difficultés que peut présenter l'usage du microscope et la nécessité d'avoir des objets transparents.

Par ailleurs, dans son *Manuel de Minéralogie* Des Cloizeaux s'attache à décrire des minéraux avec des caractères variés (voir encart ci-après). Certains sont communs à ceux mentionnés notamment dans l'ouvrage de Brongniart en 1807 comme par exemple la dureté, le magnétisme ou encore la densité. Des Cloizeaux inclut d'autres caractères liés à la cristallographie comme la forme primitive ou les formes hémédriques. Le savant explique d'ailleurs en introduction ce qu'il entend par propriétés optiques biréfringentes, il fait aussi référence aux travaux de Fresnel tout en expliquant la notion d'axe optique. Des Cloizeaux propose cinq catégories de cristaux classés selon les positions et les grandeurs de ces axes optiques.

⁵⁸⁷ Alfred DES CLOIZEAUX, « Note sur la classification des roches dites hypérites et euphotides », *Bulletin de la Société Géologique de France*, Série 2 Tome 21, années 1863-1864, 1864, p. 107.

⁵⁸⁸ Alfred DES CLOIZEAUX, « Sur la forme clinorhombique à laquelle on doit apporter l'harmotome et la Wöhlérinite ; d'après de nouvelles recherches sur la dispersion de leurs axes optiques », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 66, Janvier-Juin 1868, 1868, p. 199-202.

⁵⁸⁹ Alfred DES CLOIZEAUX, « Sur la forme clinorhombique ... », *op.cit.*, p. 199.

⁵⁹⁰ « *Mais ayant soumis récemment au microscope polarisant des lames de morvénite d'Ecosse bien transparentes et normales à la bissectrice [...]* » extrait de Alfred DES CLOIZEAUX, « Sur la forme clinorhombique ... », *op.cit.*, p. 200.

Encart 23 : Caractères utilisés par Des Cloizeaux dans son *Manuel de Minéralogie*.

Des Cloizeaux dans son *Manuel de Minéralogie* mentionne un certain nombre d'informations, toujours classées dans le même ordre :

- Le nom et ses principaux synonymes
- La dimension de la forme primitive
- Le tableau des incidences
- Les formes hémédriques
- Les combinaisons les plus habituelles dans différentes localités
- Les macles
- Les clivages
- Les stries et les imperfections des faces cristallines
- La cassure
- La transparence
- La présence ou non d'une double réfraction
- La constance optique
- L'éclat
- La couleur
- La présence ou non du polychroïsme
- La couleur de la poussière
- La fragilité
- L'élasticité
- La dureté
- Le magnétisme
- La densité
- L'électricité
- Résultats des essais au chalumeau
- Résultats des essais aux acides
- Formule
- Composition
- Analyse chimique
- Description des gisements
- Les associations
- Les localités où est présent le minéral
- Des remarques sur les espèces produites artificiellement.

Les caractères optiques ne semblent pas apparents à la lecture des caractères que Des Cloizeaux mentionne. Pour autant, lorsque les descriptions des cristaux sont analysées avec un peu d'attention, l'auteur les inclut. Par exemple pour le quartz, Des Cloizeaux décrit la forme du sphéroïde, la présence d'une double réfraction positive dont le signe n'est visible qu'en fonction de l'épaisseur de la lame. Il précise également les indices de réfraction correspondant aux raies de Fraunhofer et indique que le quartz est un cristal uniaxe.

Ainsi, le premier tome du *Manuel de Minéralogie* que publie Des Cloizeaux en 1862 est une synthèse des recherches minéralogiques et cristallographiques menées par le savant. Il utilise les caractères déjà existants, auparavant classés sous les noms de caractères physiques et chimiques et y ajoute les caractères cristallographiques ainsi que les caractères optiques. Le savant inclut dans ce manuel son travail à propos des propriétés optiques, montrant ainsi qu'il considère ces dernières comme importantes dans la détermination et la reconnaissance d'une espèce cristalline.

Conclusion

« Quant au procédé d'investigation nécessaire pour arriver à une connaissance exacte et complète de ces corps, le minéralogiste, pas plus que le chimiste, ne doit négliger aucun de ceux qu'il peut emprunter à la cristallographie, à la chimie, à la physique et surtout à l'optique [...] »⁵⁹¹.

Cette citation de Des Cloizeaux explicite la volonté du savant de puiser dans toutes les ressources à sa disposition pour trouver une solution aux problèmes que peut poser l'identification des minéraux. Celle-ci pour Des Cloizeaux doit mobiliser l'ensemble des connaissances disponibles, qu'elles soient liées directement ou non à l'objet étudié. Il s'inscrit dans les traces de ces prédécesseurs en minéralogie, où la méthode minéralogique mobilise des pratiques issues d'autres domaines. Mais Des Cloizeaux utilise aussi les travaux de ses prédécesseurs en optique, comme notamment ceux de Brewster et de son maître Biot. Les recherches qu'ils ont menées dans la détermination des cristaux et du lien établi entre systèmes cristallins et leurs propriétés optiques permettent à Des Cloizeaux de construire une méthode de détermination solide pour la minéralogie. Il établit alors une liste de caractères optiques comprenant le nombre d'axes optiques, la déviation positive ou négative ou encore les indices de réfraction ordinaire et extraordinaire qui permettent d'identifier les minéraux. Ces caractères sont d'ailleurs intégrés à son *Manuel de Minéralogie*, illustrant ainsi leur importance dans l'identification.

Sa méthode est fondée sur l'usage du microscope, possédant un dispositif de polarisation, qui constitue par rapport à Biot notamment, une véritable différence. Des Cloizeaux s'appuie aussi sur les travaux de Brewster à propos des figures de polarisation. Par un travail rigoureux d'observation, le savant systématise et élargit à un très grand nombre d'espèces cristallines le lien établi entre figure de polarisation et système cristallin. D'autant que cet usage de la lumière polarisée permet à la différence des méthodes minéralogiques utilisées auparavant de distinguer l'isomorphisme et le dimorphisme des cristaux. Des Cloizeaux parvient alors à faire de ces figures un caractère distinctif à part entière

⁵⁹¹ Manuscrit du cours de minéralogie professé au Muséum, Archives de la galerie du Muséum.

L'étude ou l'usage de la lumière polarisée ne va pas sans la mise en place de pratiques spécifiques. En effet, les montages nécessitant la production de lumière polarisée sont, dès les années 1810, construits autour de deux dispositifs de polarisation mis en série et mobiles. Chaque dispositif est nommé différemment selon sa position et sa fonction, polariseur pour le premier et analyseur pour le second. Les dispositifs de polarisation disponibles pour conduire des expériences à l'aide de la lumière polarisée sont très nombreux. Des piles de glaces, à la glace inclinée, au verre noir ou encore aux plaques ou prismes de cristaux, la variété est très importante. Elle s'explique d'une part, par la découverte progressive d'autres dispositifs de polarisation. D'autre part, cette variété se justifie par les différents besoins des physiciens. Les expériences conduites ne requièrent pas par exemple la même intensité lumineuse et certains dispositifs sont mieux à même d'y répondre que d'autres.

Ainsi, Des Cloizeaux utilise de manière régulière le microscope pour étudier des cristaux. Son utilisation se distingue des pratiques minéralogiques microscopiques décrites dans le chapitre 3 sur l'observation des poudres de roches et l'identification des minéraux contenus. Cet autre usage du microscope s'observe également chez Sorby, un savant anglais qui utilise l'instrument non plus seulement pour étudier les poudres de roches, mais pour les observer taillées en section fines. Nous allons donc nous intéresser à la manière dont Sorby combine microscope et sections fines de roche.

Chapitre 6 : Fabriquer et utiliser des sections fines de roches (1831-1862)

A partir de 1820 et de la publication du mémoire de Cordier sur une nouvelle méthode d'identification des minéraux dans les laves, les savants mobilisent le microscope dans les descriptions des roches qu'ils effectuent. L'usage du microscope et des caractères minéralogiques perdurent comme en attestent les différents exemples ci-après. En effet, en 1838 dans un article intitulé « Nature minéralogique et composition chimique des cendres lancées par deux volcans de l'Amérique tropicale », ⁵⁹² Dufrenoy étudie la nature minéralogique des cendres. Il en identifie le goût et le magnétisme à l'aide d'un barreau aimanté, effectue une dissolution par les acides et chauffe également les échantillons. Le savant utilise un microscope pour identifier les clivages⁵⁹³.

François Sauvage, dans « Recherche sur la composition des roches du terrain de transition »⁵⁹⁴ utilise des méthodes similaires. Il réduit en poudre ses échantillons dans le but de les traiter par différents réactifs, dont des acides. Le savant utilise aussi le chalumeau, le barreau aimanté et le microscope. Il décrit également la couleur, la division en feuillet, la présence et la forme des petits cristaux. De même, un an plus tard, Daubré dans « Recherche sur la formation du minerai de fer des marais et des lacs »⁵⁹⁵ indique avoir soumis le minerai de Bienwald au microscope⁵⁹⁶ après traitement aux acides.

Delesse procède de la même manière en 1847 dans « Mémoire sur la constitution minéralogique et chimique des roches des Vosges »⁵⁹⁷. Il revendique explicitement, contrairement à ses contemporains, l'utilisation de la méthode de Cordier et de Berthier pour identifier les roches⁵⁹⁸. Il utilise également le microscope pour appréhender la texture des roches lorsque cette dernière n'est pas perceptible à l'œil nu⁵⁹⁹. Il existe d'autres exemples encore de

⁵⁹² Ours-Pierre-Armand PETIT-DUFRENOY, « Nature minéralogique et composition chimique des cendres lancées par deux volcans de l'Amérique tropicale », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 6, Janvier-Juin 1838, 1838, p. 174-178.

⁵⁹³ Le grossissement utilisé par Dufrenoy est de x200 à x350, dans Ours-Pierre-Armand PETIT-DUFRENOY, « Nature minéralogique et composition ... », *op.cit.*, p. 176.

⁵⁹⁴ François Clément SAUVAGE, « Recherche sur la composition des roches du terrain de transition », *Annales des Mines*, Série 4, Volume 7, 1845, p. 411-452, puis notes et appendices p. 452-462.

⁵⁹⁵ Gabriel Auguste DAUBREE, « Recherche sur la formation du minerai de fer des marais et des lacs », *Annales des Mines*, Série 4, Volume 10, 1846, p. 37-68.

⁵⁹⁶ G.A. DAUBREE, « Recherche sur la formation ... », *op.cit.*, p. 50.

⁵⁹⁷ Achille DELESSE « Mémoire sur la constitution minéralogique et chimique des roches des Vosges », *Annales des Mines*, Série 4, Volume 12, 1847, p. 195-282

⁵⁹⁸ Achille DELESSE « Mémoire sur la constitution ... », *op.cit.*, p. 197.

⁵⁹⁹ Achille DELESSE « Mémoire sur la constitution minéralogique et chimique des roches des Vosges », *Annales des Mines*, Série 4, Volume 12, 1847, p.198.

pratiques liées au microscope et qui s'inspirent de la méthode de Cordier pour identifier les roches⁶⁰⁰.

Le microscope est la plupart du temps mobilisé pour observer les résultats issus de l'action des acides ou du chalumeau. Il vient également pallier l'insuffisance des sens du savant pour observer des petites structures comme les clivages ou les cristaux de petites tailles.

Se pose alors la question de la présence dans les pratiques d'observation d'une autre façon de modifier les objets. Elle est mentionnée par Cordier et consiste à retirer un fin éclat d'un échantillon pour l'observer. Cette méthode s'apparente à observer un objet par transparence, comme les sections fines des végétaux fossiles. Mais elle n'est pas reprise par les auteurs d'articles au sein du *Bulletin de la Société Géologique de France*, des *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences* ou encore des *Annales des Mines*, entre 1820 et 1850. Or, en Angleterre notamment, les roches calcaires sont observées par transparence, puisque taillées en sections fines. Certains savants, comme William Crawford Williamson (1816-1895) dans les années 1840 fabriquent des sections fines de roches calcaires. La question de l'origine des techniques mobilisées par Williamson se pose, tout comme celle de l'affiliation avec les observations en sections fines des végétaux fossiles qui se font depuis les années 1830 dans le pays. Au regard de la pratique microscopique mise en place pour l'observation des végétaux fossiles, sa place dans les observations de roches calcaires reste également à identifier.

Par ailleurs, Henry Clifton Sorby (1826-1908) fait également partie de ceux qui réduisent en sections fines de nombreux objets pour les étudier, dont les roches calcaires. Il va cependant élargir le domaine d'application de cette technique à d'autres objets du règne minéral : les roches volcaniques et métamorphiques. Il s'agit alors de se demander quels facteurs favorisent cette adaptation à d'autres objets et comment Sorby propose une méthode d'observation microscopique supplémentaire à celle déjà disponible dans les années 1850.

I. Tailler les roches en sections fines

Depuis le début du XIX^e siècle, les minéraux et les roches sont étudiés à l'œil nu, mais également sous forme de poudre en utilisant un microscope. Une technique marginale, car peu utilisée consiste à extraire un éclat très fin pour l'observer également au microscope. Par ailleurs, les cristaux sont étudiés sous forme de plaques minces dans le cadre d'études sur leurs

⁶⁰⁰ Charles MARTINS, « Note sur les roches volcaniques du bassin de Commeny (Allier) et la transformation de la houille en anthracite qui s'observe au contact de l'une d'elles », *Bulletin de la Société Géologique de France*, Tome 8 Série 2, Années 1850-1851, 1851, p.14 et Charles SAINTE CLAIRE DEVILLE (?) « Mémoire sur les roches volcaniques des Antilles », *Bulletin de la Société Géologique de France*, Série 2, Tome 8, années 1850-1851, 1851, p. 423-430.

propriétés optiques. Au sein de cette partie, il s'agit d'aborder un autre type de transformation de l'objet, la réduction en sections fines, dont il existe un foyer a priori évident, l'Angleterre. En effet, depuis la publication des travaux de Witham et de Nicol dans les années 1830, la technique des sections fines est bien implantée dans les pratiques. Il est possible que cette technique se généralise à d'autres objets du règne minéral, comme les roches. Tout en sachant que la technique de production de sections fines a circulé, dans les années 1830-1840, nous pouvons supposer qu'il existe d'autres foyers en dehors de l'Angleterre où des sections fines de roches ont été fabriquées. A notre connaissance, en Allemagne, des sections fines de roches sont produites dans les années 1850. Nous tâcherons donc pour ces deux foyers distincts d'identifier les fabricants de sections fines, les techniques de fabrication qu'ils utilisent. Nous ferons en sorte de situer dans la mesure du possible les origines de ces techniques.

1. Un foyer anglais favorable à l'adaptation technique

Des savants étudient les roches calcaires et les fossiles contenus en les observant en sections fines. Nous poserons la question de l'adaptation de la technique de fabrication vers d'autres objets que les végétaux fossiles, à savoir les roches calcaires, dans un premier temps, puis volcaniques par la suite.

Une migration de la technique de fabrication

William Nicol est celui qui dans les années 1830 contribue, par la publication de sa technique de fabrication dans l'ouvrage de Witham, à en développer l'usage pour observer les caractères internes des végétaux fossiles. Cependant, il existe d'autres savants en Grande Bretagne susceptibles de revendiquer au même titre que William Nicol la paternité d'une méthode de production des sections fines.

L'un d'entre eux est William Crawford Williamson (1816-1895). Ce dernier s'intéresse au fait que la craie contient des fossiles microscopiques. C'est en 1826 qu'Alcide d'Orbigny utilise le mot foraminifère pour qualifier ces formes fossiles. Il établit par la suite une classification des espèces qu'il publie dans les *Annales des sciences naturelles*⁶⁰¹. D'ailleurs, Félix Dujardin (1801-1860) en 1835 détermine la nature unicellulaire de ces organismes. Dans les années 1840, Williamson s'engage alors dans cette voie de recherche. Ces recherches sur les foraminifères⁶⁰² et leurs rôles dans la formation des dépôts marins sont toutes aussi importantes que les études qu'il conduit au sujet de la structure des plantes fossiles. De plus, Williamson

⁶⁰¹ Alcide d'ORBIGNY, « Tableau méthodique de la classe des Céphalopodes », *Annales des sciences naturelles*, Tome 7, 1826, p.96-121.

⁶⁰² Ce sont des animaux (Protozoaires) surtout marins dont la coquille, le test peut être calcaire et donc conservé dans les sédiments. D'après FOUCAULT Alain et RAOULT Jean-François, *Dictionnaire de Géologie*, 6^{ème} édition, collection Universciences, édition Dunod, Liège, 2005, p.141.

participe à l'élaboration de l'ouvrage de Lindley et William Hutton (1797-1860) sur la flore fossile présente en Grande Bretagne⁶⁰³. Il est possible que cette collaboration, de manière similaire à Nicol, explique comment Williamson a l'idée d'observer les végétaux fossiles de l'intérieur, mais aussi d'étudier les foraminifères en sections fines pour les décrire avec plus de précision.

Le savant tient les techniques de découpe et de polissage de son grand-père maternel du nom de Crawford, bijoutier-lapidaire. Ici, la circulation des connaissances telles que décrites par Caron⁶⁰⁴ s'effectue d'une génération à l'autre et Williamson utilise à son avantage les techniques qu'il a apprises auprès de son grand-père, afin de travailler sur les craies et leurs fossiles.

John Phillips (1800-1874) est aussi un savant qui s'intéresse aux fossiles⁶⁰⁵. Son oncle, le géologue William Smith (1769- 1838) s'occupe de lui jusqu'à sa mort. Smith est d'ailleurs proche du père de Williamson, chez qui il réside près de deux ans. Mais, nous n'avons pas d'informations supplémentaires qui confirment ou non la présence de Phillips chez le père de Williamson, ni d'éventuels échanges à propos de techniques de préparations. Cependant, Phillips observe aussi des sédiments calcaires au microscope et utilise des plantes taillées en sections fines pour ses recherches. L'origine de ses méthodes d'observations peuvent être multiples. Ses lectures l'ont peut-être conduit à prendre connaissance des travaux de Lindley voire de ceux de Nicol. Phillips a pu également apprendre ces techniques de fabrication de sections fines chez la famille Williamson. Mais il ne s'agit là que d'hypothèses, puisque Phillips ne mentionne pas la source de ses savoir-faire dans ses publications.

Ces deux exemples montrent d'une part, que d'autres savants que Nicol, initient des travaux qui utilisent les sections fines. Les pratiques de découpe en sections fines de Williamson et Phillips sont postérieures aux publications sur les végétaux fossiles. Chez Williamson, le mécanisme d'apprentissage est similaire, par le contact avec un artisan détenant ces savoir-faire spécifiques, mais il s'inscrit dans un contexte où l'usage des sections fines est assez répandu. Il est donc possible que l'idée d'utiliser cette technique des sections fines pour observer d'autres fossiles que les végétaux soit liée aux publications sur le sujet. En effet, les objets sont proches par leurs caractéristiques. Ils sont durs et parfois compacts, non transparents et le contenu des roches calcaires devient visible en utilisant des instruments tels que la loupe ou le microscope.

Par ailleurs, la pratique de destruction des objets, roches ou minéraux, est bien ancrée dans les pratiques savantes. La réduction en poudre pour conduire des analyses chimiques ou déterminer les caractères chimiques des échantillons est courante. En conséquence de quoi, effectuer une autre manipulation visant à modifier l'intégrité d'un échantillon n'est pas si difficile à établir. Détailler des sections fines de roches s'insère dans ce processus de modification pour mieux déterminer les caractères de l'objet. En effet, dans le cas des roches calcaires, la destruction éventuelle des microfossiles lors de la réduction en poudre est limitée

⁶⁰³ LINDLEY John et HUTTON William, *The fossil flora of Great Britain; or Figures and descriptions of the vegetable remains in a fossil state in this country*, 3 volumes, James Ridgway, Londres, 1831-1837.

⁶⁰⁴ Voir à ce propos le Chapitre 3II.

⁶⁰⁵ J.M. EDMONDS, « Notice John Phillips », dans Charles Coulston GILLESPIE (ed), *Dictionary of scientific biography*, Charles Coulston (ed), Charles scribner's sons, Tome 10, New York, p. 583-584.

lors de la taille en sections fines. Cette même technique permet, comme pour les végétaux fossiles d'observer à l'intérieur des objets, surtout lorsque l'orientation de la coupe coïncide avec celle des fossiles. Le savant accède alors à d'autres caractères distinctifs pour identifier et classer les microfossiles contenus dans les roches.

Williamson applique lui-même cette pratique d'observation aux objets qu'il étudie. Par exemple, dans « On the real nature of the minute bodies un flints, supposed to be sponge spiculae » en 1846, Williamson traite d'observations microscopiques de craies friables. L'examen microscopique se fait à l'aide de sections fines⁶⁰⁶. L'auteur utilise d'ailleurs l'expression de « *géologiste microscopiste* » pour désigner ses confrères⁶⁰⁷. Cette dernière expression est intéressante à plus d'un titre, car Williamson rattache à un domaine, la géologie, l'usage d'un instrument, le microscope. Ainsi, il prend le parti de nommer au sein des géologues un groupe distinct de pratiquants, les microscopistes. Dans un autre article « On the recent British species of the genus *Lagena* », deux ans plus tard, Williamson mentionne la technique de montage de Ehrenberg, dans du baume du Canada. Elle permet d'observer les objets par transparence en lumière transmise⁶⁰⁸. Il évoque également l'usage du microscope pour observer « *de nombreuses espèces, [...] montées dans du baume du Canada et examinées sous un grossissement de ¼ de pouce [...]* »⁶⁰⁹.

Par ailleurs, Joly et Leymerie publie en 1847 « Recherches sur les Nummulites ». Ils y exposent très succinctement la méthode qu'ils ont utilisée pour étudier ces nummulites⁶¹⁰ :

« *Après des observations bien souvent répétées, après avoir vainement coupé, brisé, scié, usé à la meule et examiné à la loupe et au microscope une foule de nummulites aussi dure que le silex ou le calcaire [...]* »⁶¹¹.

Ils décrivent des étapes de découpe et d'usure similaires à celles présentées dans l'ouvrage de Witham⁶¹².

Pour autant, certains savants restent réticents à l'usage des sections fines. Le français Alcide D'Orbigny indique que « *M. Ehrenberg observe au microscope ses foraminifères par la transparence. Cette manière de procéder entraine les plus graves erreurs ; elle ne permet pas de distinguer surement les genres, et à plus forte raison les espèces qu'on y rapporte. C'est*

⁶⁰⁶ William Crawford WILLIAMSON, « On the real nature of the minute bodies un flints, supposed to be sponge spiculae », *The Annals and magazine of natural history*, Volume 17, n°125 supplément, 1846, p. 467.

⁶⁰⁷ William Crawford WILLIAMSON, « On the real nature ... », *op.cit.*, p. 468.

⁶⁰⁸ William Crawford WILLIAMSON, « On the recent British species of the genus *Lagena* » *The Annals and magazine of natural history*, 2nd series, Volume 1, n°1 Janvier 1848, 1848, p. 4.

⁶⁰⁹ William Crawford WILLIAMSON, « On the recent British ... », *op.cit.*, p.5

⁶¹⁰ Les nummulites sont des Foraminifères fossiles en forme de lentille, à coquille spiralée et compartimentée, que l'on trouve en abondance dans les terrains de l'ère tertiaire (éocène). Définition extraite du CNRTL.

⁶¹¹ JOLY et Alexandre LEYMERIE, « Recherches sur les Nummulites » *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 25, Juillet-Décembre 1847, 1847, p. 591.

⁶¹² Voir le chapitre 3, Encart 9 : Préparation d'une section fine de bois fossile d'après l'ouvrage de H. Witham.

seulement par l'opacité qu'on peut arriver à comprendre parfaitement les formes et les détails extérieurs des genres et des espèces »⁶¹³.

D'Orbigny n'est pas réticent à l'usage d'instruments optiques, puisqu'il mentionne à quelques reprises dans ses ouvrages⁶¹⁴ utiliser des loupes et des microscopes lors de ses observations comme l'atteste cet extrait : « *en effet, lorsqu'on examine au microscope les parois des cloisons [...]* »⁶¹⁵.

Il semble davantage opposé à une observation microscopique des objets en sections fines.

L'application de cette technique de réduction en sections fines à l'étude des foraminifères est possible par le fait que ces objets sont hybrides, entre roche et organique. C'est une similitude qu'ils partagent avec les végétaux fossiles. Cependant, dans le cas des foraminifères, les fossiles sont inclus dans une roche qui fait aussi partie de l'étude. L'aspect hybride de ces objets favorise le passage de la technique de fabrication vers les roches calcaires mais nous interpelle alors sur la généralisation de cette technique à tous les types de roches.

Sorby, s'approprier la technique de section fine (1842-1851)

Observer des roches calcaires en sections fines comme le fait Williamson suggère qu'il est possible d'étendre la technique à d'autres types de roches. Nous souhaitons montrer que par l'intermédiaire de Henry Clifton Sorby qui commence à utiliser cette technique sur des roches calcaires puis l'élargit à des roches volcaniques, la technique de fabrication s'étend à l'ensemble du règne minéral. Commençons par présenter le savant.

Henry C. Sorby n'intègre aucune université et à la mort de son père en 1847, il hérite d'une somme d'argent suffisante pour qu'il puisse se consacrer à ses recherches. C'est un membre actif des sociétés savantes de sa ville de résidence Sheffield, mais Sorby est assez isolé des cercles savants universitaires et travaille sur les sujets qui l'intéressent. Entre 1849 et 1864, il s'attache à l'utilisation du microscope pour l'étude des roches et des métaux. En 1858, Sorby publie notamment un article sur les inclusions fluidiques dans les cristaux naturels et artificiels. Ce sujet a déjà fait l'objet d'articles de Brewster ou encore de Davy dans les années 1820. Lors d'une croisière sur le Rhin, il rencontre Ferdinand Zirkel (1838-1912)⁶¹⁶ à qui il présente certaines de ses sections fines ainsi que l'intérêt d'effectuer des observations avec. Sorby est

⁶¹³ Alcide D'ORBIGNY, *Foraminifères fossiles du bassin tertiaire de Vienne*, Editeurs Gide et C^{ie}, Paris, 1846, note de bas de page, p.33.

⁶¹⁴ Alcide D'ORBIGNY, *Paléontologie des coquilles et des mollusques étrangers à la France*, Editeurs Gide et C^{ie}, Paris, 1846, 160 pages et planches et Alcide D'ORBIGNY, *Foraminifères fossiles du bassin tertiaire de Vienne*, Editeurs Gide et C^{ie}, Paris, 1846, 312 pages et planches.

⁶¹⁵ Extrait de Alcide D'ORBIGNY, *Paléontologie des coquilles*, *op.cit.*, p. 242.

⁶¹⁶ Il est nommé professeur de minéralogie à l'Université de Lemberg en 1863. Il publie une première édition en 1866 de *Lehrbuch der Petrographie*. Il accepte la chaire de minéralogie de l'Université de Leipzig en 1870 et continue à travailler sur les observations microscopiques des roches. Il collabore avec Clarence King dans les années 1870 pour l'expédition du 40^{ème} parallèle. Nous aborderons davantage les travaux du savant dans le Chapitre 7.

élu président de la *Royal Microscopical Society*⁶¹⁷ entre 1875 et 1877, et occupe le même poste à la *Geological Society of London* en 1878 et 1880.

D'après John Weasley Judd (1840-1916), Sorby rencontre en 1842, lors d'un voyage en train entre Scarborough et York, un autre savant, William C. Williamson⁶¹⁸. Les deux hommes échangent à propos des sections fines et Sorby se rend à plusieurs reprises chez Williamson à Manchester entre 1842 et 1849 pour apprendre la fabrication des sections fines⁶¹⁹. Les deux savants ont en commun leur intérêt pour l'étude des roches calcaires et Sorby applique alors la même méthode d'étude que celle de Williamson, l'observation microscopique en sections fines. Sorby publie d'ailleurs un article sur la craie en 1851⁶²⁰, « On the microscopical structure of the Calcareous Grit of the Yorkshire Coast », dans lequel il détaille le processus de fabrication des sections fines. Il propose deux façons distinctes de préparer des sections fines de roches ou de minéraux.

La première façon consiste à affiner la surface de la roche ou du minéral à observer à l'aide d'eau sur une surface plane, très dure et lisse. L'auteur mentionne la « pierre d'eau d'Ayr »⁶²¹. Cette action permet de polir l'échantillon. Ensuite, « [1] *'un des côtés de la section est bien sûr fixé sur un verre avec du baume du Canada avant d'être poncé très finement, et lorsque c'est terminé, une plaque de verre fine doit être montée sur la surface de dessus avec la même substance* »⁶²². La seconde façon de préparer des sections fines est quant à elle exempte d'étape de polissage : « *Une portion du minéral peut être brisée de manière suffisamment fine, et lorsque montée sous verre dans du baume du Canada, peut être facilement examinée avec un fort pouvoir grossissant* »⁶²³.

Cette première technique est assez proche de celle de Nicol tandis que la seconde est semblable aux indications que pouvait proposer Cordier en 1815⁶²⁴. Cependant, la description des techniques mises en œuvre est peu développée. Le matériau abrasif n'est pas précisé mais l'usage du baume du Canada pour coller les échantillons est explicitement mentionné dans les deux techniques exposées.

La date de publication de cet article est assez proche de la période durant laquelle Sorby est en contact avec Williamson pour son apprentissage de la technique des sections fines. Il est donc possible d'envisager que la technique décrite dans son article est celle que Sorby a appris auprès de Williamson. Par ailleurs, les échantillons, peu importe la méthode choisie, sont

⁶¹⁷ Fondée en 1839, la *Royal Microscopical Society* était une société d'amateur dédié à tous ce qui est relatif à la microscopie. Edwin Quekett ou encore Joseph J. Lister par exemple ont participé à la première réunion de 1839. En 1841 est publié dans un journal *The microscopic journal* et en 1844, *The transactions of the Microscopical Society of London* est publié.

⁶¹⁸ John Weasley JUDD, « Henry Clifton Sorby, and the birth of microscopical petrology », *The geological magazine*, Volume 5, n°5, Janvier-Décembre 1908, 1908, p. 195.

⁶¹⁹ John Weasley JUDD, *ibid.*

⁶²⁰ Henry Clifton SORBY, « On the microscopical structure of the Calcareous Grit of the Yorkshire Coast », *The Quartely Journal of the Geological Society of London*, Volume 7, n°1-2, 1851, p.1-6

⁶²¹ «Water-of- Ayr», dans H.C. SORBY, « On the microscopical structure of crystals, indicating the origin of minerals and rocks », *The Quartely Journal of the Geological Society of London*, Volume 7, 1851, p. 468.

⁶²² H.C. SORBY, *ibid.*

⁶²³ H.C. SORBY, *ibid.*

⁶²⁴ Voir Chapitre 3 Encart 7 p.65

systématiquement montés entre deux plaques de verre. D'après l'auteur, « [c]e n'est pas seulement pour préserver l'objet des dommages, mais cela a pour effet de le rendre plus clair et transparent »⁶²⁵.

L'auteur, lui-même, préconise la seconde méthode de montage, sans polissage. Elle permet de gagner du temps par rapport à la première méthode, plus chronophage. Elle limite aussi la hausse possible des températures lors du polissage. En effet, dans l'exemple des observations et de l'analyse des fluides contenus dans les cavités fluidiques, une hausse de la température, même modérée favorise l'évaporation des fluides, limitant ainsi les observations. Sorby est précautionneux dans sa manière de présenter les deux techniques, puisqu'il ajoute que « [d]ans de nombreux cas, il n'est cependant pas nécessaire de préparer de telles sections »⁶²⁶. Il évoque ici spécifiquement les sections fines et lorsque les deux méthodes sont comparées, il apparaît que la seconde semble plus intéressante que la première. Cependant, Sorby précise que les sections fines sont indispensables aux observations.

Ainsi, Sorby ne préconise pas une méthode plutôt qu'une autre, il offre une autre possibilité de fabrication, adéquate dans certains cas, comme l'exemple des cavités fluidiques l'illustre.

Sorby propose donc d'observer des roches et des minéraux par transparence ainsi que deux méthodes différentes pour le faire. L'une nécessite une dextérité plus importante et d'y consacrer plus de temps, tandis que la seconde est plus rapide. Chacune des méthodes est adaptée au contexte de recherche, à savoir la nature des structures observées, la nature de l'échantillon ou encore les conditions matérielles de préparation. Pourtant, les étapes de fabrication sont peu spécifiées. Le savant ne mentionne aucune étape de découpe et d'aplanissement. Seule l'étape de polissage est mentionnée, tout comme les caractéristiques du support qu'il utilise.

Evolution de la technique de préparation de Sorby (1849-1862)

Près de neuf ans après la publication de son article « On the microscopical structure of crystals », soit en 1860, Sorby revient sur le processus de fabrication des sections fines dans un nouvel article intitulé « Sur l'application du microscope à l'étude de la géologie physique ».

La technique consiste à user l'un des côtés d'un petit fragment de roche. Sorby utilise d'abord de l'émeri et un plateau de zinc, puis une pierre très unie jusqu'à ce que la surface de la roche soit parfaitement plane et polie. Il fixe ensuite la face polie sur un verre à l'aide de baume de Canada. Puis, il use l'autre face de la même manière, en utilisant de l'émeri et divers supports en pierre. Il réduit alors l'épaisseur des sections de 1/100 à 1/1000^e de pouce.

⁶²⁵H.C. SORBY, « On the microscopical structure of crystals, indicating the origin of minerals and rocks », *The Quarterly Journal of the Geological Society of London*, Volume 7, 1851, p. 469.

⁶²⁶ H.C. SORBY, *ibid.*

Une fois ces deux opérations réalisées, il colle une nouvelle plaque de verre au-dessus, avec du baume du Canada également ⁶²⁷.

Le but final affiché par le savant est d'obtenir des plaques assez minces pour devenir transparentes⁶²⁸. Certains éléments similaires se retrouvent entre les deux descriptions. L'usage du baume de Canada comme adhésif et celui de deux plaques de verre accolées à l'échantillon. Ce sont également des caractéristiques propres aux autres sections fines produites à cette période. A propos de ces choix techniques, Sorby explique déjà en 1851 que cela assure la protection et augmente la transparence de l'échantillon.

« *Ce n'est pas seulement pour préserver l'objet des dommages, mais cela a pour effet de le rendre plus clair et transparent* » ⁶²⁹.

L'auteur, en 1860, est aussi plus précis dans ses descriptions. Il précise par exemple l'épaisseur des sections fines, ce qui était jusque-là inédit pour ces objets. Sorby revient également sur les étapes de préparation des échantillons : le ponçage et le polissage. Il mentionne divers supports de polissage et utilise de l'émeri, une roche abrasive également citée par Witham et Nicol pour produire leurs sections fines.

Divers facteurs peuvent expliquer l'évolution du discours de Sorby sur la préparation des sections fines. Le premier est lié au gain d'expérience du savant dans la préparation des sections fines. Cette expérience est vraisemblablement issue de sa pratique, mais il est aussi possible que Sorby ait effectué des recherches sur les méthodes de fabrication des sections fines. Sa rencontre avec Alexander Bryson est un exemple de cette démarche. Alexander Bryson est le légataire des collections de Nicol, dont ses multiples sections fines font partie. Sorby le rencontre et visite d'ailleurs les collections que détient Bryson. Leurs échanges, dont il n'existe à notre connaissance aucune trace, à propos des sections fines auraient pu conduire Sorby à utiliser d'autres techniques, comme l'usage de l'émeri pour affiner ses préparations. Le second élément sur les différences entre ces deux publications, est lié quant à lui à la construction d'un discours en faveur de cette méthode. Ainsi, dans le but de mettre en avant l'usage des sections fines pour observer les roches, Sorby, au même titre que Witham, décrit avec davantage de détails le processus de fabrication afin qu'il soit reproduit.

La technique que propose Sorby pour produire les sections fines n'est pas unique. Il existe de nombreuses variations possibles, selon les fabricants et les matériaux (voir encart ci-après).

Encart 24 : Une diversité de techniques de production des sections fines.

La variété des techniques de fabrication des sections fines n'est pas circonscrite à Sorby. Par exemple, Alexander Bryson dans l'un de ces articles à propos d'une machine pour

⁶²⁷ Henry C. SORBY, « Sur l'application du microscope à l'étude de la géologie physique », *Bulletin de la Société Géologique de France*, Série 2 Tome 17, années 1859-1860, 1860, p.571-573.

⁶²⁸ Henry C. SORBY, « Sur l'application du microscope ... », *op.cit.*, p.571.

⁶²⁹ H.C. SORBY, « On the microscopical structure of crystals, indicating the origin of minerals and rocks », *The Quarterly Journal of the Geological Society of London*, Volume 7, 1851, p. 468.

fabriquer des sections fines (voir Annexe 5, p.350), mentionne une succession de techniques utilisées en France et en Angleterre pour découper ou encore affiner et polir des échantillons. Par exemple en Grande Bretagne, la découpe des roches s'effectue à l'aide d'une scie et de la poudre de diamant et cette scie sera remplacée par l'utilisation d'un disque de tôle mince, lui aussi recouvert de poudre de diamant. En France, la technique de la scie n'est plus utilisée dans les années 1850 mais remplacée par l'utilisation d'un fil de cuivre ou de laiton, recouvert d'émeri⁶³⁰. Des ciseaux en acier⁶³¹ peuvent aussi faire l'affaire pour des matériaux plus tendres tels que les os ou les dents.

Différents supports permettant de poncer les matériaux sont utilisés. En effet, les supports que Witham propose pour poncer les surfaces à l'aide d'émeri sont repris, comme les plaques de métal ou de la glace dépolie. Cependant, Dujardin⁶³² propose en 1843 dans le cas où la substance est très dure, d'ajouter une étape supplémentaire et de frotter celle-ci sur une plaque de grès. En 1856, Bryson⁶³³ quant à lui propose, pour le polissage, différents supports adaptés à la dureté des échantillons et par conséquent leur nature. Par exemple, les échantillons siliceux seront polis sur un tour en bois de saule en section transversale si possible, et le lubrifiant utilisé est de la « putty powder », c'est à dire de l'oxyde d'étain. Dans le cas de substances plus douces encore, l'auteur conseille de poser un morceau de tissu sur le tour en bois et d'utiliser de la craie finement réduite en poudre comme agent de polissage.

D'autres pratiques relatives aux sections fines méritent d'être mentionnées, même si elles ne sont pas visibles dans l'ensemble des publications étudiées. Elles proviennent de la biologie notamment où l'utilisation des sections fines nécessite des ajouts supplémentaires par rapport aux descriptions concernant la fabrication. Par exemple, John Griffith⁶³⁴ préconise afin d'éviter que les deux lames de verre ne bougent lors de la solidification du baume, de les fixer ensemble à l'aide de cire, positionnée aux extrémités ces lames. De plus, comme pour le prisme et pour éviter les réflexions de lumière lors des observations, des morceaux de papier sont collés aux extrémités de ces lames. Cet ajout de papier est à la fois esthétique et pratique⁶³⁵, puisqu'il permet de noter la nature de l'échantillon comme le nom de la roche, du minéral ou du fossile.

Il est difficile de savoir si l'usage de la cire pour bloquer les deux lames de verre est utilisé par Nicol, Williamson ou même encore Sorby. Cependant, l'usage de morceaux de papier est une pratique courante en microbiologie. Il apparaît peu vraisemblable que cet usage n'ait pas été repris par ces microscopistes. D'autant que l'étiquetage des sections fines apparaît comme une nécessité pour l'identification des préparations microscopiques. L'illustration que propose

⁶³⁰ Alexander BRYSON, « On an improved method of preparing siliceous and other fossils for microscopic investigation, with a description of a new pneumatic chuck », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Série 2, Volume 3, Janvier-Avril 1856, 1856, p. 297.

⁶³¹ Félix DUJARDIN, *Nouveau manuel complet de l'observateur au microscope*, Editeur Roret, Paris, 1843, p. 67.

⁶³² Félix DUJARDIN, *Nouveau manuel complet*, *op.cit.*, p. 309.

⁶³³ Alexander BRYSON, « On an improved method ... », *op.cit.*, p. 297-304.

⁶³⁴ John William GRIFFITH, « On the different modes of preserving microscopic objects », *The Annals and Magazine of Natural History*, Volume 12, 1843, p.113-117.

⁶³⁵ Par ailleurs, en fonction des types de papiers utilisés et de l'écriture présente sur les sections, il devient possible de retracer le fabricant à l'origine de l'objet.

David Young dans *Mind Over Magma*⁶³⁶, concernant les sections fines produites par Nicol, montre la présence d'étiquettes, tout comme celles plus tardives de Fouqué que présente Jacques Touret dans « Le microscope polarisant à l'assaut des montagnes »⁶³⁷. Ainsi, cette hypothèse quant à l'utilisation de papier ou de cire pour la préparation des sections fines de roches ou de fossiles mérite d'être approfondie et faire l'objet d'un travail ultérieur.

2. Un foyer allemand de fabrication et d'utilisation des sections fines

La Grande-Bretagne est un pays dans lequel l'usage, de la section fine de végétaux fossiles ou bien encore de minéraux ou de roches, est attesté depuis les années 1840. Cependant, Sorby n'est pas le seul autour des années 1850 à produire des sections fines de roches. En Allemagne plus précisément à Berlin, des sections fines sont aussi fabriquées.

Publier pour faire connaître les sections fines de roches

Le principal fabricant mentionné par l'historiographie⁶³⁸ est Adolph Friedrich Oschatz (1812-1857)⁶³⁹. D'après sa biographie présente dans l'ouvrage de Rosenbauer⁶⁴⁰ sur les fabricants de préparations microscopiques, Oschatz ne s'intéresse que tardivement à la fabrication des sections fines minérales, seulement à partir des années 1850. Il étudie les sciences naturelles et les mathématiques à l'Université de Berlin et entre 1841 et 1843 il a été l'assistant de Jan Evangelista Purkinje (1787-1869)⁶⁴¹ à l'Institut de Physiologie de Breslau⁶⁴². Par la suite, il devient « privatgelehrter » et tâche de préparer et de vendre ses préparations microscopiques à des instituts, des musées, des universités ou encore des savants.

⁶³⁶ David YOUNG, *Mind over magma. The Story of Igneous Petrology*, Princeton University Press, Princeton, 2003, p.146.

⁶³⁷ Jacques L. R. TOURET, « Le microscope polarisant à l'assaut des montagnes », *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie*, Troisième série, Tome 26, n°4, 2012, p. 77.

⁶³⁸ David FORBES, « The microscope in Geology », *The popular science review*, Volume 6, 1867, p.355-368. Beryl M. HAMILTON, « The influence of the polarising microscope on late nineteenth century geology », *Janus, Revue internationale de l'histoire des sciences, de la médecine, de la pharmacie et de la technique*, Tome 69, 1982, p.51-68, Robert H. NUTTALL, « The origins of geological microscopy », *The Microscope*, Volume 25 Fourth quarter, 1977, p.245-250, Jacques Léon Robert TOURET et Robert P. W. VISSER(eds.) *Dutch pioneers of the earth sciences*, Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Amsterdam, 2004, 200 pages. Jacques Léon Robert TOURET, « De la pétrographie à la pétrologie », *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie*, Troisième série, Tome 20, n°8, 2006, p.172 et David YOUNG, *Mind over magma...*, *op.cit.*, p.151.

⁶³⁹ Touret est le seul à mentionner le nom complet du savant. De plus, une autre source mentionne l'année de décès de Oschatz en 1859 tandis que la plupart, Touret y compris propose la date de 1857. Nous garderons donc l'année 1857 comme année de décès du savant.

⁶⁴⁰ Karlheinz A. ROSENBAUER, *Mikroskopische präparate : Hersteller und Leferanten : Eine Zusammenstellung aus zwei Jahrhunderten*, Volume 1, Git Verlag, Allemagne, 2003, p.75-76

⁶⁴¹ Purkinje fait des études de médecine à l'Université de Prague et en sort diplômé en 1819. Il se consacre ensuite à la neurobiologie. Il devient professeur de pathologie et physiologie à Breslau et y fonde l'institut de physiologie en 1839, d'après l'Encyclopédie Britannica (site en ligne).

⁶⁴² La ville à cette époque porte le nom de Breslau, mais par la suite, elle est renommée Wrocław depuis 1945.

A partir de 1851, Oschatz est mentionné au sein du *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft* pour les sections fines de roches qu'il produit. Il publie également des communications dans lesquelles il vante les mérites de l'observation microscopique, particulièrement recommandée pour les recherches sur les corps inorganiques.

Dans le *Zeitschrift* de 1851⁶⁴³, Oschatz propose deux techniques distinctes de fabrication des sections fines minérales. La première est d'observer l'objet préalablement réduit en poudre avec du baume du Canada. La seconde consiste à amincir des plaques de cristal ou de fossiles pour ensuite les observer à l'aide du microscope. Un an plus tard, le savant discourt à nouveau de l'importance des recherches microscopiques⁶⁴⁴ sur les minéraux et l'usage du microscope. Il fait référence aux fossiles et aux besoins de les affiner pour les observations. D'après Oschatz, il est nécessaire de les tailler et donc de les observer selon différentes directions. Cette remarque n'est pas sans rappeler celle de Nicol dans ses articles des années 1830.

Oschatz fait également découvrir les sections fines qu'il prépare lors des rencontres de la Société géologique allemande entre 1851 et 1856. En 1856⁶⁴⁵, le savant Gustav Rose évoque dans un article la collection de sections fines que lui a envoyée Oschatz. Cette collection est constituée d'échantillons de minéraux et de roches suffisamment affinés pour être transparents. Ils sont soudés à l'aide de baume du Canada entre deux plaques de verre, afin d'être disposés facilement sous un microscope. Il y a par exemple de la labradorite, de l'obsidienne, de l'hyperstène, du basalte ou encore de la dolérite ou de la phonolite. Le prix est aussi mentionné :

« Le prix de chaque plaque dépend de la difficulté de la découpe et va de 6Sgr jusqu'à 1thlr. Le prix de la collection intégrale, qui consiste en 73 pièces est de 35thlr, 22 ½ Sgr. Sur demande, chaque pièce peut être livrée »⁶⁴⁶.

L'ensemble des informations concernant les techniques mobilisées et le prix sont rarement disponibles dans ce type de publication. Elles sont susceptibles d'être plus présentes dans des articles mettant en avant les résultats obtenus à l'aide de cette technique. Pour autant, ces informations permettent d'en savoir davantage sur la manière dont Oschatz construit ses sections fines. Une évolution dans le traitement est visible, puisqu'au début des années 1850, deux techniques sont présentées, pour n'en voir qu'une à partir de 1854. L'échantillon est alors affiné et collé à l'aide de baume du Canada entre deux plaques de verre. Cette disposition ainsi que le matériau utilisé est similaire aux techniques qu'utilise Sorby. Les sources consultées ne donnent pas d'indication sur les étapes de préparation des sections fines par Oschatz. Ce n'est qu'en 1857 qu'il précise certains éléments⁶⁴⁷. Oschatz dit poncer l'échantillon à l'aide d'une huile essentielle et cette technique lui permet d'obtenir des lames assez fines, mais les matériaux utilisés ne sont pas plus spécifiés.

⁶⁴³ ANONYME, *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, Volume 3, 1851, p. 382.

⁶⁴⁴ ANONYME, *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, Volume 4, 1852, p. 13-15

⁶⁴⁵ ANONYME, *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, Volume 8, 1856, p. 308.

⁶⁴⁶ ANONYME, *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, Volume 8, 1856, p. 308.

⁶⁴⁷ Adolph Friedrich OSCHATZ, « Mikroskopische struktur des carnallits », *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde*, 1857, p.720.

La mention régulière dans le *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft* de Oschatz et de ses sections fines de roches à partir de 1851 suggère la présence d'un autre foyer de production de sections fines, distinct de celui décrit auparavant pour l'Angleterre. Il apparaît que les sections fines décrites par Oschatz concernent uniquement les roches et pas d'autres objets comme cela a pu être le cas avec Sorby, même si Oschatz mentionne son application aux fossiles en 1851. Les indications biographiques à propos de Oschatz permettent de supposer que la technique des sections fines qu'il utilise provient de son expérience dans la préparation de lames minces en histologie. Par son poste au laboratoire de Purkinje, Oschatz a été amené à préparer de nombreuses lames minces histologiques pour les recherches du savant. A titre d'exemple, il a amélioré un microtome, instrument permettant de découper de fines tranches d'un tissu organique. Oschatz possède donc des savoir-faire à la fois sur la préparation mais également sur le processus de découpe des tissus. Compte tenu du fait que le technicien se met à son compte un peu avant les années 1850, il a sans doute choisi d'élargir la gamme des objets qu'il propose. En effet, les cristaux sont depuis quelques années déjà vendus en plaques minces pour observer les effets de la lumière polarisée, tout comme les végétaux fossiles pour en étudier les caractères internes. Oschatz s'est donc positionné au sein d'un marché existant, tout en proposant de nouveaux objets, des sections fines de roches à destination des géologues. Il n'y aurait donc pas chez Oschatz de rapport direct avec la préparation de végétaux fossiles et un élargissement de la technique vers les roches comme c'est le cas pour Sorby. L'origine de la technique d'Oschatz proviendrait d'après nous d'une adaptation des techniques histologiques à d'autres matériaux.

Circulation en Allemagne de la technique de Sorby

Les publications d'Oschatz et les mentions régulières dans le *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde* ne sont pas les uniques vecteurs contribuant à diffuser l'usage des sections fines de roches en Allemagne. Sorby y est également le promoteur de cette méthode de traitement des roches.

D'une part, Sorby rencontre lors d'une croisière sur le Rhin en 1862, un guide du nom de Ferdinand Zirkel (1838-1912), qui est également minéralogiste. Les deux savants d'après David Young⁶⁴⁸ ont de nombreuses discussions et Sorby montre les sections fines de roches qu'il a emportées avec lui lors de son voyage. Le savant est très enthousiaste à propos des possibilités qu'offre cette technique. Nous reviendrons plus en détails sur l'impact de cette rencontre dans les travaux de Zirkel dans le chapitre suivant.

⁶⁴⁸ David YOUNG, *Mind over magma. The Story of Igneous Petrology*, Princeton University Press, Princeton, 2003, p.151.

D'autre part, certains des articles de Sorby sont traduits dans le journal allemand *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde* dès 1857⁶⁴⁹. La traduction participe à la circulation des idées, mais également à celle des méthodes.

Ainsi, en 1861, la communication de Sorby au Congrès scientifique de Speyer est publiée dans le *Neues Jahrbuch* ⁶⁵⁰. Il y parle de l'intérêt de l'examen microscopique des roches et évoque la fabrication des sections fines. Par ailleurs, Sorby mentionne en propos introductif que la technique des sections fines a été appliquée auparavant pour étudier des objets comme les coquillages, les dents ou encore les végétaux fossiles. Cette même méthode est appliquée par l'auteur aux roches. Brièvement, il revient alors sur les étapes de préparation.

Par exemple, pour obtenir des coupes, il frotte un côté de la roche avec de l'émeri sur une plaque de zinc, puis sur de petites pierres dures et ce jusqu'à ce que la surface soit plane et bien polie. Il y colle ensuite un morceau de verre avec du baume du Canada et applique le même principe pour l'autre face jusqu'à obtenir une épaisseur de quelques millièmes de centimètre. Il polit ensuite l'échantillon sur les deux côtés et ce dernier est alors assez mince pour qu'un rayon de lumière le traverse. C'est une des descriptions les plus précises de production de sections fines disponibles à cette époque dans les journaux allemands.

Par son discours et par le contenu publié, la technique des sections fines est mise en avant. Par ailleurs, si l'on considère que l'article en plus d'être publié dans un journal est issu d'une communication à un congrès, l'impact de cette technique d'observation est d'autant plus grand. L'ensemble de ces éléments participe à la popularisation de l'usage des sections fines en Allemagne.

II. Renouveler l'usage du microscope en minéralogie

Les matériaux que Sorby réduit en sections fines et qu'il étudie sont de natures diverses. Par exemple, il observe en plus des roches, des ammonites⁶⁵¹, des dents, des coquilles, mais aussi

⁶⁴⁹ Henry C. SORBY, « Magnesia-Kalkstein dirch Metamorphose aus gewöhnlichem Kalksteine entstanden », *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde*, 1857, p. 89, Henry C. SORBY, « Mikroskopische strktur des Glimmerschiefers », *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde*, 1857, p. 89 et Henry C. SORBY, « Über die Anwendung des mikroskops zum studium der physikalischen geologie », *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde*, 1861, p.769-771.

⁶⁵⁰ Henry C. SORBY, « Über die Anwendung des mikroskops zum studium der physikalischen geologie », *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde*, 1861, p.769-771

⁶⁵¹ H. C. SORBY, « On the microscopical structure of the Calcareous Grit of the Yorkshire Coast », *The Quartely Journal of the Geological Society of London*, Volume 7, n°1-2, 1851, p.4.

des végétaux fossiles, le tout en sections fines : « *J'ai fait de nombreuses sections de bois qui appartiennent à de nombreux ordres naturels [...] »*⁶⁵².

Sorby produit de nombreuses sections fines et annonce en 1861, soit près de 12 ans après son apprentissage, en avoir produites près de 1000⁶⁵³. Il applique sur ces différents matériaux une méthode commune, qui s'appuie sur l'usage du microscope :

« *C'est la même méthode que j'ai appliquée à l'étude de la structure physique de toutes les roches et elle m'a conduit à plusieurs résultats nouveaux et intéressants »*⁶⁵⁴.

Sorby utilise donc une même technique, apprise auprès de Williamson pour produire des sections fines d'un grand nombre de substances différentes, dont les roches. Williamson utilisant le microscope pour effectuer ses observations, la question de l'usage de l'instrument dans la pratique d'observation de Sorby se pose également. Il s'agit alors de se demander comment le savant effectue ses observations de sections fines de roches et comment cette méthode cohabite avec les méthodes microscopiques de détermination sur poudre déjà existantes développé dans le chapitre 3.

L'usage du microscope par Sorby

Dans les articles que publie Sorby à propos des sections fines de roches, le savant précise en effet qu'elles doivent être transparentes⁶⁵⁵ et pouvoir être observées à un fort grossissement. Ceci suggère que le savant, utilise comme instrument d'observation un microscope.

Ainsi, dans « *On the microscopical structure of crystals indicating the origin of minerals and rocks* », Sorby s'intéresse aux cavités fluidiques⁶⁵⁶ dont l'observation à l'œil nu est rarement possible. Voici une illustration des pratiques mises en place :

« *Lors de l'examen de la structure microscopique des roches et des minéraux, j'ai dans de nombreux cas préparé des sections suffisamment fines pour permettre l'utilisation de lumière transmise à un fort pouvoir grossissant, qui je le suppose va de 1/100e à 1/1000e de pouce d'épaisseur. J'ai fait ici particulièrement attention à la nécessité de ne pas utiliser de poudres polissantes car elles peuvent entrer et remplir les cavités et les fluides et cela pourrait facilement donner de fausses apparences qui induiraient en erreur »*⁶⁵⁷.

⁶⁵² H.C. SORBY, « *On the occurrence of non Gymnospermous exogenous wood in the Trias, near Bristol* », *The Transactions of the Microscopical Society of London*, Volume 3, 1852, p.92.

⁶⁵³ Henry C. SORBY, « *Über die Anwendung des mikroskops zum studium der physikalischen geologie* », *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde*, 1861, p.769-71.

⁶⁵⁴ Henry C. SORBY, « *Sur l'application du microscope à l'étude de la géologie physique* », *Bulletin de la Société Géologique de France*, Série 2 Tome 17, années 1859-1860, 1860, p.571.

⁶⁵⁵ H.C. SORBY, « *On the microscopical structure of crystals, indicating the origin of minerals and rocks* », *The Quartely Journal of the Geological Society of London*, Volume 14, n°1-2, 1858, p. 468.

⁶⁵⁶ Henry C. SORBY, *On the microscopical structure of crystals indicating the origin of minerals and rocks*, Imprimeur Taylor & Francis, London, 1858, 48 pages et planches.

⁶⁵⁷ H.C. SORBY, « *On the microscopical structure of crystals...* », *op.cit.*, p.468.

Des éléments comme « *fort pouvoir grossissant* », « *structure microscopique* » ou encore « *lumière transmise* » confirme l'usage par Sorby d'un microscope pour effectuer ses observations.

Par ailleurs Sorby mentionne d'autres savants comme David Brewster ou Alexandre Bryson. Ces deux savants ont été en contact avec William Nicol, qui d'ailleurs a publié deux articles en 1828 et 1829⁶⁵⁸ à propos de recherches sur les cavités fluidiques dans lesquelles il utilise sa propre technique de sections fines. L'impossibilité d'utiliser l'œil nu que formule Sorby témoigne à la fois de l'importance de la vision dans les méthodes d'identification, mais vient aussi justifier l'emploi d'un instrument qui augmente la perception humaine, ici limitée par la petitesse des structures.

Par exemple, certaines publications du savant permettent de connaître le pouvoir grossissant nécessaire qui est de 100 diamètres⁶⁵⁹ ou bien qui va de 50 à 400 linéaire⁶⁶⁰ attestant sans aucun doute son utilisation de l'instrument. Cependant, de nombreuses questions se posent à propos de l'instrument qu'utilise Sorby afin de réaliser ses observations. Notamment parce qu'en 1856, le savant indique que l'utilisation d'un polariscope est un moyen des plus sûrs afin de voir si une roche calcaire possède ou non des propriétés polarisantes. Le polariscope est un appareil qui permet d'observer des roches en lumière polarisée analysée à un faible grossissement. Une certaine confusion peu alors apparaître quant à l'usage effectif par Sorby d'un microscope ou non. D'après R. H. Nuttall Sorby avait acheté le 28 avril 1848 un microscope chez Smith Beck&Beck, d'un modèle « Best smaller ».

A l'époque ce microscope est décrit comme le « *meilleur microscope composé achromatique* »⁶⁶¹. En ce qui concerne le dispositif de polarisation de la lumière, il s'agirait de prisme de Nicol, commercialisé par la firme également à cette époque. Il apparaît également que d'après D. W. Humphries, Sorby achète en 1861, un nouveau microscope à Smith Beck & Beck, à Londres, du type « Wenham » et qui possède un prisme de grandes dimensions en position de polariseur ainsi qu'un prisme analyseur directement fixé sur le tube du microscope. Les objectifs qui s'adaptent à cet instrument possèdent un grossissement maximum de 400 diamètres⁶⁶².

Sorby possède donc des microscopes pour conduire ses observations, mais sa pratique est-elle similaire à celle décrite pour les sections fines de végétaux fossiles ?

⁶⁵⁸ William NICOL, « Observations on the fluids contained in crystallized Minerals », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Volume 5, Avril- Septembre 1828, 1828, p. 94-96 et W. NICOL, « On the cavities containing fluids in Rock-Salt », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Volume 7, Avril- Octobre 1829, 1829, p. 111-113.

⁶⁵⁹ H. C. SORBY, « On the occurrence of non Gymnospermous exogenous wood in the Trias, near Bristol », *The Transactions of the Microscopical Society of London*, Volume 3, 1852 p.91.

⁶⁶⁰ H.C. SORBY, *On the microscopical structure of crystals indicating the origin of minerals and rocks*, Imprimeur Taylor & Francis, Londres, 1858, p.3

⁶⁶¹ Robert H. NUTTALL, « The first microscope of Henry Clifton Sorby », *Technology and Culture*, Volume 22, n°2, Avril 1981, 1981, p. 276.

⁶⁶² D.W. HUMPHRIES « The contributions of H.C. Sorby (1826-1908) to microscopy », *The Microscope and crystal front*, Volume 15, n°9, Mars-Juin, 1967, p. 356.

Sorby, constructeur d'une pratique associant observation microscopique et sections fines de roches

Dans son article de 1851, « *On the microscopical structure of the calcareous grit of the Yorkshire Coast* »⁶⁶³, Sorby indique avoir effectué de nombreuses manipulations pour étudier ses échantillons (voir Encart 25).

Encart 25 : Exemple de l'étude d'une roche par Sorby en 1851.

Sorby procède à l'étude d'une roche calcaire de la côte du Yorkshire.

L'auteur souhaite en savoir davantage sur la proportion des coquilles dans la roche ainsi que la composition chimique de cette dernière.

Le savant commence tout d'abord par dissoudre cette dernière dans de l'acide et constate que le résidu est composé de coquilles agatisées et de sable.

Sorby va également séparer par décantation dans l'eau toute les parties de la roche afin de procéder à des analyses.

Il propose alors une alternative à cette manipulation, l'observation microscopique. Il prépare alors une section fine de la pierre, pas plus fine qu' $1/1000^{\text{e}}$ de pouce. Cette dernière est observée au microscope. Lorsque la section fine est montée dans du baume, la structure interne est plus facilement observable. En effet, le baume a un indice de réfraction proche de celui de l'agate et la lumière passe à travers ces corps comme s'ils étaient en section fine.

Le savant observe que les grains de sable et les corps réniformes sont très étroitement entremêlés. Il va les observer en lumière réfléchie, mais également en lumière transmise. Il va aussi utiliser de la lumière polarisée pour observer les cavités remplies de spath calcaire. Il parle également des extinctions, ce qui signifie usage d'un polariseur combiné à un analyseur.

Cependant, il est difficile de savoir si l'usage des différents éclairages et de la lumière polarisée est appliqué aux poudres ou bien aux sections fines.

Les méthodes utilisées sont similaires à celles précédemment décrites et comprennent la réduction en poudre ou encore l'attaque aux acides. Pour autant, Sorby produit aussi des sections fines. La multiplicité des traitements de la roche que décrit Sorby montre à la fois la pérennité des méthodes d'observations implantées jusqu'alors, mais également leur combinaison avec ce que propose le savant. Sorby les combine alors avec un usage incontournable du microscope où l'instrument permet d'apporter des réponses qu'il n'était pas possible d'obtenir auparavant. En cela, sa pratique est similaire à celles mises en place par Nicol

⁶⁶³ H. C. SORBY, « On the microscopical structure of the Calcareous Grit of the Yorkshire Coast », *The Quarterly Journal of the Geological Society of London*, Volume 7, n°1-2, 1851, p.1-6

et Witham dans les années 1830, à la différence que les observations microscopiques se combinent à d'autres méthodes d'identification.

La combinaison du microscope et des sections fines s'accompagne également dans les articles d'une autre pratique plus à la marge, celle de l'usage de la lumière polarisée. Sorby en 1851 mentionne l'action des minéraux sur la lumière polarisée⁶⁶⁴. Il examine alors en sections fines les chambres remplies de minéraux d'une ammonite à l'aide de lumière polarisée afin d'identifier la nature des minéraux contenus⁶⁶⁵. Au cours de la période 1850-1860, le principal dispositif de polarisation utilisé est le prisme de Nicol. Il est notamment vendu chez Smith & Beck & Beck comme accessoire pour microscope. Il est facile à ajouter sur un microscope n'en possédant pas pour effectuer des observations à l'aide de lumière polarisée-analysée. La question de l'usage de la lumière polarisée par Sorby se pose. A l'époque où Sorby effectue ses observations microscopiques, la lumière polarisée est mobilisée dans le cadre de l'identification de minéraux ou de cristaux. Cette identification passe par la détection d'une simple ou double réfraction, mais aussi par les figures de polarisation, tels que les anneaux colorés que peuvent montrer les objets. Nuttall rappelle d'ailleurs que sur le microscope qu'utilise Sorby, il est possible de monter des prismes polarisateurs de Nicol⁶⁶⁶, transformant ainsi le microscope en microscope polarisant. Il est alors possible d'effectuer des observations microscopiques en utilisant la lumière polarisée.

David Young par exemple mentionne que Sorby observe les roches en section fines au microscope polarisant⁶⁶⁷. John Judd revient également sur l'usage par Sorby de la lumière polarisée parallèle et convergente en 1851⁶⁶⁸. Cet article, sur lequel nous sommes revenus auparavant, montre effectivement qu'en 1851, Sorby, pour observer des roches calcaires utilise de la lumière polarisée. Or, cet usage est circonscrit à l'identification des minéraux contenus dans les cavités. Il est assimilable à l'utilisation de ce que nous avons analysé dans le chapitre précédent sur la mise au jour des caractères optiques à l'aide de la lumière polarisée. Nous retrouvons d'ailleurs un autre exemple de cet usage, dans l'article de 1858, dans lequel Sorby préconise l'utilisation d'un polariseur ou d'un analyseur sur un cristal à forte biréfringence pour ne voir qu'une seule image de la cavité. Il n'y a pas de mention de l'usage de la lumière polarisée dans d'autres de ces articles à propos de l'observation des roches en sections fines entre 1851 et 1861. Cependant, Sorby, comme l'indique Humphries, utilise également un polariscope⁶⁶⁹ et il effectue toujours d'après Humphries une communication en 1877 sur un dispositif pouvant détecter les axes des substances biréfringentes. L'usage de la lumière polarisée dans les observations microscopiques est l'une des préoccupations de Sorby, mais rien n'indique qu'il

⁶⁶⁴ H. C. SORBY, « On the microscopical structure of the Calcareous Grit of the Yorkshire Coast », *The Quarterly Journal of the Geological Society of London*, Volume 7, n°1-2, 1851, p.4

⁶⁶⁵ H. C. SORBY, *ibid.*

⁶⁶⁶ Robert H. NUTTALL, « The first microscope of Henry Clifton Sorby », *Technology and Culture*, Volume 22, n°2, Avril 1981, 1981 p. 278.

⁶⁶⁷ David YOUNG, *Mind over magma. The Story of Igneous Petrology*, Princeton University Press, Princeton, 2003, p. 148.

⁶⁶⁸ John Wesley JUDD, « Henry Clifton Sorby, and the birth of microscopical petrology », *The geological magazine*, Volume 5, n°5, Janvier-Décembre 1908, 1908, p. 196.

⁶⁶⁹ D.W. HUMPHRIES, « The contributions of H.C. Sorby (1826-1908) to microscopy », *The Microscope and crystal front*, Volume 15, n°9, Mars-Juin, 1967, p. 356

solutionne le problème de l'usage de la lumière polarisée pour identifier les systèmes cristallins d'objets dont l'orientation est inconnue.

Les travaux de Sorby montrent que l'usage du microscope tel qu'il a été analysé précédemment est toujours intégré dans les pratiques. Cependant, l'insertion des sections fines de roches comme moyen d'observer autrement les roches conduit les savants à mobiliser d'une autre manière l'instrument. L'usage des sections fines vient renforcer l'usage du microscope dans les pratiques minéralogiques. Cependant, elles contribuent également à en modifier son statut. Le microscope n'est plus un simple instrument d'analyse, il permet d'observer un objet entièrement. Les proportions des éléments sont accessibles plus facilement et les intrusions entre les minéraux sont révélées.

Sorby, un promoteur de l'observation microscopique des roches

Afin d'observer ses sections fines, Sorby utilise systématiquement le microscope, participant à la présence de plus en plus importante de l'instrument dans les pratiques d'observation des roches. Le savant renforce également cet aspect en construisant un discours en faveur de l'usage du microscope en géologie.

Les intitulés des articles de Sorby incluent systématiquement le mot microscope. La construction est similaire et commence par « *Sur la structure microscopique de [...]* »⁶⁷⁰. Cette phrase est suivie soit par le nom d'une roche dans le cas d'étude de roches régionales ou bien par des mots plus généraux tels que roches ou minéraux. Par cette formulation assumée, Sorby décide de mettre en avant la démarche qu'il utilise pour étudier ses objets. Celle-ci comprend la caractérisation de la structure interne, par l'intermédiaire non pas de l'œil, mais du microscope. Le savant met alors en avant dans son titre l'utilisation du microscope et le relie de façon systématique à l'étude des roches qu'il effectue.

Le savant adopte d'autres stratégies de promotion. Ainsi, il généralise sa pratique d'observation à différentes roches. Il lie également l'usage du microscope et des sections fines aux avancées permises en Géologie :

« *Voici donc les principes généraux que je propose d'appliquer dans la recherche de l'origine des minéraux et des roches. Ils seront perçus d'une manière ou d'une autre qu'ils peuvent être amenés à être utilisés dans presque toutes les branches de la géologie physique et chimique* »⁶⁷¹.

Sorby insiste alors sur l'utilité de la pratique microscopique pour ce domaine, peu importe les branches considérées. Le savant compare aussi les différentes techniques dans le but de valoriser celle des sections fines :

⁶⁷⁰ « On the microscopical structure of [...] »

⁶⁷¹ H. C. SORBY, *On the microscopical structure of crystals indicating the origin of minerals and rocks*, Imprimeur Taylor & Francis, Londres, 1858, p.16

« Des marnes plus douces et moins solides peuvent bien sûr être étudiées en les mélangeant à de l'eau ; mais des sections fines de calcaires durs doivent être préparées, et les faits qui peuvent en être tirés sont à bien des égards très supérieurs, dont parmi eux la proportion relative de divers constituants qui peut être déterminée avec une grande précision »⁶⁷².

D'après Sorby, les résultats tirés des observations provenant des sections fines sont plus précis que ceux permis par les autres techniques. La comparaison la plus remarquable reste la conclusion qu'il présente en 1858 dans « On the microscopical structure of crystals indicating the origin of minerals and rocks » (voir Annexe 4). Le savant y évoque tout à la fois les progrès de l'astronomie et de la physiologie qu'ont permis respectivement la lunette et le microscope. Il termine en insistant « *sur le fait qu'il n'existe aucune connexion entre la taille d'un objet et la valeur d'un fait. Par ailleurs, même si les objets que je décris sont de petites tailles, les conclusions qui en sont tirées sont grandes dans les faits.* »⁶⁷³.

Le but est alors de convaincre les géologues les plus sceptiques de l'importance des résultats qu'apporte l'utilisation du microscope par rapport aux méthodes d'observations existantes.

Conclusion

La technique de fabrication des sections fines de roche est notamment développée en Angleterre par Henry C. Sorby, qui publie en 1851 et 1860 au sein de deux articles des explications pour les produire. La technique lui vient de William C. Williamson qui lui-même développe cette pratique d'observation pour étudier les microfossiles contenus dans les roches calcaires. Par la proximité de nature des objets observés, à savoir les roches, Sorby transfère cette technique à d'autres types de roches, les roches volcaniques et métamorphiques. Ce transfert est également favorisé par la pratique régulière de réduction en poudre des échantillons. Ces sections fines sont composées d'un échantillon de roche préalablement aminci et parfois poncée, emprisonnée entre deux morceaux de verre à l'aide d'une résine, du baume du Canada.

Sorby n'est pas le seul à tailler des roches en sections fines, un autre foyer en Allemagne, dans les années 1850 co-existe. Oschatz est à l'origine de la commercialisation à petite échelle de sections fines de roches. L'origine de la technique de fabrication quant à elle ne provient pas des roches calcaires, mais des savoir-faire d'Oschatz dans la fabrication de lame minces histologiques.

L'usage des sections fines dans la pratique d'observation de Sorby s'accompagne de l'usage systématique du microscope. Cette méthode accentue la présence de l'instrument dans les pratiques des savants. En effet, nous l'avons vu dans le chapitre 3, l'usage du microscope pour observer les roches réduites en poudre est une pratique courante à partir des années 1840. Il a

⁶⁷²H. C. SORBY, « On the microscopical structure of some british tertiary and post-tertiary freshwater Marls and Limestones », *The Quartely Journal of the Geological Society of London*, Volume 9, 1853, p. 345.

⁶⁷³H. C. SORBY, « On the microscopical structure of crystals ... », *op.cit.*,p. 500.

pour but d'identifier les composants d'une roche. Paradoxalement, Sorby construit un discours en faveur des observations microscopiques pour les intégrer dans les pratiques scientifiques. Il s'avère que l'utilisation du microscope pour identifier une roche est acceptée, mais ne semble pas l'être lorsqu'il est question de l'origine des roches. Ce qui explique l'insistance de Sorby pour l'utilisation du microscope.

En effet, Sorby se questionne sur l'origine des roches :

« Dans cet article, j'essaierai de prouver que les substances cristallines artificielles et naturelles possèdent suffisamment de caractéristiques structurales pour démontrer si elles ont été déposées à partir d'une solution dans de l'eau ou si la forme cristalline provient d'une fusion ignée [...] »⁶⁷⁴.

L'usage du microscope associé aux sections fines n'est pas une pratique courante et l'historiographie aime à rappeler que le savant se verra répondre à cet usage une citation de Horace Bénédicte de Saussure sur l'impossibilité d'observer une montagne à travers un microscope⁶⁷⁵.

Pour autant, Sorby s'attache à mobiliser cette pratique pour l'ensemble des objets qu'il étudie. « L'étude des plaques minces des roches constitue une branche toute spéciale de la géologie et elle exige des connaissances accessoires »⁶⁷⁶.

L'usage du microscope par Sorby contribue d'après nous à modifier son statut. Ainsi, le microscope n'est plus uniquement un instrument d'analyse pour observer les résultats de réactions chimiques ou encore pour seulement pallier l'insuffisance des sens. Avec Sorby, l'instrument permet d'observer de manière synthétique l'objet étudié en tenant compte des différentes échelles de taille et l'agencement des objets entre eux. C'est par son association avec les sections fines que l'instrument accède à ce statut. Sorby initie cette pratique et avec elle un nouveau statut de l'instrument en minéralogie. Il reste à déterminer la réception de celle-ci chez d'autres savants de son époque pour confirmer ce second statut du microscope.

Ce sera en partie l'objet de notre développement suivant. En effet, certaines publications de Sorby sont présentes dans des journaux allemands dans les années 1860. De plus, par les offres commerciales de Oschatz à propos des sections fines de roches, il existe un terrain favorable à l'utilisation de ces dernières dès 1851 pour effectuer des observations microscopiques en sections fines. Nous allons donc nous intéresser aux développements de l'usage des sections fines de roches conjointement aux observations microscopiques en Allemagne à partir de 1855.

⁶⁷⁴ H.C. SORBY, « On the microscopical structure of crystals, indicating the origin of minerals and rocks », *The Quarterly Journal of the Geological Society of London*, Volume 14, n°1-2, 1858, p. 453.

⁶⁷⁵ David YOUNG, *Mind over magma. The Story of Igneous Petrology*, Princeton University Press, Princeton, 2003, p. 150 et Jacques Léon Robert TOURET, « Le microscope à l'assaut des montagnes », *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie*, Troisième série, Tome 26, n°4, 2012, p. 68.

⁶⁷⁶ Henry C. SORBY, « Sur l'application du microscope à l'étude de la géologie physique », *Bulletin de la Société Géologique de France*, Série 2 Tome 17, années 1859-1860, 1860, p.571.

Conclusion de la seconde partie

Le prisme de Nicol est un prisme polarisateur présenté dans un article en 1829 par son inventeur William Nicol. L'article détaille avec précision la manière de fabriquer le prisme de telle sorte qu'il est possible avec un peu d'habileté d'en fabriquer un par la suite. Notre travail a permis d'identifier les origines des techniques utilisées par Nicol ainsi que le choix des matériaux et du montage. Le prisme est alors un nouvel objet avec des propriétés optiques inédites mais qui s'inscrit dans une lignée technique de prisme polarisateur.

Nicol ne détaille pas uniquement les étapes, il compare le prisme à d'autres dispositifs de polarisation utilisés à l'époque et indique en introduction que le prisme peut servir à ceux qui sont intéressés par l'observation des phénomènes de polarisation des cristaux. Ces deux éléments montrent l'étendue des connaissances de Nicol à propos de la polarisation de la lumière et de son interaction avec les objets cristallisés. En effet, la polarisation de la lumière par réflexion, découverte en 1808 par Malus est un phénomène grandement étudié en ce début du XIX^e siècle. Une multitude de dispositifs visant à polariser la lumière sont utilisés, comme les piles de glaces, les glaces noires ou encore les cristaux pour leur capacité à polariser la lumière. L'une des conséquences de cet usage est le double statut de la lumière polarisée qui est à la fois objet d'étude et outils d'études. Il en est de même pour les minéraux qui sont régulièrement des outils de production de lumière polarisée et des objets d'études. Ce double statut favorise d'après nous, l'appropriation par les minéralogistes, des pratiques liées à la lumière polarisée. L'usage de la lumière polarisée à partir des années 1810 va de pair avec la construction d'une méthode spécifique d'utilisation de la lumière polarisée, qui consiste en l'utilisation de dispositifs de polarisation positionnés en série. Par ailleurs, ces dispositifs en série peuvent prendre deux positions, parallèle ou orthogonale, afin d'observer des objets en lumière polarisée ou en lumière polarisée-analysée. Un vocabulaire spécifique émerge également avec cette pratique, comme l'utilisation de l'adjectif « croisé » par exemple, qui s'applique aux dispositifs de polarisation, dont les plans de polarisation sont perpendiculaires entre eux.

L'utilisation de minéraux spécifiques comme outils pour polariser la lumière suggère que leur capacité polarisatrice serait un caractère discriminant pour identifier les minéraux. Ainsi, l'emploi de caractères optiques incluant la simple ou double réfraction est visible dans les traités de minéralogie à partir des années 1820, sous l'appellation « *Action des minéraux sur la lumière* »⁶⁷⁷. Cette catégorie de caractères regroupe aussi des caractères comme la couleur et la transparence notamment.

Cependant, durant les années 1810-1820, des savants comme Wollaston, Brewster ou encore Biot constatent que grâce à la lumière polarisée, il est possible d'observer d'autres caractères

⁶⁷⁷ Alexandre BRONGNIART, *Introduction à la minéralogie ou exposé des principes de cette science*. Article inséré dans le tome 31 du Dictionnaire des sciences naturelles au mot Minéralogie F.G. Levrault, libraire-éditeur, Paris, 1825, p. 42.

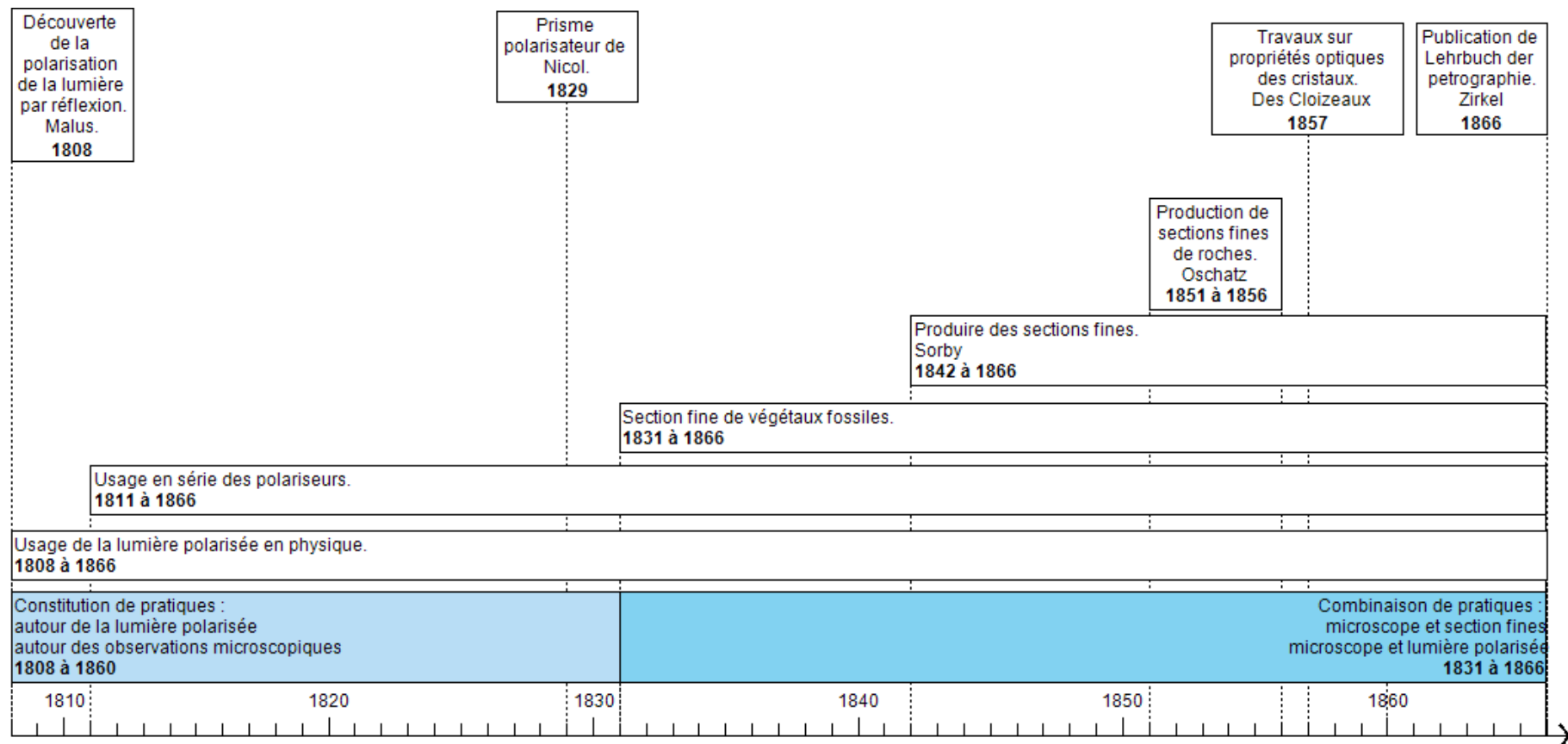
liés à la structure cristalline des objets. Ainsi, la présence de cercles colorés, celle d'un seul axe ou de deux ou encore l'allongement positif ou négatif sont certains de ces nouveaux caractères.

Dans le prolongement de ces travaux, Des Cloizeaux dans les années 1860 construit une méthode de détermination de ces caractères optiques. Elle systématise la détection de ces caractères tout en les liant à la détermination de la structure cristalline et par conséquent à l'identification des cristaux. Cette méthode inclut l'usage du microscope, des cristaux taillés en plaques minces et des dispositifs de polarisation. Des Cloizeaux reprend d'ailleurs les pratiques liées à l'usage de la lumière polarisée en utilisant notamment les dispositifs de polarisation en série. Par cette méthode, Des Cloizeaux donne une nouvelle importance à la catégorie des caractères optiques au sein de la méthode minéralogique, ce qui participe à son individualisation de la masse des autres caractères au même titre que les caractères cristallographiques qui par leur importance sont regroupés dans une catégorie individuelle associée à une méthode d'identification cristallographique.

Par ailleurs, Des Cloizeaux utilise le prisme de Nicol comme dispositif de polarisation. Son cas montre que le prisme s'insère comme outil de production de lumière polarisée dans les pratiques liées à l'usage de la lumière polarisée. Selon les aires géographiques considérées, un décalage de cinq à dix ans dans l'usage de ce prisme par les savants est perceptible. Il peut être imputé aux mécanismes de circulations ou encore aux usages en vigueur dans chaque pays. Par ailleurs, la présence du prisme de Nicol dans des catalogues de fabricants témoigne à la fois de la circulation de l'objet mais également, indirectement, de son usage par les savants. Ce sont à la fois ses propriétés optiques particulières –de ne garder qu'un seul rayon extraordinaire- et l'existence d'une demande en dispositifs de polarisation, qui expliquent cette insertion rapide et son usage important par les savants près de dix ans après son invention présumée.

Les travaux de Sorby entre 1850 et 1860 sont un autre exemple d'appropriation de pratiques. En effet, Sorby apprend de Williamson, la technique de fabrication des sections fines pour produire des sections fines de roches calcaires. Depuis la publication de l'ouvrage de Witham en 1831, l'étude d'objets taillés en sections fines est de plus en plus répandue en Grande-Bretagne, conjuguant l'utilisation de sections fines avec celle du microscope. Williamson s'inscrit dans cette méthode et étudie les roches calcaires de cette manière. Sorby commence également par des roches calcaires puis va appliquer cette méthode d'observation à des objets proches mais jusque-là rarement observés ainsi, à savoir les roches volcaniques et métamorphiques. Il inclut alors dans la méthode de détermination des roches de l'époque cette nouvelle pratique d'observation microscopique par transparence. Ce type d'observations que met en place Sorby et qu'il tente par un discours laudatif de généraliser reste de l'ordre de la pratique. Cependant, Sorby n'est pas le seul à tailler des sections fines de roches. L'Angleterre possède une tradition fortement présente de production de sections fines de végétaux fossiles, ce qui est moins le cas du second foyer de production identifié, l'Allemagne. Oschatz grâce à son expérience de préparateur de lames minces histologiques, fabrique des sections fines de roches qu'il expose et propose à la vente. Ce second foyer allemand, tout comme celui de l'Angleterre pose la question de la reprise de la pratique d'observation que suggère cet usage des sections fines de roches et de sa contribution à la constitution d'une méthode de détermination des roches.

Nous allons maintenant examiner de quelle manière cette pratique d'observation microscopique combinant microscope et sections fines de roche se transforme en méthode dans les années 1870 sous l'impulsion de travaux allemands, puis de son évolution vers la constitution d'un domaine, nommé pétrographie microscopique dans les années 1890.



Frise 5 : Représentation des pratiques savants autour des sections fines, du microscope et de la lumière polarisée (1808-1866).

Troisième partie : Vers la constitution du domaine de la pétrographie microscopique (1855-1895)

La pétrographie microscopique est définie comme l'observation des roches taillées en sections fines à l'aide d'un microscope en lumière polarisée et polarisée-analysée. En tenant compte des éléments constitutifs de cette dernière, la méthode mise en place par Des Cloizeaux comprend les trois composantes de cette définition. En effet, Des Cloizeaux utilise un microscope, des dispositifs de polarisation et observe des cristaux taillés en sections fines en lumière polarisée et polarisée-analysée. La différence entre la méthode de Des Cloizeaux et la pétrographie microscopique se situe dans l'objet observé. Des Cloizeaux étudie les cristaux en plaques minces, tandis que dans le cadre de la pétrographie microscopique, il s'agit de roches. La pratique de Sorby est également proche de notre définition de la pétrographie microscopique. Il utilise un microscope, observe des roches taillées en sections fines et utilise parfois la lumière polarisée.

D'après Nuttal, Sorby est un précurseur de la pétrographie microscopique et sa pratique microscopique augure les développements pétrographiques allemands. Or, bien que Sorby construise un discours en faveur de l'usage du microscope pour conduire des observations sur des roches, nous avons établi qu'il s'agit davantage d'une pratique d'observation, puisqu'il ne propose pas de systématisation des gestes à conduire ou des éléments à notifier ou remarquer dans l'observation des roches. Cependant, l'association des deux objets est indissociable et constitue une pratique que Sorby souhaite voir davantage utilisée par ses contemporains. De plus, nous avons également mis en avant le fait qu'il existe un second foyer de production de sections fines de roches en Allemagne, à l'initiative d'Oschatz. La pratique d'observation de Sorby et l'existence de ce second foyer posent la question de la reprise par d'autres savants que Sorby et Oschatz de cette combinaison sections fines de roches et microscope. Reste-t-elle au stade de pratique ? Son usage va-t-il conduire à la constitution d'une méthode ?

Ainsi, tout en nous basant sur l'historiographie qui lie certains des travaux de savants allemands à la constitution de la pétrographie microscopique, nous essaierons de discuter ce point de vue de l'historiographie dominante qui voit d'un point de vue diffusionniste le développement de la pétrographie microscopique.

Il s'agit alors de s'interroger sur le passage d'une pratique d'observation microscopique mobilisant les sections fines à la mise en place d'une méthode de pétrographie microscopique. En cela, nous nous demandons si les articles de Oschatz et ses propositions de ventes de sections fines de roches modifient les pratiques microscopiques. Cette question de l'impact est aussi discutée en regard de la réception des travaux de Sorby chez les savants. Nous analyserons alors les pratiques des savants en nous intéressant aux instruments qu'ils utilisent et aux limites qu'ils dénoncent. Par ailleurs, nous souhaitons revenir et analyser la question de la publication de

Zirkel en 1866 de son *Lehrbuch der petrographie*. Cet ouvrage est souvent considéré comme l'un des ouvrages fondateurs de la pétrographie microscopique. D'après nous, il est une étape dans un processus de construction d'une méthode de pétrographie microscopique. D'autant qu'en 1873, d'après John Judd, « [...] *la pétrographie microscopique est considérée comme établie en tant que département des sciences géologiques par la publication de deux très importants travaux* ⁶⁷⁸ ». Il fait référence à deux publications, l'une de Zirkel et l'autre de Rosenbusch et estime qu'elles sont déterminantes dans la mise en place de la pétrographie microscopique. Ainsi, nous considérons que la constitution d'une pétrographie microscopique se fait par étapes sur une période entre 1855 et 1873. Elle est rendue visible par l'approche des pratiques des savants et nous permet de constituer une chronologie plus affinée que celle proposée par l'historiographie.

Cependant, cette analyse de la constitution d'une méthode pétrographique inclut également de s'intéresser à son utilisation par d'autres savants que les allemands. En effet, l'influence des travaux pétrographiques allemands est-elle l'unique source dans l'utilisation des observations microscopiques ? Nous posons alors la question dans la réception des travaux allemands du contexte historique des pratiques microscopiques de ces pays, notamment pour la France, mais également pour l'Angleterre.

Nous avons divisé cette troisième partie de thèse en trois chapitres dont le chapitre 7 analyse la mise en place d'une méthode de pétrographie microscopique entre 1866 et 1873. Il s'agit alors en analysant les pratiques des savants allemands à partir de leur publication d'établir les étapes de mise en place de cette méthode et de les replacer dans le temps. A la suite, le chapitre 8 aborde quant à lui la question de la réception de cette méthode pétrographique et sur l'influence des pratiques d'observations préexistantes notamment en France et en Angleterre. Pour terminer, le chapitre 9 décrit quant à lui, les mécanismes perceptibles imputés à l'adoption de la méthode pétrographique à partir des années 1880. Ces mécanismes impliquent d'analyser les références mobilisées par les savants ainsi que la visibilité de l'ensemble technique pétrographique dans les publications. Nous y aborderons également la question de la représentation des observations microscopiques à travers l'étude des illustrations insérées dans les imprimés liés aux observations microscopiques en sections fines.

Afin de répondre aux questions suscitées par la mise en place de cette méthode pétrographique, nous avons analysé des sources allemandes, notamment les traités qu'aborde David Young dans *Mind over Magma*⁶⁷⁹. Nous avons procédé à leur analyse, non plus selon des questions relatives à la construction des savoirs, mais bien en fonction des pratiques et des instruments utilisés par les savants. Il s'agit alors de nous concentrer sur certains aspects comme l'utilisation des sections fines, la description ou non du processus de fabrication, l'usage du microscope et celui de la lumière polarisée. Etant donné la période, des comparaisons du contenu de ces traités sont effectuées et nous relevons également les commentaires des auteurs à propos de ces différentes techniques. Selon cette méthode, nous avons alors analysé dans un

⁶⁷⁸ John Wesley JUDD, « Henry Clifton Sorby, and the birth of microscopical petrology », *The geological magazine*, Volume 5, n°5, Janvier-Décembre 1908, 1908, p. 200.

⁶⁷⁹ David YOUNG, *Mind over magma.*, *op.cit.*, p.151-159

premier temps les traités de Zirkel, Rosenbusch et Vogelsang entre 1866 et 1873, puis les traités du triumvirat français, composé de Fouqué, Michel-Lévy et Lacroix entre 1879 et 1890.

Nous complétons ce corpus par un ensemble d'articles publiés par ces savants ainsi que d'autres dont l'appartenance au domaine de la pétrographie microscopique est attestée par le journal. Ces articles proviennent des *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, du *Bulletin de la Société Géologique de France* ainsi que du *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde* et du *Annalen der Physik und chemie*. Ces articles font alors l'objet d'un travail d'identification des pratiques. Ce dernier comprend de relever l'usage des sections fines, du prisme de Nicol ou d'un autre dispositif de polarisation et du microscope. Nous nous intéressons également à la manière dont les observations sont conduites, aux étapes mentionnées par les savants et les caractères utilisés pour ces identifications.

Par ailleurs, l'étude des pratiques liées à l'observation microscopique des roches est complétée par le dépouillement des archives du Fonds Fouqué afin de confronter le contenu des archives avec celui présenté dans les traités ou les articles.

Chapitre 7 : Construction d'une méthode de pétrographie microscopique (1855-1873)

Ce premier chapitre étudie les pratiques d'observations microscopiques des roches de savants allemands entre 1850 et 1873. Après la publication des travaux de Sorby, l'observation des roches taillées en sections fines pour être observées au microscope devient un moyen intéressant pour accéder à des données auparavant peu accessibles. Certains savants allemands utilisent cette pratique d'observation avant que les travaux de Sorby ne soient publiés témoignant ainsi de l'intérêt de celle-ci pour l'observation des roches. En 1866, Ferdinand Zirkel (1838-1912) publie un traité le *Lehrbuch der Petrographie*. Cet ouvrage est souvent considéré comme l'un des ouvrages fondateurs de la pétrographie microscopique. Pourtant, comme le précise David Young⁶⁸⁰, l'ouvrage que publie Zirkel en 1866 ne possède aucune illustration ou diagramme explicatif. Cette approche rend l'ensemble assez austère et ne contribue pas, d'après Young, à mobiliser un fort intérêt pour ce type d'observations auprès de la communauté. Ce premier argument remet en cause l'importance de cet unique ouvrage dans l'histoire de la pétrographie microscopique. Pourtant, cet argument n'explique pas le paradoxe lié au développement des observations microscopiques avant et après cette parution. D'après nous, le développement de la pétrographie microscopique définie comme l'observation et la description des roches en sections fines à l'aide d'un microscope en lumière polarisée-analysée, n'est pas une conséquence directe de la publication de 1866 de Zirkel. Elle provient d'un processus lent, de l'assemblage progressif de pratiques différentes, dont certaines combinaisons sont visibles dans les années 1860, comme c'est le cas avec Des Cloizeaux ou encore avec Sorby. Nous supposons que la période charnière se situe entre 1866 et 1873, deux dates de publications de traités qui dans un premier temps instituent un nouveau sens à la pratique pétrographique et dans un second temps, constituent une base méthodologique établie à cette dernière.

Pour cela, nous avons étudié des articles allemands publiés durant cette période. Nous avons étendu notre corpus à l'étude de traités. Celui de Zirkel en 1866 bien évidemment mais aussi celui de Vogelsang publié en 1867, dont la proximité de parution et le contenu participe à la diffusion de l'usage des sections fines. Deux autres traités viennent compléter ce corpus, l'un par Zirkel et l'autre par Rosenbusch, tous deux publiés en 1873. Nous positionnons alors l'aspect instrumental et technique au centre de notre analyse de ces sources afin d'identifier ce passage vers la constitution d'une méthode. En ce sens, nous nous distinguons de

⁶⁸⁰David YOUNG, *Mind over magma. The Story of Igneous Petrology*, Princeton University Press, Princeton, 2003, p.153.

l'historiographie dont les travaux de David Young⁶⁸¹ ou encore ceux de Jacques Touret⁶⁸² se consacrent principalement à la construction des savoirs.

Ainsi, dans un premier temps, nous analyserons les traités de Zirkel (1866) et Vogelsang (1867) pour montrer qu'ils décrivent des pratiques d'observations microscopiques encore en marge par rapport à ce qui est identifié dans les articles des années 1860. Ils participent aussi à la délimitation d'un domaine de recherches, la pétrographie.

Par la suite, nous nous intéresserons à l'impact de ces traités sur les pratiques savantes entre 1866 et 1873. Les deux autres parutions de 1873 contribuent à la fixation d'une méthode basée sur l'usage d'un ensemble technique ainsi que l'établissement de la pétrographie microscopique comme une méthode.

I. Evolution des pratiques d'observations des roches

Dans le chapitre précédent, nous avons montré que les travaux de Sorby génèrent un usage différent du microscope. Deux utilisations du microscope sont alors possibles et cohabitent ensemble. Le premier pour observer des poudres de roches et les résultats d'analyse chimique tandis que le second se combine aux sections fines. Cette seconde pratique est-elle uniquement circonscrite à Sorby et l'Angleterre ? Quelles sont les pratiques allemandes d'observation des roches dans les années 1850 ? Les publications de Sorby dans les années 1860 en Allemagne font-elles évoluer ces pratiques ou existe-t-il d'autres facteurs ? En effet, Sorby et Zirkel se rencontrent en 1862 et discutent de l'usage combiné du microscope et des sections fines de roches. Zirkel publie d'ailleurs des articles à ce propos et un traité en 1866 qu'il intitule *Lehrbuch der Petrographie*. Pour autant, Zirkel n'est pas seul puisqu'un an plus tard, Vogelsang publie également *Philosophie der Geologie* dont le contenu est similaire. Mais, il nous faut également tenir compte du contexte de l'époque, dans lequel Oschatz et d'autres que lui utilisent des sections fines de roches. Nous nous intéresserons donc à l'identification des pratiques d'observation des roches à partir de 1855 pour les mettre en perspective avec celles mises en avant dans les deux traités publiés en 1866 et 1867. Nous revenons également sur les pratiques décrites dans ces deux traités et sur le processus de délimitation d'un nouveau domaine, la pétrographie que met en œuvre Zirkel dans son traité.

⁶⁸¹ David YOUNG, *Mind over magma*, *op.cit.*

⁶⁸² Jacques L. R. TOURET, « De la pétrographie à la pétrologie », *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie*, Troisième série, Tome 20, n°8, 2006, p.167-184 et Jacques L. R. TOURET « Le microscope polarisant à l'assaut des montagnes », *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie*, Troisième série, Tome 26, n°4, 2012, p. 67-80.

1. Deux savants, deux traités : une même pratique d'observation

A un an d'intervalle, Ferdinand Zirkel et Hermann Vogelsang publient chacun un traité ayant pour sujet l'étude des roches volcaniques et métamorphiques. Il s'agit alors de se demander quelles pratiques d'observation ces deux auteurs mettent en avant dans leurs ouvrages.

Zirkel et Vogelsang : deux microscopistes

Ferdinand Zirkel est le fils d'un professeur de mathématiques au gymnasium à Bonn. Il intègre l'Université de Bonn en 1855 afin d'étudier la géologie, la minéralogie et la chimie dans le but d'effectuer une carrière dans la géologie minière⁶⁸³. Il y suit notamment les enseignements de C. G. Bischof, Nöggerath et Vom Rath. Près de cinq ans plus tard, Zirkel effectue un voyage géologique. Il visite les îles Faroe, l'Islande, l'Angleterre ainsi que l'Ecosse. Zirkel y prélève de nombreux échantillons de roches volcaniques islandaises sur lesquelles il base son travail de doctorat. Il obtient son diplôme en 1861, dont le titre de thèse est *De geognostica Islandiae constitutione observationes*. D'après David Young, Zirkel publie un article en 1859 à propos des roches trachytiques d'Eifel⁶⁸⁴ dont la méthode est fondée sur l'usage du microscope. Cependant, toujours d'après David Young⁶⁸⁵, le savant ne semble pas si enthousiasmé que cela par cet usage des sections fines. Mais sa rencontre avec Sorby en 1862 modifie l'intérêt du savant pour cette pratique d'observation⁶⁸⁶.

Zirkel à cette époque travaille au Reichsanstalt⁶⁸⁷, dans le laboratoire du géologue Wilhelm Karl von Haidinger (1795-1871) à Vienne⁶⁸⁸. Il y passe deux ans et suite à sa rencontre avec Sorby, il se met à parfaire sa technique et à produire ses propres sections fines de roches. En 1863, Zirkel publie un article, dans lequel il met en pratique la technique des sections fines sur 39 échantillons, qui s'intitule *Mikroskopische Gesteinsstudien und Mineralien*⁶⁸⁹. Il est ensuite nommé en tant que professeur associé à Lemberg en 1863 et devient professeur titulaire en 1865. Un an plus tard, il publie son premier ouvrage *Lehrbuch der Petrographie* en deux volumes sur lequel nous reviendrons plus en détails. Zirkel obtient par la suite un poste à Kiel

⁶⁸³ Charles Coulston GILLESPIE (ed), *Dictionary of scientific biography*, Charles Coulston (ed), Charles scribner's sons, Volume 14, New York, p.625.

⁶⁸⁴ Ferdinand ZIRKEL, « Die trachytischen Gesteine der Eifel », *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft*, Volume 11, 1859, p.507-540.

⁶⁸⁵ David YOUNG, *Mind over magma. The Story of Igneous Petrology*, Princeton University Press, Princeton, 2003, p. 151.

⁶⁸⁶ Jacques L. R. TOURET, « Le microscope polarisant à l'assaut des montagnes », *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie*, Troisième série, Tome 26, n°4, 2012, p.76.

⁶⁸⁷ Le Reichsanstalt est un institut d'état, il s'agirait vraisemblablement de l'Institut impérial de géologie au sein duquel Haidinger est directeur de 1849 à 1866.

⁶⁸⁸ David YOUNG, *Mind over magma. The Story of Igneous Petrology*, Princeton University Press, Princeton, 2003, p. 151.

⁶⁸⁹ Ferdinand ZIRKEL, « Mikroskopische Gesteinsstudien », *Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften Wien*, Volume 47, Tome 1-5, 1863, p. 226-270

en 1868 comme professeur de minéralogie et de géologie puis deux ans plus tard, il succède à Naumann, à Leipzig en 1870. La même année, le savant publie un ouvrage⁶⁹⁰ qu'il dédie à Sorby dans lequel il utilise à nouveau la pratique microscopique de ce dernier. Trois ans plus tard, Zirkel publie un autre ouvrage, dans le même registre, qui s'intitule *Die mikroskopische Beschaffenheit der Mineralien und Gesteine*⁶⁹¹. Clarence King (1842-1901)⁶⁹² fait appel à l'expertise de Zirkel en microscopie dans le cadre de l'expédition du 40^{ème} parallèle. Il voyage aux Etats-Unis en 1874 pour examiner la collection minéralogique constituée par l'expédition du 40^{ème} parallèle, mais également en Inde entre 1894-95. Zirkel publie un mémoire conséquent en 1876, lié à l'expédition du 40^{ème} parallèle, qui s'intitule *Microscopical Petrography*. En 1893, Zirkel publie une seconde édition de son *Lehrbuch*, considérablement augmentée et proposée en trois volumes. Zirkel est également nommé recteur de l'université de Leipzig. Il est d'ailleurs nommé à la *Royal Society of London* comme membre étranger et également membre honoraire de la *Mineralogical Society*.

David Young dans *Mind over Magma* parle du triumvirat allemand⁶⁹³ lorsqu'il aborde la pétrographie microscopique. Zirkel en fait partie de même que Herman Vogelsang (1838-1874) et Harry Rosenbusch (1836-1914), sur lequel nous reviendrons par la suite.

Né en 1838, Herman Vogelsang obtient son « Abitur » en 1856 au gymnasium de Bonn pour se consacrer à une carrière d'ingénieur des mines, notamment en raison du contexte économique de la région de Bonn et de ses nombreuses mines de fer et de cuivre. Par la suite, il entame un travail de thèse l'enjoignant à voyager. Il visite en particulier la Corse avec l'objectif d'étudier la diorite orbiculaire découverte sur l'île et nommée par les Français « napoléonite ». Il se demande d'ailleurs si l'appellation est justifiée car il s'agirait soit d'une nouvelle roche, soit d'une texture spécifique, qui dans ce cas ne nécessite pas de nouvelle appellation. Vogelsang en route pour la Corse, s'arrête à Paris en 1862 où il rencontre notamment Elie de Beaumont. D'après Jacques Touret, en 1862, Vogelsang rencontre Zirkel dont il devient un ami proche, il se marie avec l'une de ses soeurs. Par ailleurs, toujours d'après Touret, Zirkel, Rosenbusch et Vogelsang lors d'un de leurs nombreux voyages géologiques, rencontrent Sorby qui voyageait alors avec sa mère sur le Rhin. Vogelsang visite par la suite Sorby à Sheffield afin d'apprendre la manière de fabriquer des sections fines de roches, toujours d'après Touret⁶⁹⁴. Il n'est pas fait mention dans l'ouvrage de David Young d'une rencontre de Vogelsang et de Sorby en 1862, ni même d'une visite de Vogelsang à Sorby en Angleterre. De plus, d'autres articles à propos de Sorby ne mentionnent pas non plus de contact entre les deux savants⁶⁹⁵.

⁶⁹⁰ Ferdinand ZIRKEL, *Untersuchungen über die mikroskopische Zusammensetzung und Struktur der Basaltgesteine*, Adolph Marcus, Bonn, 1870.

⁶⁹¹ Ferdinand ZIRKEL, *Die mikroskopische Beschaffenheit der Mineralien und Gesteine*, Wilhelm Engelmann, Leipzig, 1873, 502 pages.

⁶⁹² Géologue américain qui a notamment organisé la *Geological Exploration of the Forthieth Parallel* entre 1867 et 1872.

⁶⁹³ David YOUNG, *Mind over magma. The Story of Igneous Petrology*, Princeton University Press, Princeton, 2003, p. 154.

⁶⁹⁴ Jacques Léon Robert TOURET, « Hermann Vogelsang (1838-1874 'Européen avant la lettre' », p. 92.

⁶⁹⁵ John Weasley JUDD, « Henry Clifton Sorby, and the birth of microscopical petrology », *The geological magazine*, Volume 5, Janvier-Décembre 1908, 1908, p. 193-204 et D. W. HUMPHRIES, « The contributions of H.C.

La nature des échanges entre les deux savants n'est que peu présentée dans les récits biographiques sur les deux savants. Vogelsang épouse la sœur de Zirkel, Antonia Francisca⁶⁹⁶ suggérant alors que les deux hommes entretiennent des contacts réguliers. Il est donc envisageable de penser que Vogelsang apprend au contact de Zirkel sa technique de préparation des sections fines. Il est également possible que le savant, comme l'avance Touret, ait voyagé en Angleterre pour apprendre cette technique, tout comme il a pu lire et s'exercer à partir des articles de Sorby. L'absence de sources à notre disposition ne nous permet pas de trancher en faveur de l'une ou l'autre de ces hypothèses quant à l'origine de l'apprentissage par Vogelsang de cette technique de fabrication. Pour autant, le savant se constitue une collection assez importante de sections fines de roches, qu'il ne cesse d'enrichir tout au long de sa carrière.

En 1863, Vogelsang soutient sa thèse⁶⁹⁷ et va également voyager dans la région d'Eiffel afin de répondre à la question suivante posée par la *Hollandsche Maatschappij der Wetenschappen*⁶⁹⁸ :

« Dans la contrée montagneuse de la rive gauche du Rhin, connue sous le nom de l'Eiffel, on remarque plusieurs montagnes côniques. La Société désire voir décider par des recherches exactes faites sur les lieux mêmes, si l'on y trouve des traces de soulèvement des roches anciennes, ou bien si ces montagnes ne sont que des cônes d'éruptions ».

En effet, la question du soulèvement des montagnes est une thèse soutenue par des géologues tels que Alexander Von Humboldt (1769-1859) et Elie de Beaumont pour expliquer leur formation. Cependant un autre argument fait face à cette thèse, celui de l'édification des cônes volcaniques par le dépôt des cendres que propose notamment William Hamilton (1731-1803) suite à ses observations en Italie. Le cas de la région d'Eifel est l'occasion de tester ces deux thèses. Vogelsang répond à cette question à travers un ouvrage « *Die Vulkane der Eifel* »⁶⁹⁹ qui lui permet de remporter le prix de la *Hollandsche Maatschappij der Wetenschappen* et d'être publié. En 1864, il est nommé professeur de minéralogie et de pétrologie de l'Ecole polytechnique de Delft. Au sein de cette structure, Vogelsang constitue un groupe de techniciens qui s'attachent à produire de nombreuses sections fines de roches et ainsi étendre sa collection.

Vogelsang va également se concentrer sur un autre sujet de recherche, dans la lignée de celui de Sorby, à savoir l'étude des inclusions fluidiques. Il est assisté régulièrement dans ce travail par Théodore Geisler que Vogelsang ajoute comme co-auteur dans certains de ses articles.

Sorby (1826-1908) to microscopy », *The Microscope and crystal front*, Volume 15, n°9, Mars-Juin, 1967, p. 351-362.

⁶⁹⁶ Il a d'ailleurs deux enfants avec elle Karl Vogelsang et Kurde Volgelsang.

⁶⁹⁷ Elle a pour titre « Quomodo venarum spatia primum formatat atque deinde mutat sint », d'après Jacques Léon Robert Touret, « Hermann Vogelsang (1838-1874 'Européen avant la lettre' », p. 93.

⁶⁹⁸ La *Hollandsche Maatschappij der Wetenschappen* est une société de sciences néerlandaise créée en 1752 à Haarlem.

⁶⁹⁹ Herman VOGELSANG, *Die Vulkane der Eifel in ihrer Bildungsweise erläutert*, Die erben Losssjes, Haarlem, 1864, 76 pages.

Jacques Touret dans son article sur Vogelsang⁷⁰⁰ revient sur l'historique des travaux à propos des inclusions fluidiques afin de positionner et introduire les travaux de Vogelsang à ce sujet. Il expose également les expériences conduites par le savant, pour déterminer leur composition chimique. Les résultats de ces travaux sont publiés par Vogelsang sous la forme d'un article dans les *Annalen der Physik*⁷⁰¹. En 1867, Vogelsang publie un ouvrage qui s'intitule *Philosophie der Geologie* sur lequel nous reviendrons plus en détails par la suite, notamment pour le contenu méthodologique sur les observations microscopiques qu'y développe le savant. La même année, il est élu membre de la *Hollandsche Maatschappij* et un an plus tard il devient membre de la *Koninklijke Nederlandsche Academie van Wetenschappen* d'Amsterdam. Un autre sujet que celui des inclusions fluidiques intéresse Vogelsang, celui de la forme et du mode de formation des cristallites dans les roches. C'est une orientation de recherches que le savant n'a pas pu pleinement développer et dont les résultats, sous la forme d'un ouvrage, ne seront publiés qu'à titre posthume⁷⁰².

Deux ouvrages, un objet commun : l'étude des roches

Zirkel publie en 1866 *Lehrbuch der petrographie*⁷⁰³. De nombreux éléments tendent à montrer que celui-ci est un ouvrage généraliste qui vise à faire une synthèse des travaux qu'il a mené sur les roches. Le traité introduit également une nouvelle pratique systématique d'observation des roches, à savoir l'utilisation du microscope et des sections fines de roches.

Zirkel, au sein de son ouvrage, reprend les caractéristiques d'identification de ces contemporains à propos des roches. Par exemple, les roches sont classées en divers types selon leur cristallinité et si elles sont composées d'une seule espèce minérale (roche simple) ou de plusieurs (roches composées). Il reprend aussi les notions d'éléments essentiels et accessoires, visibles dans d'autres traités.

Zirkel traite également de l'observation des roches et de l'usage du microscope. Il justifie l'introduction de l'instrument par les difficultés induites dans l'étude des roches cryptomères et celles à grains fins⁷⁰⁴. En effet, les éléments de ces roches ne sont pas ou peu visibles à l'œil nu ou à l'aide d'instrument faiblement grossissant et nécessitent d'utiliser un microscope pour une étude plus complète⁷⁰⁵. Ainsi, Zirkel discourt sur les difficultés d'identifier les roches dites cryptomères. Ces propos sous-entendent que les savants étudiant les roches ont besoin d'autres méthodes pour pouvoir les distinguer les unes des autres. Zirkel ouvre à la fois un chantier de

⁷⁰⁰ Jacques Léon Robert TOURET, « Hermann Vogelsang (1838-1874) 'Européen avant la lettre' », dans TOURET Jacques Léon Robert et VISSER Robert P. W., (eds.) *Dutch pioneers of the earth sciences*, Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Amsterdam, 2004, p. 87-108

⁷⁰¹ Herman VOGELSANG et H. GEIFSLER, « Ueber die Natur der Flüssigkeitseinschlüsse in gewissen Mineralien », *Annalen der Physik und chemie*, Tome 213, série 2 tome 137, 1869, p.56-75.

⁷⁰² Herman VOGELSANG, *Die Krystalliten*, Verlag Von Max Cohen & Sohn, Bonn, 1875, 175 pages et planches.

⁷⁰³ Ferdinand ZIRKEL, *Lehrbuch der petrographie*, Drock von Carl Georgi, Bonn, 1866, 607 pages.

⁷⁰⁴ Ferdinand ZIRKEL, *Lehrbuch der petrographie, op.cit.*, p.8.

⁷⁰⁵ Nous reviendrons plus en détails sur la méthode et les techniques que Zirkel mobilise en p. 186.

recherches en mettant en avant ce manque de travaux de recherches sur l'identification de ces roches particulières, mais aussi un défaut de méthode pour y répondre de manière adéquate.

Zirkel aborde également dans son ouvrage les composants minéralogiques des roches⁷⁰⁶. Son but est alors de décrire de manière exhaustive les conditions chimiques, cristallographiques et physiques de chaque élément entrant dans la composition d'une roche. Il reprend alors l'ensemble des caractères minéralogiques pour décrire chaque minéral. Par exemple, pour le quartz, Zirkel décrit le système cristallin, sa fusibilité, sa fracture, sa couleur mais aussi sa composition et l'action des acides sur lui. L'auteur après avoir décrit ses caractères, s'attache à décrire la présence de l'élément dans les roches. C'est un parti pris qui ne se retrouve pas traditionnellement dans les traités de minéralogie. La description du minéral non plus pour lui-même, mais pour en identifier la présence dans une roche est un apport de Zirkel et montre combien l'ouvrage s'inscrit dans une perspective d'étude minéralogique des roches. Zirkel aborde également les textures des roches, un élément important de détermination d'après lui. La texture est définie par la taille, la forme, l'emplacement et les liens qui existent entre les différents éléments de la roche⁷⁰⁷. Il explique que la texture d'une roche n'est pas dépendante de sa composition minéralogique et chimique. Zirkel s'attache alors à montrer par des observations microscopiques que la texture dépend davantage des conditions de formation de la roche. L'auteur liste alors les différentes textures identifiées comme par exemple la texture granuleuse, schisteuse ou encore fibreuse. Zirkel revient également dans un autre développement sur l'examen des inclusions fluidiques des minéraux où il s'appuie sur les travaux de Sorby.

Un an après le *Lerhbuch der petrographie* de Zirkel, Vogelsang propose un ouvrage *Philosophie der Geologie und Mikroskopische gesteinsstudien*⁷⁰⁸ qui met également en avant l'usage du microscope pour étudier les roches. Bien que publié à un an d'intervalle, les deux ouvrages possèdent des points communs qu'il convient d'éclairer. Ces éléments contribuent à étayer le fait que la période de 1866-1873 constitue un moment de délimitation d'objets de recherche et de méthodes relatives à l'usage du microscope, des sections fines et de lumière polarisée pour étudier les roches.

Dans son ouvrage, Vogelsang traite de la question des inclusions fluidiques et de leur nature chimique, intérêt qu'il partage avec Sorby. D'ailleurs, Jacques Touret précise que Vogelsang dédicace son livre aux géologues anglais⁷⁰⁹, montrant ainsi l'attachement du savant pour les travaux de Sorby. Le livre aborde également des questions à propos de la géologie et des sciences qui y sont rattachées. De plus, Vogelsang propose un point historique sur le domaine qu'il termine en traitant de la géologie moderne et des études microscopiques des roches⁷¹⁰. Cet historique retrace les théories d'Aristote jusqu'à l'époque présentes. Il nomme de nombreux

⁷⁰⁶ Ferdinand ZIRKEL, *Lehrbuch der petrographie*, op.cit., p.14-17.

⁷⁰⁷ Ferdinand ZIRKEL, *Lehrbuch der petrographie*, Volume 1, Adolph Marcus, Bonn, 1866, p.56

⁷⁰⁸ Herman VOGELSANG, *Philosophie der Geologie und Mikroskopische gesteinsstudien*, Verlag von Max Cohen & sohn, Bonn, 1867, 229 pages et planches.

⁷⁰⁹ Jacques Léon Robert TOURET, « Hermann Vogelsang (1838-1874) 'Européen avant la lettre' », dans Jacques Léon Robert TOURET et Robert P. W. VISSER (eds.), *Dutch pioneers of the earth sciences*, Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Amsterdam, 2004, p.97.

⁷¹⁰ Herman VOGELSANG, *Philosophie der Geologie*, op.cit., p.130.

savants comme Werner, Hutton, Hall, Smith mais aussi Leopold Von Buch, Humboldt ou encore Lyell. Cette succession de savants contribue à ancrer dans un récit sur le temps long, des figures savantes dont les travaux en géologie sont alors considérés comme importants pour le progrès de cette science.

Dans la troisième partie de son ouvrage, qui porte sur la géologie moderne et l'étude des roches, Vogelsang comme Zirkel, mentionne l'usage du microscope. D'après Vogelsang, l'étude des roches au microscope ainsi que le développement de la pétrographie sont très profitables à la géognosie. Les deux objets représentatifs de cette pratique sont d'ailleurs pour le savant la meule et le microscope⁷¹¹. L'auteur positionne ce type de pratiques dans un corpus de recherches menées par Sorby et Zirkel dont il cite l'article de 1863. D'après Vogelsang, la pétrographie doit à la fois étudier le plus exactement possible les caractères des constituants des roches, mais également étudier la microstructure des roches, c'est-à-dire leur agencement⁷¹².

Si nous en venons à comparer les deux ouvrages de Vogelsang et de Zirkel, l'une des principales différences entre celui de Vogelsang et celui de Zirkel est la présence de planches dans le premier, tandis que le second ne propose aucune illustration⁷¹³. L'éditeur des deux ouvrages publiés à Bonn n'est pas le même, ce qui est susceptible d'expliquer que l'un des traités présente des illustrations par rapport à l'autre. L'hypothèse selon laquelle Zirkel ne souhaiterait pas fournir d'illustrations pour l'ouvrage semble moins plausible dans le sens où Zirkel publie un article adjoint de planches⁷¹⁴ en 1863 ainsi qu'en 1866⁷¹⁵. D'après nous, le contenu du livre de 1866 plus théorique se prête moins à l'utilisation d'illustrations que les autres publications de Zirkel comme ses articles, davantage appuyés sur des études spécifiques.

Les deux ouvrages possèdent aussi des similitudes. Les auteurs mettent en avant l'usage du microscope, des sections fines de roches ainsi que de la lumière polarisée. Cette dernière est bien plus présente dans l'ouvrage de Vogelsang que dans celui de Zirkel. La lumière polarisée est utilisée pour distinguer des minéraux entre eux dans les deux ouvrages. Elle met en avant certaines caractéristiques des minéraux, comme leurs différentes couleurs et contribue alors à distinguer les minéraux enchevêtrés. Le contenu des ouvrages ne permet toutefois pas d'identifier comme chez Des Cloizeaux, l'usage de caractères optiques minéralogiques pour l'identification d'une espèce minérale. C'est d'ailleurs l'une des remarques de Vogelsang à propos de l'observation microscopique en lumière polarisée. L'outil n'est pas pleinement efficace d'après lui.

Ainsi, à la fois Zirkel et Vogelsang contribuent par leurs deux traités à mettre en avant cette méthode d'observation microscopique. Cependant, l'introduction d'une nouvelle pratique

⁷¹¹ Herman VOGELSANG, *Philosophie der Geologie und Mikroskopische gesteinsstudien*, Verlag von Max Cohen & sohn, Bonn, 1867, p.129.

⁷¹² Herman VOGELSANG, *Philosophie der Geologie, op.cit.*, p.131.

⁷¹³ Nous reviendrons plus en détails sur les illustrations insérées par les savants dans le Chapitre 9, III, p.236

⁷¹⁴ Ferdinand ZIRKEL « Mikroskopische Gesteinsstudien », *Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften Wien*, Volume 47, Tome 1-5, 1863, p. 226-270 et planches.

⁷¹⁵ Ferdinand ZIRKEL, « Über die mikroskopische Zusammensetzung und Structur der diessjährigen Laven von Nea-kammeni bei Santorin », *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde*, 1866, p.769-787 et planche VIII.

d'observation mobilisant microscope et section fines nous interpelle par rapport aux méthodes déjà existantes pour étudier les roches. En effet, nous avons identifié précédemment en France une méthode microscopique pour identifier les minéraux des roches à partir de leur réduction en poudre. Nous nous interrogeons alors sur l'utilisation de cette méthode par les savants allemands et les modifications éventuelles de pratiques qu'induit la publication de ces deux traités à partir de 1867.

2. Quelles pratiques d'observations microscopiques entre 1855 et 1873 ?

Certains des articles de Sorby sont publiés dans le *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde* dès 1857 et à ces publications s'ajoutent les communications d'Oschatz au début des années 1850 sur les sections fines de roches qu'il produit. Ces publications constituent un terrain propice aux observations microscopiques des roches taillées en sections fines. Ces pratiques sont-elles visibles dans les publications des années 1850-1860 ? Par ailleurs, les publications de Zirkel et de Vogelsang modifient-elles sensiblement ces pratiques ?

Etudier les roches en Allemagne (1855-1866)

Dès 1855, des pratiques d'observations de sections fines de roches sont visibles en Allemagne. Par exemple, Jenzsch en 1856 dans une étude sur la phonolite⁷¹⁶ évoque les sections fines de roches⁷¹⁷. Oschatz sans surprise évoque aussi la même année, l'usage de sections fines de roches dans l'un de ces articles⁷¹⁸ et Vom Rath en 1860, mentionne l'expression « sections fines » à propos de roches pour effectuer ses observations⁷¹⁹. Il est cependant difficile d'identifier dans le cas de Vom Rath si l'auteur parle de sections fines au sens de Oschatz et de Sorby, à savoir un échantillon poli et assez mince pour être transparent ou bien seulement une plaque minérale. Mais, certaines indications, comme l'usage de l'expression « sections fines », ou encore son association avec un microscope, tendent à montrer qu'il utilise des objets similaires à Oschatz.

Cet usage des sections fines de roches est aussi combiné à celui du microscope. Pour autant, l'instrument est également utilisé de manière indépendante, s'inscrivant alors dans les pratiques usuelles d'observations. Un premier exemple de combinaison du microscope et des sections fines est l'article de Oschatz en 1856, dans lequel il effectue également un examen microscopique des calcaires blancs en sections fines et semble utiliser à ce propos un

⁷¹⁶ JENZSCH, « Beiträge zur Kenntniss einiger Phonolithe des böhmischen Mittelgebirges. Mit besonderer Berücksichtigung des Baues dieses Gebirges. Eine lithologische Abhandlung », *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, Volume 8, 1856, p. 167-210.

⁷¹⁷ JENZSCH, « Beiträge zur Kenntniss einiger Phonolithe ... », *op.cit.*, p. 179.

⁷¹⁸ Adolph F. OSCHATZ, « Mikroskopische Struktur des weissen körnigen Kalkes », *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde*, 1856, p.50-51

⁷¹⁹ Gustav VOM RATH, « Skizzen aus dem vulkanischen Gebiete des Niederrheins », *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, Volume 12, 1860, p.29-47.

microscope⁷²⁰. L'article sur la phonolite de Jenzsch, en fait également partie. Le savant parle de Fleuriau de Bellevue et de ses travaux sur la phonolite.⁷²¹ Jenzsch utilise aussi le microscope dans la section sur les études chimiques et microscopiques des sections fines⁷²². Ces dernières sont observées sous une lumière vive. L'auteur effectue par ailleurs des essais sous microscope afin de déterminer la nature des éléments qui la compose. Jenzsch fait mention de l'usage de lumière polarisée⁷²³ pour différencier des composants après une réaction chimique. L'auteur ne précise pas davantage le dispositif utilisé pour polariser la lumière. De plus, cette brève référence et les indications à sa suite ne permettent pas d'identifier clairement si le savant utilise une lumière polarisée-analysée. Par ailleurs, en 1855⁷²⁴ un anonyme rapporte qu'Oschatz montre les effets de la lumière polarisée sur des sections fines de marbre observées sous microscope, ceci afin de compléter ses précédents résultats. C'est un usage de la lumière polarisée qui s'inscrit dans des pratiques déjà mentionnées, comme pour celle de Nicol en 1840⁷²⁵ ou encore celle de Sorby. La lumière polarisée est alors utilisée afin d'identifier par les irisations certains des minéraux qui composent l'échantillon. Cependant, l'utilisation de la lumière polarisée est assez peu pratiquée entre 1850 et 1860. L'article de Jenzsch combine à la fois l'usage du microscope pour observer des sections fines de roches, s'inscrivant dans le nouvel usage du microscope induit par Sorby. Cependant, l'article montre qu'il y a une coexistence de cet usage de l'instrument avec des méthodes déjà ancrées, à savoir l'observation de poudre et celle des résultats des essais chimiques aux acides et au chalumeau.

Les publications sur cette période montrent que les savants allemands, au même titre que les français utilisent le microscope pour observer des roches réduites en poudre. Ils mobilisent également les mêmes caractères distinctifs pour les décrire. Cependant, dû à la spécificité de la période, nous constatons qu'en plus de cette méthode, l'observation microscopique des roches en sections est également visible dans les pratiques. Elle est réduite à un nombre d'acteurs bien identifié mais s'affiche dès les années 1855 dans les articles publiés.

Un an plus tard, en 1857, Jenzsch réalise une recherche microscopique sur une roche⁷²⁶. Cette recherche est notamment complétée par une analyse chimique. L'auteur décrit un ensemble de caractères dit minéralogiques comme par exemple, la dureté, la couleur ou encore la pesanteur spécifique. Il observe l'échantillon à l'œil nu mais également sous microscope. Jenzsch utilise un grossissement de 300 diamètres⁷²⁷. Il termine son article en disant que son point de vue, à savoir que la roche en question n'est pas un mélaphyre, est prouvé notamment

⁷²⁰ Adolph F. OSCHATZ, « Mikroskopische Struktur des weissen körnigen Kalkes », *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde*, 1856, p.50-51

⁷²¹ JENZSCH, « Beiträge zur Kenntniss einiger Phonolithe ... », *op.cit.*, p.177.

⁷²² JENZSCH, « Beiträge zur Kenntniss einiger Phonolithe ... », *op.cit.*, p. 179.

⁷²³ JENZSCH, « Beiträge zur Kenntniss einiger Phonolithe des böhmischen Mittelgebirges. Mit besonderer Berücksichtigung des Baues dieses Gebirges. Eine lithologische Abhandlung », *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, Volume 8, 1856, p. 181.

⁷²⁴ ANONYME, *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, Volume 7, 1855, p. 298.

⁷²⁵ William NICOL, « Proceedings of the Wernerian Natural History Society », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Volume 29, Avril-Octobre 1840, 1840, p. 175.

⁷²⁶ JENZSCH, « Mikroskopische und chemisch-analytische untersuchung des bisher für Melaphyr gehaltenen Gesteines von Hohenberge Bei Neurode in Schlesien », *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, Volume 9, 1857, p. 435-436.

⁷²⁷ JENZSCH, « Mikroskopische und chemisch-analytische ... », *op.cit.*, p. 436.

par l'observation au microscope. Vom Rath également fait mention en 1860 dans l'un de ces articles de l'usage du microscope⁷²⁸ afin d'observer les minéraux qui compose l'échantillon taillé en sections fines.

Par ailleurs, Zirkel dans son article de 1863, « Mikroskopische Gesteinsstudien »⁷²⁹, revient sur l'usage qu'ont ces auteurs du microscope pour observer les sections fines de roches. Il y dénonce le fait que l'usage du microscope ne permet pas de discerner des minéraux qui sont d'une grande importance dans l'identification des roches. Il dénonce l'aspect imparfait de la méthode couramment utilisée à cette époque, celle de l'observation des poudres en lumière incidente, tout en ajoutant qu'il existe une autre technique, celle de la réduction en sections fines. Zirkel détaille la manière de fabriquer des sections fines, tout en précisant qu'il est nécessaire de pratiquer régulièrement pour obtenir des sections fines uniformes. Ses propos sont proches de ceux que tiennent Sorby sur les savoir faire ou sur le fait de se passer des étapes fastidieuses de préparation. Le second aspect intéressant est celui relatif à l'utilisation de la lumière polarisée. Zirkel la mentionne pour effectuer des observations générales et distinguer les différents éléments individuels d'une roche. Il indique les caractères de la simple ou double réfraction ainsi que la position de axes optiques. A la suite de ces différentes indications, Zirkel applique ces pratiques décrites à l'observation des roches. Ces observations nous indiquent alors que Zirkel utilise un prisme de Nicol pour polariser la lumière. Les descriptions comprennent la forme des cristaux, leur nature et leur couleur.

L'examen de ces articles montre que les savants qui utilisent les sections fines de roches sont peu nombreux. L'article de Zirkel se distingue des autres publications par les détails qu'il insère sur la construction des sections fines, augurant une systématisation de cette pratique d'observation. La publication des ouvrages de Zirkel et de Vogelsang s'inscrit donc dans une pratique d'observation existante, mais encore peu répandue autour des années 1860.

Vers une nouvelle pratique d'observation des roches ? (1866-1873)

Dans le *Lehrbuch der petrographie*, Zirkel traite aussi de l'usage du microscope. Pour rappel, il en justifie l'usage en raison des difficultés liées aux roches cryptomères et celles à grains fins. Zirkel ajoute que de nombreuses roches cryptomères ont des compositions pétrographiques distinctes qui ne sont accessibles que par l'utilisation du microscope. La loupe est une possibilité que Zirkel n'exclut pas pour voir certains constituants individuels des échantillons, mais il met davantage en avant celui du microscope. L'auteur précise d'ailleurs à ce propos que cet usage est assez récent et il en attribue l'origine aux travaux de Sorby, de Rose et de Jenzsch. Zirkel ne fait pas mention dans ce cas de l'insertion récente du microscope en

⁷²⁸ Gustav VOM RATH, « Skizzen aus dem vulkanischen Gebiete des Niederrheins », *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, Volume 12, 1860, p.35.

⁷²⁹ Zirkel Ferdinand, « Mikroskopische Gesteinsstudien », *Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften Wien*, Volume 47, Tome 1-5, 1863, p. 226-270 et planches.

minéralogie. L'auteur parle de la combinaison entre le microscope et l'usage des sections fines de roches pour effectuer des observations. Cet assemblage est récent et constitue une innovation dans le domaine et ce qui n'est pas le cas pour l'usage du microscope en minéralogie. Les références de Zirkel viennent appuyer le fait que les observations microscopiques des roches en sections fines sont peu développées et circonscrites à quelques savants, ceux-là même identifiés précédemment.

Zirkel ne dissocie pas l'usage du microscope des sections fines de roches. D'après lui, la combinaison entre section fines de roche et microscope est l'une des plus grandes inventions de cette période⁷³⁰. Il précise brièvement, en comparaison de la description plus précise qu'il effectue dans son article de 1863, le procédé de fabrication pour obtenir des sections fines transparentes.

Encart 26 : La production de sections fines de roches d'après Zirkel.

Zirkel donne dans son traité quelques indications concernant la production de sections fines de roches.

De manière générale, il est nécessaire de poncer suffisamment un échantillon pour le rendre transparent.

Pour cela, le savant conseille d'utiliser une pierre tournante sur laquelle on verse de l'émeri très fine. L'échantillon est ensuite poli sur une peau de veau.

Zirkel ajoute qu'il est possible d'utiliser du baume du Canada pour coller l'ensemble, mais met en garde le lecteur contre les bulles que cette étape peut générer. Les bulles dans le baume gênent à la fois l'observation et limitent l'adhésion de l'échantillon à la plaque de verre.

Les sources biographiques ou les articles de Zirkel dont nous disposons n'indiquent pas la manière dont celui-ci a appris à fabriquer des sections fines. Or, Zirkel dans les années 1860 est dans un contexte favorable à l'apprentissage de cette technique de fabrication. En effet, bien que nous n'ayons pas davantage d'indications sur l'origine de l'apprentissage de la technique de Zirkel, plusieurs hypothèses sont envisageables, issues de ce contexte favorable. L'une d'entre elles, provient de la rencontre de Sorby et de Zirkel en 1862. Ces échanges ont pu permettre à Zirkel d'en apprendre davantage pour expérimenter par lui même les étapes de fabrication. Cependant, cette hypothèse exclut le fait qu'en Allemagne, certains savants utilisent des sections fines de roches. Par exemple, G. Rose reçoit en 1856 un échantillon des sections fines de roches que présente Oschatz. Le savant les utilise pour conduire des observations. Von Rath également en utilise et des fabricants doivent en vendre également comme Oschatz⁷³¹. Ainsi, Zirkel a connaissance de la technique et aurait pu aussi être formé par un savant qui maîtrise la technique ou bien par un fabricant.

⁷³⁰ Ferdinand ZIRKEL, *Lehrbuch der petrographie*, Drock von Carl Georgi, Bonn, 1866, p.9

⁷³¹ La piste de la commercialisation des sections fines à cette époque mérite de conduire des recherches auprès de catalogues de fabricants allemands. Nous avons été limité dans cette dernière en raison de la barrière linguistique.

Zirkel évoque également une autre technique permettant l'observation des roches, celle de la pulvérisation des roches. Les poudres ainsi obtenues peuvent être observées à la loupe ou encore au microscope. L'auteur met en garde sur le fait de séparer les constituants de la roche et de ne pas les briser. Ces poudres sont aussi l'objet d'expériences chimiques pour en déterminer les composants. Cette technique n'est pas sans rappeler des méthodes déjà rencontrées dans les articles publiés par ses contemporains pour identifier une roche. La mention par Zirkel de Fleuriau de Bellevue et de Cordier est un témoignage supplémentaire de sa connaissance des différents usages du microscope et des méthodes d'identification existantes.

Vogelsang, quant à lui, dans son *Philosophie der Geologie und Mikroskopische gesteinsstudien* estime que le travail pétrographique de Zirkel et les résultats qu'il présente sont très importants dans ce domaine⁷³². Il se positionne aussi dans cette tradition de fabrication des sections fines, à l'instar de Sorby et Zirkel, puisqu'il affirme qu'il commence lui-même à constituer sa propre collection de préparations microscopiques.

Cependant, cette méthode et son application ne sont pas si évidentes. En effet, Vogelsang revient comme d'autres auteurs d'ailleurs, sur la difficulté de produire des sections fines. Pour lui, obtenir des échantillons de qualité, nécessite d'être précautionneux et le ponçage est assez fastidieux. A ces difficultés de préparation s'ajoutent celle de l'observation. Les savants se retrouvent à observer de nouveaux objets, dont les caractères d'identification déjà existants ne peuvent s'appliquer. Ils ne sont d'ailleurs pas suffisants pour discriminer les minéraux sous cette nouvelle forme et implique de construire une nouvelle méthode d'identification basée sur cette pratique microscopique. Bien que les caractères minéralogiques soient mobilisés dans la reconnaissance des minéraux, Vogelsang ajoute par exemple que les caractères cristallographiques sont très peu utilisés. En trouvant un moyen de les mobiliser dans ce cadre d'observation, ils permettraient d'identifier avec facilité les éléments constitutifs des roches.

L'identification des minéraux en sections fines est différente de celles d'un échantillon macroscopique. Certains caractères peuvent être utilisés comme la forme externe ou bien les clivages qui sont des données importantes, mais il est nécessaire d'adapter les caractères minéralogiques à cette méthode ou d'en trouver de nouveaux. D'après Vogelsang, l'usage d'un dispositif de polarisation peut être très utile pour distinguer le quartz du feldspath. L'auteur met d'ailleurs en application la méthode de Zirkel et de Sorby pour conduire entre autres, des observations de produits volcaniques, d'inclusions de verre ou encore de porphyre. Malgré les problèmes relatifs à cette méthode d'observation, le savant l'utilise régulièrement :

« Avec la loupe, de nombreux grains avec un macle de Carlsbad sont visibles, mais c'est encore plus flagrant avec le microscope polarisant »⁷³³.

⁷³² Herman VOGELSANG, *Philosophie der Geologie und Mikroskopische gesteinsstudien*, Verlag von Max Cohen & sohn, Bonn, 1867, p.129.

⁷³³ Herman VOGELSANG, *Philosophie der Geologie und Mikroskopische gesteinsstudien*, Verlag von Max Cohen & sohn, Bonn, 1867, p.189.

De plus, la mention de l'instrument est d'ailleurs très régulière tout au long de son ouvrage⁷³⁴. Cet usage du microscope suggère également, comme dans les propos introductifs de Vogelsang, qu'il étudie les roches sous forme de sections fines transparentes. Cet usage des sections fines est également complété par celui de prismes de nicol. Ainsi, Vogelsang utilise lors de ses observations, de la lumière polarisée. D'autres références à la mobilisation de ce type de lumière sont perceptibles dans son ouvrage à travers des expressions comme « *microscope polarisant* » ou bien « *appareil de polarisation*⁷³⁵ » ou plus explicitement par « *nicols croisés* ». Les légendes des planches en fin d'ouvrage permettent de confirmer que Vogelsang observe des échantillons de roches taillés en sections fines, à l'aide d'un microscope et en mobilisant parfois des prismes nicols en position croisée pour produire de la lumière polarisée-analysée. L'auteur avance qu'il aurait observé près de 300 spécimens réduits en sections fines pour présenter les conclusions présentes dans cet ouvrage. Touret va également dans le sens de l'auteur puisqu'il précise que Vogelsang constitue l'une des plus grandes collections de sections fines⁷³⁶.

3. Attribuer un nouveau sens au mot pétrographie

Le traité de Zirkel de 1866, par la présence du mot pétrographie dans son titre annonce d'après nous la volonté du savant de nommer par ce mot -pétrographie- des savoirs spécifiques et des pratiques d'observation. Or, l'usage du mot n'est pas nouveau. En effet, le *Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales* date la première occurrence du mot « pétrographie » à 1842. Or, nous avons trouvé des mentions régulières du mot dès les années 1830 dans les *Bulletin de la Société Géologique de France*. Cet écart de près de 12 ans nous amène à nous interroger sur l'usage du mot dans les années 1830, du sens qu'il lui est donné à cette période pour comprendre si l'usage de Zirkel est similaire ou si le savant donne une autre signification au mot pétrographie.

Dans le premier *Bulletin de la Société Géologique* apparaît en tant qu'adjectif le mot pétrographie :

« *La carte pétrographique du cercle de Hofgeismar, dans la Hesse-Electorale, par M. A. Schwarzenberg, une feuille, 1830. Cette carte sur une grande échelle se trouve dans la gazette d'agriculture pour la Hesse (Landwirthschaftliche Zeitung, etc. août, 1850). On y trouve distingués par des couleurs, le grès bigarré, la marne bigarrée, le muschelkalk, le keuper, les*

⁷³⁴ Le mot est notamment utilisé une ou plusieurs fois aux pages 37, 129, 130, 138, 143, 151 ou encore 158 de son ouvrage.

⁷³⁵ « L'éclat du verre est très différent dans les caractères morphologiques et toujours reconnaissable avec un appareil de polarisation », extrait de Hermann VOGELANG, *Philosophie der Geologie ...*, op.cit., p.177.

⁷³⁶ Jacques Léon Robert TOURET, « Hermann Vogelsang (1838-1874) 'Européen avant la lettre' », dans Jacques Léon Robert TOURET et Robert P. W. VISSER, (eds.) *Dutch pioneers of the earth sciences*, Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Amsterdam, 2004, p. 93.

alluvions, le tufa basaltique et le basalte, et 26 signes y indiquent, soit des gîtes de roches exploitables, soit diverses sources, des mines, etc »⁷³⁷.

Or nous avons trouvé d'autres mentions du mot montrant qu'il appartient au vocabulaire courant des géologues du XIX^e siècle. Cependant, lorsque nous nous attachons à identifier son sens, une différence notable apparaît. Le sens spécifique du mot « pétrographie » et de son utilisation dans le *Bulletin* est difficile à déterminer. Il serait utilisé comme adjectif qualificatif et signifierait des descriptions des terrains ou les contenus des couches géologiques. Il explicite la nature des formations rocheuses. Par exemple, les auteurs parlent d'ailleurs de « [...] *la nature pétrographique des terrains* [...] »⁷³⁸ ou bien encore « [...] *fallu renoncer à un nom pétrographique* [...] »⁷³⁹.

Il est également utilisé pour désigner un type de caractères lors de description à partir de 1846. A titre d'exemples, « [...] *la présomption de l'âge de cette roche tirée des caractères pétrographiques* [...] »⁷⁴⁰ ou bien « [...] *on s'était à peine occupé de leur subdivision et des caractères pétrographiques et paléontologiques de leurs diverses assises* [...] »⁷⁴¹ ou encore « [...] *de couches différentes dans leurs caractères pétrographiques* [...] »⁷⁴². De plus, Alexandre Vézian inclut le mot pétrographie en 1865⁷⁴³ dans le titre de son chapitre II qui se nomme : « *Pétrographie des roches stratifiées : leur nomenclature et leur composition chimique* ». Ce chapitre traite des aspects liés à la détermination de ces roches.

Dans la définition qu'en propose Zirkel en 1866, au début de son ouvrage, le sens en est proche puisqu'il s'agit de connaître le matériel qui compose la croûte terrestre solide. La constitution de cette dernière est également précisée, puisque Zirkel affirme que cette croûte est faite de minéraux et d'agrégats de minéraux qui ont la même structure et sont regroupés sous le nom de roche. Ce n'est pourtant pas dans cette définition que le tournant du sens du mot est visible, c'est dans son association entre le contenu du traité et son titre. Le contenu de l'ouvrage s'attarde, comme nous l'avons présenté auparavant, sur des pratiques d'observations nouvelles pour observer les roches. Zirkel y détaille également des éléments à observer, tels que les cristallites ou bien la structure microscopique de la roche. Ces nouvelles pratiques et les nouveaux savoirs qu'elles rendent visibles constituent un changement. En intitulant son ouvrage *Traité de Pétrographie*, Zirkel institue un nouveau sens au mot pétrographie qui le distingue des usages précédents. Ce choix montre une volonté de l'auteur de proposer un nom distinct, mais historiquement et étymologiquement relié à l'étude des roches, pour une pratique visant l'étude des roches. Il nomme cette dernière « pétrographie » et en propose explicitement la méthode, à savoir l'usage du microscope et des sections fines.

⁷³⁷ *Bulletin de la Société Géologique de France*, Tome 1, 1831, p.171

⁷³⁸ *Bulletin de la Société Géologique de France*, Tome 8, 1836, p.301

⁷³⁹ *Bulletin de la Société Géologique de France*, Tome 11, 1840, p.233.

⁷⁴⁰ *Bulletin de la Société Géologique de France*, Série 2 Tome 3, volume 1, p.62

⁷⁴¹ *Bulletin de la Société Géologique de France*, Série 2 Tome 7, Volume 1, 1850, p.57 et

⁷⁴² *Bulletin de la Société Géologique de France*, Série 2 Tome 18, 1861, p.175

⁷⁴³ « Pétrographie » comme catégorie avec la notion de distribution géographique » mais aussi dans le sens de composition des roches d'une série géologique, dans Alexandre VEZIAN, *Prodrome de géologie*, Tome 1, F. Savy éditeurs, Paris, 1863, p.318.

D'ailleurs, à la suite de la parution de son traité, l'occurrence du mot « pétrographie » est plus importante. Le mot est mobilisé dans les titres de communications ou d'articles. Par exemple, Leopold Heinrich Fischer (1817-1886)⁷⁴⁴ reprend dans le titre de son traité en 1868 le mot de « pétrographie » :

« *Chronologischer Überblick über die allmalige Einführung der Mikroskopie in das Studium der Mineralogie, Petrographie und Paläontologie* »⁷⁴⁵.

Par ailleurs, au sein du *Annalen der physik und chemie*, le mot « pétrographie » apparaît pour la première fois en 1863 sous la plume de Zirkel, puis il est utilisé à quelques reprises dans la décennie 1870 par Gustav Rose par exemple. Il est également utilisé dans le *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde* à partir de 1866.

Le mot est également visible dans un traité de géologie publié en 1879, dans l'intitulé d'une section : « *Deuxième partie : pétrographie* »⁷⁴⁶. L'auteur définit alors la pétrographie comme la recherche des espèces minérales qui composent les roches. Par la suite, le nom est repris comme dans l'exemple de G.H. Williams qui intitule son ouvrage *Modern petrography*⁷⁴⁷ ou bien celui de Arnold de Lasaulx *Précis de Pétrographie, introduction à l'étude des roches*⁷⁴⁸. Le terme « pétrographie » peut aussi être associé à l'adjectif « moderne », traduisant à la fois un renouveau dans ce qui est considéré à partir des années 1870 comme de la pétrographie. Ainsi une distance avec le qualificatif utilisé auparavant est instaurée, qui concerne à la fois le sens mais aussi les pratiques d'observation qui y sont nouvellement associées.

Nous constatons également entre les années 1870 et 1880 que le mot « pétrographie » est de plus en plus intégré dans le vocabulaire des savants. La première occurrence du mot « pétrographie » dans les *Comptes Rendus de l'Académie des sciences* date de 1868. Mais ce n'est qu'à partir de 1881 qu'une rubrique s'intitulant « pétrographie » est créée et attribuée à des articles. La pétrographie semble alors désigner dans les années 1880 un domaine de recherches en construction auquel une communauté scientifique peut se rattacher, ou qu'elle peut convoquer pour mobiliser des instruments et une méthode qui lui sont implicitement rattachés. Le mot « pétrographe » est par exemple utilisé par le minéralogiste Ferdinand Gonnard en 1884⁷⁴⁹.

⁷⁴⁴ Leopold Fischer est nommé professeur de zoologie et minéralogie en 1859 à Fribourg-en-Brigau. Il publie notamment *Chronologischer Überblick über die allmalige Einführung der Mikroskopie in das Studium der Mineralogie, Petrographie und Paläontologie* en 1868 et *Kritische mikroskopie Studien* successivement en 1869 puis en 1871-1873.

⁷⁴⁵ Leopold Heinrich FISCHER, *Chronologischer Überblick über die allmalige Einführung der Mikroskopie in das Studium der Mineralogie, Petrographie und Paläontologie*, 1868.

⁷⁴⁶ Carl Hermann CREDNER, *Traité de géologie et de paléontologie*, Editeur F. Savy, 1879, Paris, p.19.

⁷⁴⁷ Georges Huntington WILLIAMS, *Modern petrography an account of the application of the microscope to the study of geology*, Boston, D. C. Heath & co. publishers, 1886, 42 pages.

⁷⁴⁸ Arnold de LASAULX, *Précis de Pétrographie, introduction à l'étude des roches*, Paris, Rothschild éditeur, 1887, 378 pages.

⁷⁴⁹ Ferdinand GONNARD, « Sur la diffusion de la christianite dans les laves anciennes du Puy-de-Dôme et de la Loire », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 98, Janvier-Juin 1884, 1884, p.841.

II. Constituer une base méthodologique à la pétrographie microscopique (1866-1873)

A nouveau en 1873, Zirkel publie un traité sur l'observation des roches, de même que Harry Rosenbusch, le troisième membre du triumvirat allemand. David Young revient dans *Mind over Magma* sur ces deux publications et considère d'ailleurs que l'ouvrage de Zirkel est en substance l'un des premiers ouvrages sur la minéralogie et la pétrographie optique⁷⁵⁰. Il inscrit également la publication de Rosenbusch dans un travail encyclopédique plus large qui influencera de nombreux pétrographes⁷⁵¹. Nous avons donc conduit une étude des pratiques que relayaient ces traités à cette date et nous les avons comparées avec celles que présente Zirkel en 1866. Les résultats obtenus par cette comparaison nous ont conduits à poser comme seconde borne de cette étude des pratiques d'observation la date de 1873. Elle correspond à un tournant majeur avec l'établissement d'un ensemble technique pétrographique et la constitution d'une méthode basée sur son usage.

Par ailleurs, nous avons complété notre analyse des traités par un examen des pratiques décrites dans des publications incluses dans l'intervalle de temps 1866-1873 pour étudier l'impact des publications de Zirkel et de Vogelsang.

1. Mise en œuvre des pratiques pétrographiques

En 1866, Zirkel publie un article sur la structure d'une lave issue de l'éruption de Santorin⁷⁵². Il procède d'abord à une observation de l'échantillon à l'œil nu, puis à l'aide du microscope. Les échantillons sont-ils taillés en sections fines et observés avec un grossissement croissant qui va de x100 à x750. Le but est de voir la composition de l'échantillon. Un an plus tard, le savant précise à propos de l'examen microscopique d'une phonolite⁷⁵³ que l'usage du microscope permet de voir les produits de décomposition des minéraux au sein des roches. Par

⁷⁵⁰ David YOUNG, *Mind over magma. The Story of Igneous Petrology*, Princeton University Press, Princeton, 2003, p. 153.

⁷⁵¹ David YOUNG, *Mind over magma...*, *op.cit.*, p. 154.

⁷⁵² Ferdinand ZIRKEL, « Über die mikroskopische Zusammensetzung und Struktur der diessjährigen Laven von Nea-kammeni bei Santorin », *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde*, 1866, p.769-787.

⁷⁵³ Ferdinand ZIRKEL, « Üeber die mikroskopische Zusammensetzung der phonolite », *Annalen der Physik und chemie*, Tome 207, série 2 tome 131, 1867, p.298-336.

ailleurs, cette méthode se retrouve dans d'autres articles que Zirkel publie en 1867⁷⁵⁴ où il s'attache à l'étude de sections fines de basalte, mais aussi en 1868⁷⁵⁵. D'autres auteurs comme Wyrouboff et Tschermak respectivement en 1867⁷⁵⁶ et 1869⁷⁵⁷ observent également leurs échantillons en utilisant la même méthode, à savoir le microscope et les sections fines. C'est également le cas de Lasaulx et de Vogelsang en 1869⁷⁵⁸ qui mobilisent l'instrument conjointement avec des sections fines de roches.

L'article de 1866 de Zirkel est également intéressant pour l'usage de la lumière polarisée. Il observe les sections fines de roches à l'aide de nicols, en position parallèle et croisée. Cet usage des prismes polarisateurs est aussi visible dans l'article de Tschermak qui précise que l'appareil de polarisation de Norremberg est également utilisable pour effectuer ces observations. L'usage d'un appareil polarisateur est également mentionné par Vom Rath afin de vérifier si la trimyidine est une pseudomorphose de silice à partir d'un minéral inconnu⁷⁵⁹. L'utilisation des prismes polarisateurs est également sous-entendue dans l'article de Von Lasaulx qui évoque l'usage de la lumière polarisée dans ses observations microscopiques⁷⁶⁰.

En ce qui concerne les descriptions des résultats des observations, elles sont assez variables. Par exemple, Zirkel en 1866 décrit la couleur de la lave, les cavités, les cristaux, comme le feldspath dont la couleur et la taille sont précisées. La texture est également décrite chez Zirkel. Un an plus tard, Zirkel décrit l'abondance de certains minéraux dans la phonolite⁷⁶¹. Ces caractères tels que la couleur, la texture ou la forme des minéraux au sein des roches sont régulièrement présents dans les articles traitant de l'étude des roches. Il en est de même pour la mention de la couleur sous nicols croisés ainsi que les axes optiques⁷⁶². Lasaulx en 1869 expose également les résultats d'analyses chimiques dans son article⁷⁶³ et classe les échantillons selon leurs poids spécifiques⁷⁶⁴.

L'étude des articles met en avant un usage bien plus affiché des sections fines de roches, du microscope et de la lumière polarisée que ce qui est exposé dans l'ouvrage de Zirkel en

⁷⁵⁴ Ferdinand ZIRKEL, « Lettre: Lemberg, den. 25, November, 1866. », *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde*, 1867, p.81-82.

⁷⁵⁵ Ferdinand ZIRKEL, « Ueber die mikroskopische Zusammensetzung der phonolite », *Annalen der Physik und chemie*, Tome 207, série 2 tome 131, 1868, p.87-88.

⁷⁵⁶ Gr. WYROUBOFF, « Mikroskopische Untersuchungen über die färbenden Stoffe im Flussspath », *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde*, 1867, p.474-75.

⁷⁵⁷ G. TSCHERMAK, « Über die mikroskopische unterscheidung der Mineralien aus der Augit-Amphibol und Biotit-Gruppe », *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde*, 1869, p.752.

⁷⁵⁸ Arnold VON LASAULX, « Ueber die specifischem Gewichte basaltischer Laven », *Annalen der Physik und chemie*, Tome 212, série 2 tome 136, 1869, p. 509-512 et H. VOGLESANG et H. GEIFSLER, « Ueber die Natur der Flüssigkeitseinschlüsse in gewissen Mineralien », *Annalen der Physik und chemie*, Tome 213, série 2 tome 137, 1869, p.56-76 et p.257-271.

⁷⁵⁹ Gustav VOM RATH, « Vorläufige Mittheilung über eine neue Krystallform der Kieselsäure », *Annalen der Physik und chemie*, Tome 209, série 2 tome 133, 1868, p.507-508.

⁷⁶⁰ Arnold VON LASAULX, « Petrographische Studien an den vulcanischen Gesteinen der Auvergne », *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde*, 1870,

⁷⁶¹ Ferdinand ZIRKEL, « Ueber die mikroskopische Zusammensetzung der phonolite », *Annalen der physik*, Tome 207, série 2, Tome 131, 1867, p.298-336.

⁷⁶² Ferdinand ZIRKEL, « Ueber die mikroskopische ... », *op.cit.*, p. 305.

⁷⁶³ Arnold VON LASAULX, « Ueber die specifischem Gewichte basaltischer Laven », *Annalen der Physik und chemie*, Tome 212, série 2 tome 136, 1869, p.510.

⁷⁶⁴ Arnold VON LASAULX, « Ueber die specifischem ... », *op.cit.*, p.511.

1866. Sachant qu'ils sont postérieurs à la publication de Zirkel, ils sont vraisemblablement le témoin de l'insertion de ces pratiques microscopiques pour observer les roches. Ces articles montrent également l'importance des caractères minéralogiques dans la description des minéraux contenus dans les roches. La méthode minéralogique s'applique toujours, même avec l'insertion des sections fines et les caractères des minéraux sont toujours mobilisés pour leur identification. Pour autant, certaines remarques à propos de cette méthode d'observation ressurgissent dans les articles. En effet, Zirkel en 1866 précise que l'analyse microscopique peut être intéressante car elle permet de visualiser la solidification des produits issus des laves. Deux ans plus tard, il précise la difficulté d'effectuer des observations au microscope. Tschermak en 1869 indique que les observations en sections fines sont parfois complexes, notamment lorsqu'il est question de différencier les minéraux les uns des autres.

Les articles mentionnés ci-dessus entre 1866-1873 reprennent la méthode pétrographique décrite par les deux traités de Zirkel et de Rosenbusch en mobilisant le microscope, les sections fines et l'usage de la lumière polarisée. Les caractères mobilisés sont relatifs à la méthode minéralogique décrite dans la première partie de la thèse et contribue ainsi à l'identification des minéraux contenus dans les roches, même si ces dernières sont observées sous un autre format, en sections fines. Par ailleurs, les pratiques d'observations microscopiques semblent davantage présentes dans les articles que dans les traités de 1866 et 1867 montrant que certains savants se sont emparés de ces pratiques.

De plus ces articles montrent qu'en quelques années, l'usage du microscope s'est intensifié. L'instrument est systématiquement mentionné et utilisé par les savants dès 1866 conjointement avec les sections fines. Cependant, ces observations microscopiques ne sont pas sans difficultés et contraintes que les savants mettent plus ou moins en avant dans leurs articles ou traités. Davantage que des réticences, ces commentaires sont à la fois des avertissements pour ceux qui souhaitent pratiquer ce type d'observations microscopiques, mais aussi des remarques d'ordre méthodologique. La méthode pétrographique accompagnée de l'outil qu'elle introduit, la lumière polarisée, n'est pas la plus satisfaisante d'après les utilisateurs pour effectuer des observations microscopiques intéressantes, montrant ainsi non pas une méthode déjà constituée mais encore en construction. L'étude de la publication en 1873 de deux traités, l'un par Zirkel⁷⁶⁵ et le second par Rosenbusch⁷⁶⁶ va permettre de montrer que la délimitation établie par Zirkel s'accroît pour constituer un domaine scientifique, la pétrographie microscopique.

2. Les traités de 1873 : un second marqueur pour la pétrographie microscopique

Selon, David Young, le traité de Zirkel de 1866 n'est pas celui qui aurait le plus attiré les savants vers cette méthode. Il avance le fait que ses publications ultérieures sont une illustration

⁷⁶⁵ Ferdinand ZIRKEL, *Die mikroskopische Beschaffenheit der Mineralien und Gesteine*, Wilhelm Engelmann, Leipzig, 1873, 502 pages.

⁷⁶⁶ Harry ROSENBUSCH, *Mikroskopische physiographie der petrographisch wichtigen mineralien. Ein Hülftuch bei mikroskopischen gesteinstudien*, E. Schweizerbartische Verlagshandlung, Stuttgart, 1873, 399 pages et planches.

plus convaincante de l'apport du microscope et des sections fines pour étudier les roches⁷⁶⁷. Cette remarque amène à s'interroger sur le contenu des autres publications du savant. Or, comme nous l'avons vu auparavant, les publications de la période allant de 1866 à 1873 contribuent à mettre en avant l'usage combiné du microscope et des sections fines de roches pour effectuer des observations et Zirkel y participe. D'après notre analyse de ses ouvrages et des articles de cette période, il n'y a pas encore de méthode clairement établie, notamment concernant l'usage de la lumière polarisée et de sa contribution dans les observations. D'après nous, les publications de Zirkel *Die mikroskopische Beschaffenheit der Mineralien und Gesteine* et de Rosenbusch *Mikroskopische physiographie der petrographisch wichtigen mineralien* en 1873 s'inscrivent dans un processus différent que celles de 1866-67, celui de constitution d'une méthode. En effet, Touret décrit ainsi le *Die mikroskopische* de Zirkel :

« Premier texte de minéralogie et pétrographie optique, ce livre comporte une approche déjà bien élaborée des principes de base du microscope polarisant, de la nature de la lumière polarisée et du mode de préparation des lames minces »⁷⁶⁸.

L'identification de cette publication comme premier texte est discutable, d'autant que certains éléments comme la préparation des sections fines de roches sont abordés longuement par Sorby dès 1860 en Angleterre et 1861 en Allemagne alors que Des Cloizeaux utilise un microscope polarisant autour de la même période en France. De plus, le traité de Harry Rosenbusch, publié la même année possède de nombreux points communs à celui de Zirkel, ce qui en fait au même titre que celui de Zirkel, un ouvrage faisant date pour la pétrographie microscopique. Pour nous, ces deux traités participent à la constitution d'une méthode, la pétrographie microscopique, dont les outils mobilisés, le microscope, les sections fines et la lumière polarisée, et leurs usages sont décrits avec précision.

Le second traité de Zirkel comme affirmation méthodologique

Zirkel publie un second ouvrage en 1873⁷⁶⁹ qui s'intitule *Die mikroskopische Beschaffenheit der Mineralien un Gesteine*. La préface éclaire le lecteur sur les objectifs de l'auteur à son propos. Ainsi Zirkel souhaite présenter tout ce qui a été découvert sur la structure microscopique et la composition des minéraux et des roches. En effet, selon lui, de nombreuses recherches ont été effectuées dans ce domaine, mais les connaissances sont éparées. Zirkel propose alors un traité qui regroupe l'ensemble de ces données et explique cette démarche pour mettre au même niveau la science qui étudie les minéraux et les roches avec les autres sciences. Cette introduction vise à élever au grade de science, la pétrographie. L'auteur montre également

⁷⁶⁷ David YOUNG, *Mind over magma. The Story of Igneous Petrology*, Princeton University Press, Princeton, 2003, p.153.

⁷⁶⁸ Jacques Léon Robert TOURET, « De la pétrographie à la pétrologie », *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie*, Troisième série, Tome 20, n°8, 2006, p.172.

⁷⁶⁹ Ferdinand ZIRKEL, *Die mikroskopische Beschaffenheit der Mineralien und Gesteine*, Wilhelm Engelmann, Leipzig, 1873, 502 pages.

que c'est un objet de recherche d'actualité, pour lequel des traités et des articles sont publiés régulièrement.

Zirkel prend le parti d'organiser son livre en commençant par aborder les aspects méthodologiques et techniques des recherches pétrographiques. Il aborde dès les premières pages l'instrument utilisé le microscope. Il commence par préciser les caractéristiques de ce dernier, comme le manque d'aberration chromatique, de courbure de champ ou encore la nécessité d'avoir une résolution importante⁷⁷⁰. Ces trois caractéristiques permettent d'obtenir des images aux contours nets. Zirkel recommande les instruments du constructeur Hartnack (successeur de Oberhauser's depuis 1871 à Postdam)⁷⁷¹. Dans un souci du détail absent dans son traité de 1866, Zirkel décrit les équipements nécessaires, comme les différents oculaires et objectifs utiles mais aussi leurs combinaisons⁷⁷². A ce propos, il mentionne un autre fabricant, E. Gundlach⁷⁷³. Zirkel ajoute que généralement une combinaison de lentilles permettant un grossissement de x800-900 est amplement suffisante. D'après lui, au delà de ce grossissement, il n'y a pas d'amélioration notable dans l'identification des structures. Il est alors inutile d'aller au delà pour le savant. Par ailleurs, il conseille d'utiliser une combinaison permettant d'obtenir un grossissement de x100-200 pour s'orienter sur l'échantillon et en avoir une vue générale. Cette combinaison permet de mieux appréhender la structure de la roche et la relation structurale entre les minéraux. L'ensemble des observations microscopiques dont parle l'auteur est effectué en lumière transmise.

Suite à la présentation de l'instrument nécessaire aux observations, Zirkel aborde la préparation des objets microscopiques. A nouveau, les propos de Zirkel sont nettement plus développés que dans son ouvrage de 1866. Il commence par avancer que naturellement il existe peu d'objets minéralogiques qui se prêtent aux observations microscopiques en lumière incidente. La lumière est susceptible d'apporter de nombreuses informations mais engendre une étape supplémentaire de préparation des objets. Zirkel précise que cette préparation peut être de trois natures différentes, elle peut se faire par division, par la production de poudre ou par amincissement et donc des sections fines. Zirkel s'attarde également à indiquer que Fuess à Berlin vend des sections fines et que Glingen peut également en produire dans la journée. Il précise, en outre, les tarifs.

Encart 27 : La préparation de section fines de roches d'après Zirkel⁷⁷⁴.

Zirkel expose trois types de préparation des roches pour conduire des observations : la division, la réduction en poudre et la taille en section fine. Nous n'allons détailler que ce dernier élément.

⁷⁷⁰ Ferdinand ZIRKEL, *Die mikroskopische Beschaffenheit der Mineralien und Gesteine*, Wilhelm Engelmann, Leipzig, 1873, p.3.

⁷⁷¹ Zirkel précise également qu'il a été amené durant sa pratique à utiliser de nombreux instruments provenant de différents constructeurs.

⁷⁷² Zirkel considère comme plus facile d'utiliser une combinaison des oculaire n°2, 3 et 4 avec des objectifs n°4, 7 et 9. Les lentilles sont dans ce cas sèches.

⁷⁷³ Ferdinand ZIRKEL, *Die mikroskopische Beschaffenheit...*, *op.cit.*, p.4

⁷⁷⁴ Ferdinand ZIRKEL, *Die mikroskopische Beschaffenheit der Mineralien und Gesteine*, Wilhelm Engelmann, Leipzig, 1873, p. 6-16.

Il existe quatre étapes de préparation des sections fines : poncer, coller, poncer à l'épaisseur souhaitée et transférer.

Avant la première étape de ponçage, on peut extraire des morceaux d'une taille plus petite à partir d'un gros échantillon. Pour cela, on utilise un marteau de géologue ou encore des ciseaux. On peut aussi utiliser la cassure naturelle des roches, mais il faut faire attention dans le cas de roches à grains où la cassure est irrégulière.

Il faut aussi bien veiller à faire des sections dans différentes directions, que ce soit parallèle ou encore perpendiculaire au plan de clivage.

Première étape : poncer.

On pose le morceau de roche sur une plaque. On l'aplanit à l'aide d'eau. La surface peut être une plaque de fer suffisamment large pour pouvoir faire des mouvements circulaires. On utilise de l'émeri d'une grosseur décroissante. On peut avoir recours à une machine pour cette étape⁷⁷⁵. On poli ensuite la face plane obtenue à l'aide d'une plaque de verre mat recouverte d'émeri très fin.

Seconde étape : coller

On colle la face polie sur une plaque de verre à l'aide de baume de Canada. Il est conseillé d'utiliser une plaque de verre épaisse de 2 mm.

Troisième étape : poncer.

On procède au ponçage de la seconde face en appliquant les mêmes principes que pour la première. On doit être particulièrement attentif à ce que l'épaisseur de l'échantillon soit égale.

La section fine doit avoir une épaisseur comprise entre 0,025mm et 0,05mm.

Quatrième étape : transférer.

On transfère la section fine de roche obtenue sur sa plaque de verre définitive. Il faut prendre garde aux bulles d'air dans la préparation qui gêneront les observations.

Certaines des remarques de Zirkel à propos des sections méritent d'être relevées. Il indique que les premières sections fines produites notamment par Nicol et Witham sont de bien moindre qualité que celles qui sont produites actuellement. Il mentionne également Sorby ainsi que Oschatz pour son application de la technique aux roches. La première remarque est significative d'un saut qualitatif dans la production des sections fines. Ce saut ne nous est pas perceptible à travers les détails des techniques de fabrication. Malgré les évolutions pressenties, comme l'exemple de Sorby en témoigne, la technique ne diffère que très peu sur le principe et l'aspect qualitatif nous échappe. Par ailleurs, Zirkel en citant les noms de Nicol, de Witham ou bien de Sorby et Oschatz inscrit cette pratique de production de sections fines dans une lignée dont

⁷⁷⁵ Zirkel ne conseille pas d'utiliser une machine car les résultats obtenus ne sont pas suffisamment réguliers.

l'origine serait imputée à Nicol. La technique décrite par Zirkel à propos de la fabrication des sections fines de roches est très proche de celle de Sorby. Cette proximité dans les étapes de fabrication, dans l'usage du baume du Canada et dans l'insertion de l'échantillon entre deux lames de verre montre que la production de l'objet se standardise, tout comme les indications de commercialisation que Zirkel indique.

Le dernier aspect sur lequel Zirkel s'attarde dans sa présentation est l'examen en lumière polarisée. Il précise d'ailleurs que c'est un usage « *assez extraordinaire* »⁷⁷⁶ à la fois car elle est utilisée en minéralogie mais également car elle permet d'identifier la nature cristalline des corps. Zirkel préconise l'usage du prisme de Nicol comme dispositif de polarisation, qu'il considère comme le meilleur dans ce domaine⁷⁷⁷. Il précise que selon les fabricants (Chevalier ou Talbot), la position du prisme de Nicol analyseur est soit dans le tube du microscope soit sur ce dernier. Le fabricant avec lequel traite Zirkel, Hartnack positionne l'analyseur selon les demandes de ses clients. Tout comme avec les sections fines et le microscope, le savant donne des détails précis. Ainsi, pour obtenir le noir complet, Zirkel indique que le prisme polariseur et analyseur doivent être positionnés à 90°⁷⁷⁸. Il explique brièvement que la lumière polarisée permet de faire le lien entre les différentes propriétés optiques qu'il développe, comme l'extinction et son système cristallin. L'auteur ajoute que lorsque le polariseur tourne, l'observateur constate des changements de couleurs. Ces changements de couleurs sont autant d'éléments considérés comme spécifiques des minéraux. De plus, les couleurs de polarisation des corps biréfringents, autrement appelées teintes, dépendent de la finesse de la section fine.

Le reste du traité revient sur des éléments précédemment abordés par Zirkel dans le *Lerhbuch der petrographie*. Par exemple, il traite de la structure microscopique des roches, l'identification des minéraux individuels ainsi que les caractères microscopiques des roches. L'ensemble de ces éléments permet conjointement de faire une étude approfondie des roches, tout en mobilisant des caractères propres à la méthode microscopique qu'il a détaillée auparavant. Zirkel s'appuie également sur des figures illustrant les différentes formes et structures des minéraux qu'il décrit.

La différence entre les traités de 1866 et 1873 publié par Zirkel réside également dans la présentation des caractères microscopiques. L'usage du microscope y apparaît comme indispensable car l'instrument permet d'appréhender la composition d'une roche sans en dénaturer l'intégrité de l'échantillon grâce à la section fine. La relation structurale est conservée permettant alors de comprendre la genèse des différents éléments de la roche. Ainsi, le point de vue de Zirkel à propos de l'importance de l'identification des minéraux individuels ainsi que ceux contenus dans la masse de la roche et leur distribution devient évidente surtout pour caractériser une roche. L'auteur ajoute des éléments méthodologiques supplémentaires où l'observation se fait en deux étapes. La première consiste à observer la structure de l'échantillon

⁷⁷⁶ Ferdinand ZIRKEL, *Die mikroskopische Beschaffenheit der Mineralien und Gesteine*, Wilhelm Engelmann, Leipzig, 1873, p.16.

⁷⁷⁷ Ferdinand ZIRKEL, *ibid.*

⁷⁷⁸ Pour rappel, ce ne sont pas les prismes qui sont positionnés à 90°, mais bien les plans de polarisation des prismes qui doivent être orthogonaux entre eux pour obtenir le noir complet. Il s'agit d'un abus de langage fréquemment utilisé lors de la mention de l'usage de dispositifs de polarisation. C'est également valable pour une autre expression, celle « des nicols croisés ».

à l'échelle macroscopique, puis de procéder à un examen microscopique en sections fines afin d'identifier tous les éléments constituant la roche. L'usage de la lumière polarisée intervient à cette étape pour distinguer les minéraux entre eux. Ces indications méthodologiques indiquent également de faire varier le grossissement pour prendre connaissance de l'ensemble du contenu de la section fine et pas uniquement certains aspects.

La différence est assez nette entre les deux ouvrages de Zirkel de 1866 et de 1873, témoignant d'un saut d'expérience du savant et maîtrise des pratiques. Par ailleurs, Zirkel aborde les sections fines et la lumière polarisée en 1866 en deux pages, tandis qu'il développe ces mêmes questions sur plus de 15 pages en 1873. Le texte de 1873 s'attache à détailler l'ensemble de la méthode d'observation. Il décrit les instruments mobilisés, le microscope mais aussi le prisme polarisateur et leurs caractéristiques. Le savant indique également comment utiliser l'ensemble, notamment pour la lumière polarisée et comment produire des sections fines de roches pour observer les échantillons. A ces informations techniques, Zirkel ajoute les savoirs nécessaires à la reconnaissance des objets, les minéraux. Il n'omet pas non plus d'explicitier la manière de procéder à ces observations pour effectuer une étude complète sans omettre un quelconque élément. L'ensemble de ces éléments construit un discours méthodologique fort autour de la pétrographie microscopique et sur ses pratiques. Les détails permettent également une reproductibilité des observations propices à sa diffusion.

Rosenbusch, écrire un traité de pétrographie microscopique

La même année que la parution de l'ouvrage de Zirkel en 1873, Karl Heinrich (Harry) Ferdinand Rosenbusch (1836-1914)⁷⁷⁹ publie également un ouvrage qui s'intitule *Mikroskopische physiographie der petrographisch wichtigen mineralien*⁷⁸⁰. Cet ouvrage s'intègre à la fois dans un projet de publication spécifique à son auteur, que nous évoquerons par la suite, mais également dans une phase de construction d'une méthode de pétrographie microscopique qui va également dans le sens de l'ouvrage de Zirkel.

Karl H. F. Rosenbusch étudie au gymnasium de Hildesheim puis entre à l'Université de Göttingen. Des difficultés financières le conduisent à devenir tuteur privé au Brésil⁷⁸¹. Près de cinq ans plus tard, il revient en Allemagne pour intégrer l'Université de Heidelberg. En 1869, Rosenbusch obtient son diplôme de doctorat à l'Université de Freiberg, dont le sujet porte sur la néphéline de Katzenbuckel. Il fréquente également d'après Judd l'université de Göttingen. Rosenbusch est nommé privatdozent en 1870 à Freiberg. Il va y côtoyer le professeur de Minéralogie de l'Université, Heinrich Fischer, qui lui-même étudie les roches en sections fines à l'aide du microscope. Trois ans plus tard, il obtient un poste de professeur extraordinaire à

⁷⁷⁹ D'après Judd, Rosenbusch signe à partir de 1900 uniquement par Harry Rosenbusch extrait de John W. JUDD, « Obituary Heheimrath Prof. Karl Harry Ferdinand Rosenbusch », *Geological magazine, or, Monthly Journal of geology*, new series, decade 6, Volume 1, 1914, p.140.

⁷⁸⁰ Harry ROSENBUSCH, *Mikroskopische physiographie der petrographisch wichtigen mineralien. Ein Hülftuch bei mikroskopischen gesteinstudien*, E. Schweizerbartische Verlagshandlung, Stuttgart, 1873, 399 pages et planches.

⁷⁸¹ John W. JUDD, « Obituary Heheimrath Prof. Karl Harry Ferdinand Rosenbusch », *Geological magazine, or, Monthly Journal of geology*, new series, decade 6, Volume 1, 1914, p.140.

Strasbourg en minéralogie et pétrographie⁷⁸². Il devient également membre du bureau d'étude sur la constitution de la carte géologique d'Alsace et Lorraine⁷⁸³.

Rosenbusch publie en 1873, un premier ouvrage *Mikroskopische physiographie der petrographisch wichtigen mineralien*⁷⁸⁴ qui s'intègre d'après Young⁷⁸⁵ dans un projet plus large qui porte le nom de *Mikroskopische Physiographie der Mineralien und Gesteine*. Le second volume de ce travail paraît en 1877 sous le titre de *Mikroskopische Physiographie der massigen Gesteine*. Un an plus tard, Rosenbusch est nommé comme professeur pour la chaire de Minéralogie à l'Université de Heidelberg, qu'il occupe jusqu'à la fin de sa carrière en 1908. Il fonde également ce que Judd nomme le *Mineralogisches-geologisches Institut*. L'enseignement de Rosenbusch et son institut sont très attractifs pour les étudiants de son pays mais également pour ceux venant de l'étranger.

Rosenbusch publie une seconde édition de son *Mikroskopische physiographie* en 1885, puis une troisième édition entre 1892 et 1896. Un de ses étudiants, E.A. Wülfing, collabore à la rédaction de la quatrième édition, publiée en deux volumes en 1907 et 1908. En 1898, Rosenbusch publie un autre ouvrage de pétrographie, hors de son projet encyclopédique. Il s'agit de *Elemente der Gesteinslehre*. Ce dernier va également être réédité quatre fois jusqu'en 1923 et la dernière édition sera reprise par un autre de ses étudiants, A. Osann. Rosenbusch est impliqué dans un large projet de rédaction qu'il ne cesse d'implémenter tout au long de sa carrière et des avancées en pétrographie microscopique.

L'ouvrage de Rosenbusch de 1873 est construit comme un guide pour les jeunes minéralogistes afin qu'ils puissent entrer plus facilement dans le champ de la minéralogie microscopique. Dans ce sens, la plus grande partie de l'ouvrage est donc méthodologique. Il en découle un degré de précision le plus haut possible, sans pour autant en faire un traité d'optique minérale. L'aspect didactique est également renforcé par la présence d'illustrations et de dessins schématiques.

Le savant aborde dans sa préface⁷⁸⁶ l'usage du microscope dans la décennie précédent sa publication. L'instrument aux mains des savants permet de résoudre de nombreux problèmes et d'en soulever d'autres. Par exemple, cela concerne l'identification des roches cryptomères, mais aussi des questions en lien avec la structure des cristaux, la cristallisation ainsi que sur la nature des minéraux. D'après Rosenbusch, le microscope est alors un véritable allié pour la recherche sur les différentes formes des roches⁷⁸⁷.

Pour autant, le savant ne parle pas de pétrographie microscopique mais plutôt de physiographie microscopique. Cette dernière a pour objet d'après l'auteur de préciser les

⁷⁸² David YOUNG, *Mind over magma. The Story of Igneous Petrology*, Princeton University Press, Princeton, 2003, p.154.

⁷⁸³ John W. JUDD, « Obituary Geheimrath Prof. Karl ... », *op.cit.*, p.140.

⁷⁸⁴ Harry ROSENBUSCH, *Mikroskopische physiographie der petrographisch wichtigen mineralien. Ein Hülftuch bei mikroskopischen gesteinstudien*, E. Schweizerbartische Verlagshandlung, Stuttgart, 1873, 399 pages et planches.

⁷⁸⁵ David YOUNG, *Mind over magma...*, *op.cit.*, p. 154.

⁷⁸⁶ Harry ROSENBUSCH, *Mikroskopische physiographie der petrographisch wichtigen mineralien. Ein Hülftuch bei mikroskopischen gesteinstudien*, E. Schweizerbartische Verlagshandlung, Stuttgart, 1873, 399 pages et planches.

⁷⁸⁷ Harry ROSENBUSCH, *Mikroskopische physiographie der petrographisch...*, *op.cit.*, p.I

caractéristiques qui permettent de distinguer les minéraux en sections fines par la lumière transmise. Ces caractéristiques sont alors déterminées par une recherche morphologique, physique et chimique. Rosenbusch mentionne de nombreux savants dans sa préface. Par exemple, la production des sections fines est l'occasion de revenir sur les travaux de Nicol et l'ouvrage de Witham. Sont aussi détaillées les recherches de Brewster à propos de la relation entre structure et propriétés optiques des minéraux que met au jour le savant. Il cite aussi les savants comme Ehrenberg, mais aussi Link, Rose, Jenzsch, Von Rath notamment qui utilise le microscope. Les articles de Sorby en 1858 et celui de Zirkel en 1863 font également partie des références de Rosenbusch. L'auteur revient sur les travaux de ces différents savants dans le but d'inscrire les méthodes de la physiographie microscopique dans une construction progressive des savoirs et une continuité des travaux microscopiques utilisant les sections fines.

Par ailleurs, Rosenbusch attache une importance assez conséquente à l'aspect méthodologique de l'observation microscopique des roches. La partie méthodologique est suivie par la présentation de résultats issus de l'usage de cette méthode. Rosenbusch décrit les inclusions fluidiques et les microlithes. Il évoque les propriétés optiques des minéraux mais aussi les caractères des corps amorphes. L'auteur présente également de manière très détaillée un ensemble de minéraux cristallisant dans différents systèmes cristallographiques.

Une seconde édition de l'ouvrage est publiée en 1885. Il ne s'agit pas simplement d'une réédition, car Rosenbusch complète ce dernier et y ajoute notamment le diagramme de Auguste Michel-Lévy (1844-1911)⁷⁸⁸, sur lequel nous reviendrons dans le chapitre suivant, renforçant l'importance de la lumière polarisée pour la pétrographie microscopique.

L'ouvrage de Rosenbusch affiche un objectif didactique similaire à celui de Zirkel. Les méthodes sont présentées de façon moins exhaustive, y compris en ce qui concerne la description des préparations microscopiques. Pour autant, Rosenbusch s'attarde bien plus que Zirkel, sur les propriétés optiques qu'il décrit, dont le pléochroïsme ou encore la double réfraction de certains minéraux. Le rôle de la lumière polarisée est davantage mis en avant chez Rosenbusch que chez Zirkel par la description de certains caractères déjà mentionnés auparavant en minéralogie ainsi que chez Des Cloizeaux. Par ailleurs, il ressort de ces deux publications que l'usage du microscope et des sections fines de roches n'est plus du tout questionné. C'est une évidence pour conduire ce type d'observations. Il s'agit à présent de revenir sur cette évidence et de questionner l'assemblage des trois éléments centraux de cette méthode d'observation : le microscope, les sections fines et les dispositifs de polarisation.

L'établissement d'un ensemble technique pétrographique

Les sources de la période 1855-1866 montrent que les savants ne mobilisent pas les mêmes objets et qu'ils n'ont pas la même importance dans les pratiques en début de période et en fin.

⁷⁸⁸ Elève polytechnicien en 1862, il entre ensuite à l'Ecole des mines. Il est attaché au service de la Carte géologique de France et publie *Minéralogie micrographique* en 1879 avec Ferdinand Fouqué.

La pratique de Zirkel, tout comme celle de Sorby associe systématiquement microscope et sections fines de roches. Puis, apparait de plus en plus fréquemment l'usage de dispositif de polarisation associé aux deux précédents éléments.

D'après Bertrand Gille, « *Au stade le plus élémentaire et même pour les techniques les plus primitives, il y a une combinaison technique, ce que dans les techniques plus complexes, on pourra appeler un ensemble technique* »⁷⁸⁹. Il nous semble que cette définition correspond bien à l'assemblage du microscope, des sections fines de roches et des dispositifs de polarisation. En effet, lorsque des techniques complexes sont mises en œuvre, ce qui est le cas avec l'observation des roches au microscope, les techniques unitaires ne peuvent être utilisées pour définir ce processus, mais plutôt ce que Bertrand Gille appelle des techniques affluentes. Ce sont des techniques qui mises ensemble permettent un acte technique bien défini. Sans leur mise en commun, toujours d'après Bertrand Gille, il n'est pas possible d'obtenir le résultat recherché.

Les techniques affluentes seraient dans l'exemple qui nous concerne, le microscope mais également les techniques de production de sections fines que nous avons évoquées à de multiples reprises ainsi que les dispositifs de polarisation de la lumière, réduit pour cette seconde moitié du XIX^e au prisme de Nicol. L'acte technique qu'évoque Bertrand Gille comme résultant de cette combinaison serait la description des roches nommée plus généralement pétrographie microscopique. Elle comprend la description des roches, avec l'identification des minéraux constituants, la description de leur agencement et de la texture de la roche.

Un autre élément vient appuyer notre analyse. Toujours d'après Bertrand Gille, « [...] *chacune des composantes d'un ensemble technique a besoin pour son propre fonctionnement du ou d'un certain nombre de produits de l'ensemble* »⁷⁹⁰. De plus, les liaisons qui se construisent entre les éléments de l'ensemble technique ne sont plus uniquement linéaire, mais il y a également des actions en retour.

Ces deux caractéristiques de complémentarité et d'actions en retour sont également une caractéristique du trio microscope, prisme nicol et sections fines de roches. En effet, les nombreux commentaires des savants à propos du manque d'efficacité des observations microscopiques en sections fines témoignent de l'incomplétude de l'assemblage. Le microscope et les sections fines ne sont pas suffisants pour l'acte technique souhaité par les minéralogistes. L'adjonction d'un dispositif de polarisation par l'intermédiaire des prismes de nicols permet d'atteindre avec plus d'efficacité cet acte technique d'observation.

Par ailleurs, les actions en retour sont également visibles sur le microscope avec une modification de l'instrument spécifiquement pour conduire ces observations, comme l'utilisation d'un condenseur ou encore la mise en place d'une platine graduée tournante⁷⁹¹.

⁷⁸⁹ Bertrand GILLE, *Histoire des techniques*, Editions de la Pléiade, édition Gallimard, 1978, France, p.11.

⁷⁹⁰ Bertrand GILLE, *Histoire des techniques*, Editions de la Pléiade, édition Gallimard, 1978, France, p.18

⁷⁹¹ Edouard FRISON, « L'évolution de la partie optique du microscope au cours du dix-neuvième siècle », Communication n°89 au Musée National d'Histoire des Sciences exactes et naturelles à Leyde, 1954, Leyde, 168 pages et The petrographic microscope, supplement to the mineralogical record, special publication, n°1, Novembre-Décembre 2003, 96pages.

La constitution de cet ensemble technique découle de son usage par les savants. Nous considérons que son établissement est daté à l'année 1873. Cependant, sa constitution ne signifie pas pour autant que l'ensemble technique ne subit pas des modifications, comme avec l'ajout de certains éléments sur le microscope comme celui du condenseur Abbe à partir de 1872⁷⁹². Par ailleurs, la construction d'une méthode mobilisant cet ensemble technique est toujours en construction, notamment par l'application efficace de la lumière polarisée-analysée à la reconnaissance des minéraux taillés en sections inconnues. A partir de 1873, certains éléments de l'ensemble technique ne sont plus apparents dans les écrits des savants. Ils deviennent implicites.

Conclusion

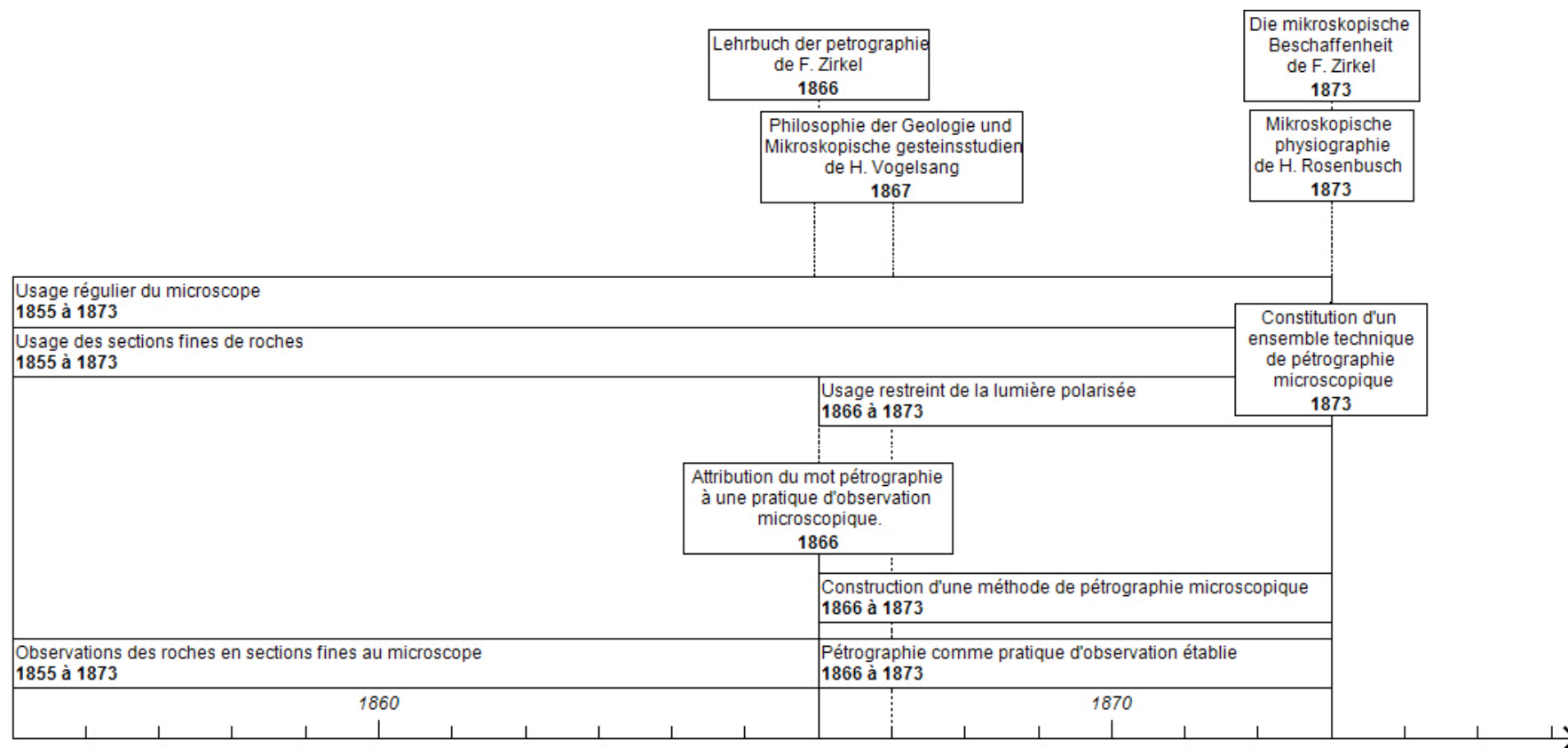
En Allemagne, les pratiques d'observation des roches mobilisent le microscope pour observer des poudres et des résultats d'essais. Ces pratiques sont ancrées depuis les années 1820. Mais le microscope est aussi utilisé en combinaison avec des sections fines, de manière plus marginale dès 1855 en Allemagne. L'analyse des traités de Zirkel, de Vogelsang et de Rosenbusch ainsi que des articles montre une évolution des pratiques sur la période qui va de 1866 à 1873. Deux moments de basculement peuvent être identifiés.

Le premier, en 1866, au travers duquel nous assistons à la mise en avant volontaire de l'usage du microscope. Cet affichage va de pair avec une revendication de l'utilisation de l'instrument et sa combinaison avec des sections fines de roches. Parallèlement, nous assistons à la mise en avant d'un nouveau domaine de recherches nommé pétrographie par Zirkel. Zirkel construit un nouveau sens à ce mot en l'utilisant comme titre pour un traité, permettant alors de délimiter un champ de recherches en construction. Zirkel mais aussi Vogelsang en 1867 en décrivent les fondements techniques, dont l'utilisation du microscope, des sections fines et celle de la lumière polarisée.

Le second moment de basculement est l'année 1873. Il correspond à la date de publication de deux traités de pétrographie, l'un de Zirkel et l'autre de Rosenbusch, à vocation didactique mais visant aussi à regrouper les travaux épars sur la pétrographie. Ces deux traités, à l'aide de description technique sur la manière de produire des sections fines, ou sur la façon d'effectuer des observations microscopiques, contribuent à la mise en place d'une méthode mais aussi à renforcer l'identité du champ de recherches précédemment délimité.

Un ensemble technique constitué d'un microscope, de prismes polarisateurs et de sections fines de roche permet d'effectuer des observations de roches. Il est constitutif d'un domaine, la pétrographie microscopique délimité par certains traités allemands en 1873. La question de la circulation de cet ensemble technique et de son usage pour la pétrographie microscope en dehors des sphères universitaires allemandes se pose à présent.

⁷⁹² Ed. FRISON, *ibid.*



Frise 6 : Récapitulatif de la mise en place d'une méthode pétrographique (1855-1873).

Chapitre 8 : Réception de la pétrographie microscopique allemande

Ce chapitre s'attache à étudier la manière dont la méthode de pétrographie microscopique et l'ensemble technique décrits précédemment sont utilisés par des savants étrangers. David Young dans son ouvrage aborde les mobilités savantes à travers l'idée de dispersion de la pétrographie microscopique depuis l'Allemagne⁷⁹³. Cette approche ne tient pas compte des pratiques alors en cours dans les pays concernés et sous-entend que les savants adoptent la méthode sans difficulté. Or, comme Carl Geschwind le montre dans « The beginnings of microscopic petrography in the United States, 1870-1885 », les minéralogistes américains ne sont pas immédiatement réceptifs à la méthode allemande, car leurs travaux ne nécessitent pas d'avoir recours à celle-ci. Nous avons pris le parti, au même titre que Carl Geschwind de renverser le référentiel d'étude et de non pas étudier la diffusion de la pétrographie microscopique allemande en dehors de ses frontières, mais bien de quelle manière cette dernière est reçue par des savants étrangers.

Ce décentrage vis à vis des pétrographes allemands permet alors d'analyser plusieurs éléments. Dans un premier temps, nous revenons sur les divers éléments abordés précédemment à propos des pratiques d'observation des roches en France principalement, mais également en Angleterre. Il s'agit par cette contextualisation, de montrer que la méthode pétrographique n'est pas l'unique méthode et qu'il existe des pratiques proches qui facilitent sa réception, voir son adoption. Il est ensuite question d'identifier lorsque cela est possible les éléments permettant cette réception ainsi que les acteurs favorisant l'insertion de cette méthode. Pour terminer, nous nous intéresserons à l'appropriation de cette méthode par les savants.

Nous avons choisi d'aborder principalement la France, en raison de l'accessibilité des sources et des archives disponibles, afin d'être au plus près des pratiques sur une période allant de 1866 à 1890. Ce positionnement de point de vue permet également de déconstruire pour la pétrographie microscopie l'hypothèse d'un « retard » scientifique français. En effet, Carl Geschwind n'évoque pas de « retard américain » dans le cas de la pétrographie microscopique états-unienne et son argumentaire à propos de l'orientation des recherches distinctes entre la communauté allemande et américaine explique en quoi l'insertion de la pétrographie microscopique a été plus tardive. Il nous semble que cet argumentaire est également adapté pour le cas de la France. Les savants utilisent d'autres méthodes pour observer les roches et ils sont aussi très attachés à la détermination chimique des échantillons. L'analyse chimique est une méthode très fortement présente, comme en témoigne le nombre de références importantes

⁷⁹³ David YOUNG, *Mind over magma. The Story of Igneous Petrology*, Princeton University Press, Princeton, 2003, p. 159.

dans le *Bulletin de la Société géologique de France*. La connaissance du terrain est aussi un enjeu de recherche important, avec le projet de la *Carte Géologique de France*. La description des formations géologiques françaises avec la reconstitution de leur histoire en fait partie. De plus, la question des synthèses artificielles, qui consiste à reproduire de manière artificielle des roches à partir des éléments les composant, mobilise de nombreux savants et possède en France un ancrage historique⁷⁹⁴ fort.

Nous revenons également sur le cas de l'Angleterre, puisque ce pays, par son histoire sur l'usage des sections fines ainsi que par les travaux de Sorby, est susceptible d'avoir un terrain favorable au développement de la pétrographie microscopique. Cette étude nous permet également de constituer des chronologies spécifiques aux aires géographiques étudiées et de faire le constat des différences de temporalité de mise en place de la pétrographie microscopique.

I. Des travaux français en pétrographie microscopique (1866-1890)

En France, des observations microscopiques de roches sont conduites depuis 1820. Cependant, elles consistent en une réduction en poudre des échantillons, en s'inspirant de la méthode de Cordier. Au vu des développements allemands des observations pétrographiques, la question de la nature des pratiques françaises se pose. S'inscrivent-elles dans les mouvements induits par Sorby et la communauté allemande ? Quelle influence les traités allemands ont-ils sur la conduite des observations de roches en France ? Certains savants s'emparent-ils de la méthode pour intégrer la pétrographie dans leur recherche ?

Quelle influence allemande ?

Les méthodes allemandes d'observation vont être reprises en France grâce à un savant, Ferdinand Fouqué dont la sensibilité méthodologique va le conduire à mettre au premier plan cette méthode.

⁷⁹⁴ Voir à ce propos l'article de Pierre SAVATON, « La géologie expérimentale : une voie fondatrice de la géologie moderne », *Cahiers François Viète*, série II, n°5, 2011, Imprimerie Centrale de l'université de Nantes, février 2015, pp. 87-103.

Ferdinand André Fouqué (1828-1904) entre à l'École normale supérieure en octobre 1849 et y suit, en outre, les enseignements de Delafosse en minéralogie, de Verdet en physique et de Henri Sainte Claire Deville en chimie⁷⁹⁵. Il obtient son diplôme trois ans plus tard puis collabore notamment avec Henri Sainte Claire Deville en tant qu'assistant de laboratoire. Il suit également des cours à la Faculté de médecine et soutient sa thèse en 1858⁷⁹⁶. Après avoir occupé un poste en tant qu'enseignant et travaillé dans l'industrie des produits chimiques en Angleterre, il part en mission de deux mois avec Charles Sainte Claire Deville, le frère de son maître à l'École Normale Supérieure, en Italie pour y étudier le Vésuve en 1860.

A la suite de cette première excursion, Fouqué effectue de nombreux autres voyages. Il étudie les éruptions du Vésuve, de l'Etna, de Santorin et de Terceira. L'ensemble de ces études sur le terrain sont transcrites dans les *Comptes Rendus de l'Académie des sciences* à travers des lectures d'extraits des lettres qu'il écrit à Charles Sainte Claire Deville⁷⁹⁷ ou encore à Elie de Beaumont. Sa mission pour l'Etna est mandatée par le Ministère de l'Instruction Publique et le savant quitte la France en 1865. En 1866, Fouqué est envoyé par l'*Académie des sciences* pour décrire l'éruption du volcan de Santorin.

Le savant soutient le 9 août 1866 une seconde thèse à la Faculté des sciences de Paris afin d'accéder au grade de docteur ès science physique. Elle est intitulée *Recherches sur les phénomènes chimiques qui se produisent dans les volcans*⁷⁹⁸. Puis, Fouqué repart étudier le volcan de Santorin dans le cadre d'une mission de l'Instruction Publique. En février 1867, pendant cette seconde mission, il se rend sur les îles Céphalonie et de Métélin où ont lieu deux tremblements de terre. L'*Académie des sciences* le mandate également afin d'étudier l'éruption de Terceira à partir de septembre 1867. Il effectue un autre voyage dans les Açores en 1873.

Fouqué publie des articles en lien avec l'analyse chimique des gaz récupérés lors des éruptions de Santorin de 1867⁷⁹⁹. Il effectue des analyses chimiques au sein du laboratoire de

⁷⁹⁵ Marcelin BERTHELOT, « Notice sur la vie et les travaux de Ferdinand Fouqué », Lue à l'Académie des sciences dans la séance publique du 17 décembre 1906, 25 pages.

⁷⁹⁶ Ferdinand André FOUQUE, *Mode d'emploi particulier du thermomètre en médecine*, thèse de doctorat en médecine, 1858.

⁷⁹⁷ Ferdinand André FOUQUE, « Sur l'éruption de l'Etna du 31 janvier 1865, lettre de M. Fouqué à M. Ch. Sainte-Claire Deville », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 60, Janvier-Juin 1865, 1865, p. 548-555, F.A. FOUQUE, « Sur l'éruption de l'Etna du 31 janvier 1865, deuxième lettre de M. Fouqué à M. Ch. Sainte-Claire Deville (extrait) », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 60, Janvier-Juin 1865, 1865, p.1135-1142, F.A. FOUQUE, « Sur l'éruption de l'Etna du 31 janvier 1865, troisième lettre de M. Fouqué à M. Ch. Sainte-Claire Deville (extrait) », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 60, Janvier-Juin 1865, 1865, p.1185- 1189., F.A. FOUQUE, « Sur l'éruption de l'Etna du 1^{er} février 1865, quatrième lettre de M. Fouqué à M. Ch. Sainte-Claire Deville », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 60, Janvier-Juin 1865, 1865, p. 1331-1335, F.A. FOUQUE, « Sur l'éruption de l'Etna du 1^{er} février 1865, lettre de M. Fouqué à M. Elie de Beaumont », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 61, Juillet-Décembre 1865, 1865, p. 210-212, F.A. FOUQUE, « Sur l'éruption de l'Etna et sur les phénomènes éruptifs de l'Italie méridionale, cinquième lettre de M. Fouqué à M. Ch. Sainte-Claire Deville », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 61, Juillet-Décembre 1865, 1865, p. 421-424.

⁷⁹⁸ F.A. FOUQUE, *Recherches sur les phénomènes chimiques qui se produisent dans les volcans*, Thèses présentées à la Faculté des sciences de Paris, 9 août 1866, Gauthier-Villars, 1866, Paris, 82 pages.

⁷⁹⁹ F.A. FOUQUE, « Sur les gaz qui se dégagent en mer, du lieu de l'éruption qui s'est manifestée aux Açores le 1^{er} juin 1867 extrait de lettre de M. Fouqué à M. Ch. Sainte-Claire Deville », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 65, Juillet-Décembre 1867, 1867, p. 674 à 675.

Charles Sainte Claire Deville au Collège de France pour lesquelles il est aidé de Felix Le Blanc⁸⁰⁰. Mais il travaille également avec Gorceix dans le laboratoire des *Hautes Etudes de Géologie* du Collège de France. Fouqué est promu en 1869 pour diriger les travaux du Laboratoire de Géologie. Le savant publie d'autres articles et ouvrages reprenant les principaux résultats de ses expéditions ou bien sur les roches et la pétrographie. Le 13 juin 1881, Fouqué est élu à l'*Académie des sciences* dans la section minéralogie. Il travaille dans les années 1890 sur la pétrographie des feldspaths plagioclases, dans la lignée des travaux de Des Cloizeaux notamment. Il solutionne le problème de la spécification des feldspaths tricliniques. En 1900, Fouqué est élu vice-président de la section minéralogie pour en devenir l'année suivante le président. Le géologue correspond aussi, régulièrement, avec différentes académies, tels que l'Académie de Vienne, de Budapest, de Göttingen, de Rome⁸⁰¹. Il a des contacts avec la Sociétés des Naturalistes de Moscou et l'Institut de Minéralogie et Géologie de Londres. Par ailleurs, sa contribution à la collection de minéralogie du Collège de France est très importante puisqu'il fournit de nombreuses lames et échantillons.

Conservés à l'*Académie des sciences*, les carnets de laboratoire de Fouqué montrent qu'il effectue d'autres manipulations que celles nécessaires à l'analyse chimique et qu'il prépare des sections fines de roches et les observe au microscope. Ces carnets d'études sont au nombre de quatre, dont l'un n'est pas daté, deux datent de 1866-67 et le dernier de 1876⁸⁰². La première page du carnet de d'étude datée de la période 1866-67 présente deux inscriptions :

« *Premiers travaux de pétrographie microscopiques faits en France* »⁸⁰³.

« *Les dessins au crayon sont pris sur fragments de roches pulvérisées. Les photographies ont été prises sur des lames minces de ma fabrication, les premières que j'ai (vues)* »⁸⁰⁴.

⁸⁰⁰ F.A. FOUQUE, *Notice sur les travaux scientifiques de M. Fouqué*, Imprimeur Gauthier-Villars, 1876, Paris, p.6.

⁸⁰¹ Marcelin BERTHELOT, « Notice sur la vie et les travaux de Ferdinand Fouqué », Lue à l'Académie des sciences dans la séance publique du 17 décembre 1906, p. 9

⁸⁰² Les carnets sont mentionnés dans l'inventaire du Fonds Fouqué de l'Académie sous le nom de carnets d'études. Carnets 9.01, 9.01,9.03,9.04 du carton 3 Fonds 28J.

⁸⁰³ Académie des sciences, Fonds Fouqué. 28J dossier n°9, carnet 9.01. Le commentaire extrait du premier carnet de la collection de carnets d'étude de Fouqué est différent de celui écrit au crayon en bois, juste en dessous et dont la provenance est attribuée à Fouqué lui-même. L'inscription semble donc postérieure à la constitution du carnet. Il est possible que l'auteur de ces mots soit Alfred Lacroix, son gendre qui ait ajouté cette indication plus tardivement, pour signaler la primauté des observations.

⁸⁰⁴ Académie des sciences, Fonds Fouqué. 28J dossier n°9, carnet 9.01.

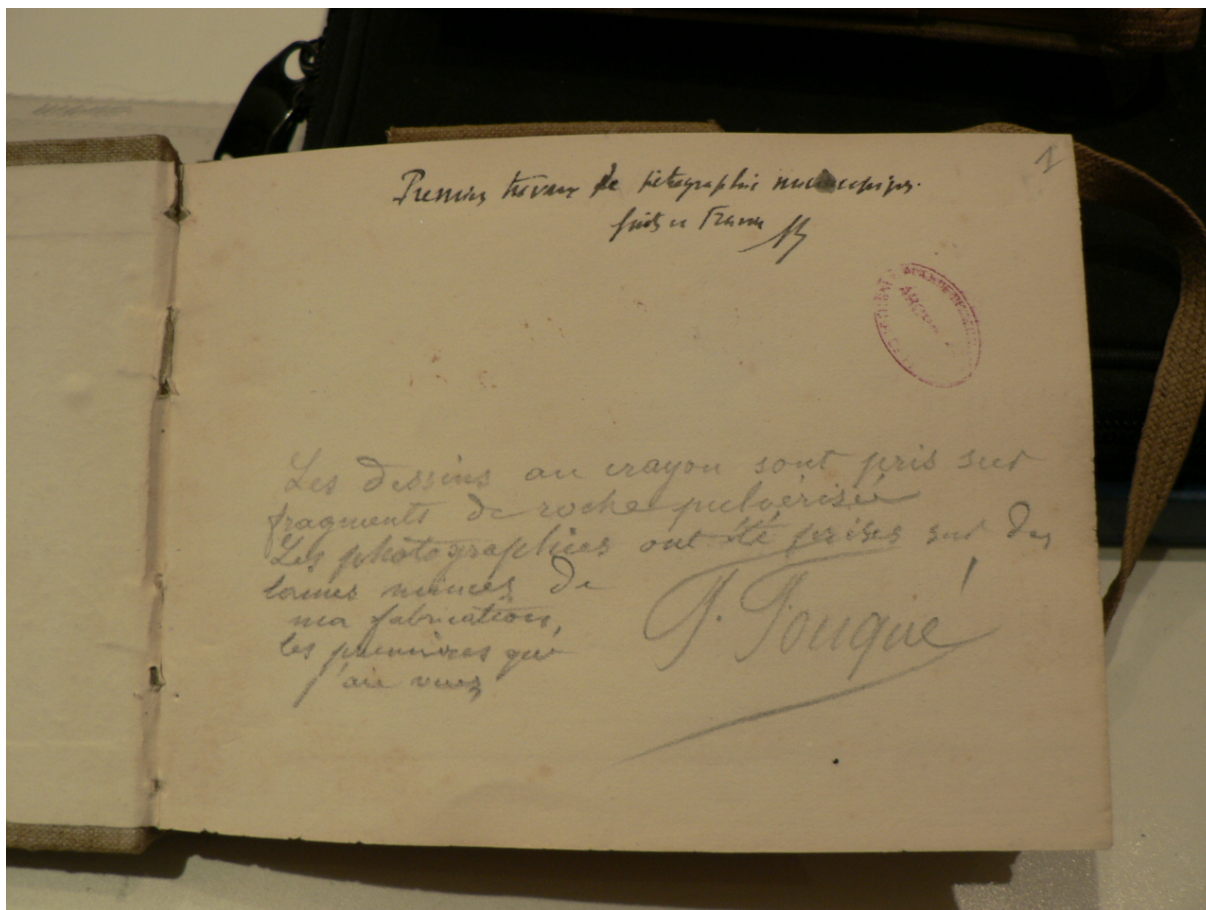


Figure 55 : Photographie de la première page du carnet de laboratoire de Fouqué⁸⁰⁵.

D'après ce document, Fouqué produit lui-même des sections fines de roches. Cette technique d'observation microscopique est combinée à celle utilisée plus traditionnellement en France à cette époque, la réduction en poudre des échantillons.

D'autres éléments viennent compléter les renseignements sur le rôle de Fouqué dans la circulation de la méthode pétrographique allemande. Fouqué rencontre Verneuil lors d'une expédition en 1867 dans le cadre de son étude des éruptions de Santorin⁸⁰⁶. Ce dernier parle à Fouqué des travaux de Sorby sur les observations des roches microscopiques. Cette rencontre suggère que Fouqué est informé de la pratique microscopique de Sorby à propos de l'observation des roches, bien qu'il l'effectue déjà d'après ses carnets.

Le second élément est l'intérêt de Fouqué pour les travaux de Zirkel. En effet, l'étude du fonds d'archives de Fouqué montre la présence d'un cahier, rédigé à la main. Le document est présenté par Fouqué comme suit : « Zirkel, traduction par F. Fouqué, 1863 ».

⁸⁰⁵ FOUQUE, Carnet de pétrographie microscopique, Académie des sciences, Fonds Fouqué 28J, carton 3, 9.01, 1866-67, 101 pages

⁸⁰⁶ Ferdinand André FOUQUE, « Sur les phénomènes volcaniques observés à Terceira (îles des Açores), première lettre de M. Fouqué à M. Ch. Sainte-Claire Deville », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 65, Juillet-Décembre 1867, 1867, p. 965 à 968.

L'auteur précise à la page suivante qu'il s'agit d'une « Traduction libre du traité de pétrographie publié en 1863 par Zirkel, faite dans l'année qui a suivi la publication de l'ouvrage ».

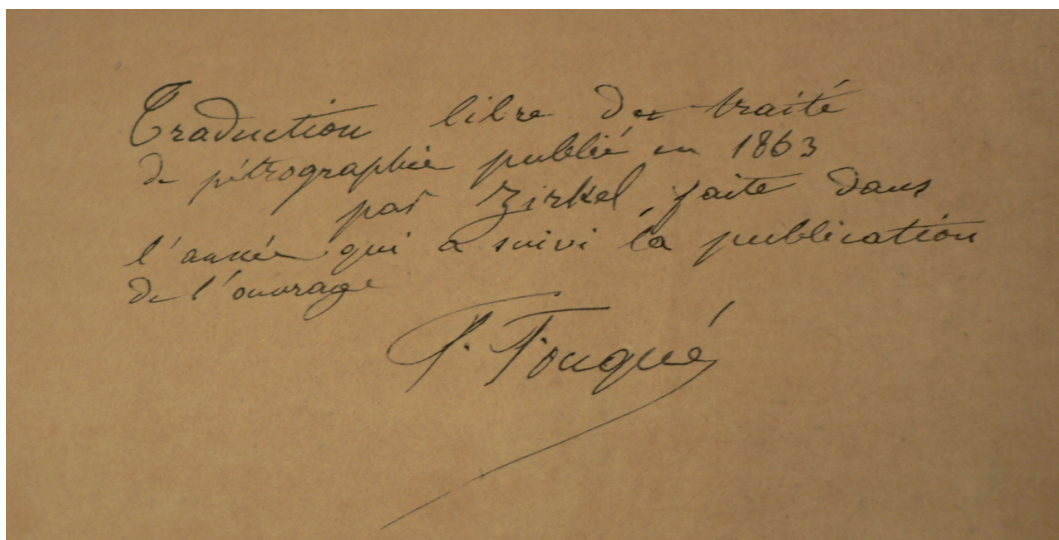


Figure 56 : Photographie de la seconde page manuscrite du livre traduit par Fouqué⁸⁰⁷.

La date de 1863 que donne Fouqué pose question. En effet, la date de publication retenue pour le traité de pétrographie de Zirkel est 1866. Or Fouqué écrit 1863 à deux reprises. La traduction étant libre et le nombre de pages entre l'ouvrage de Zirkel et celui écrit par Fouqué n'est pas le même. Nous avons tenté d'effectuer une comparaison des contenus, mais Fouqué ne reprend pas les mêmes titres que Zirkel. Nous avons essayé d'identifier des éléments communs aux deux publications dans le but de vérifier la correspondance des deux ouvrages. Par exemple, Fouqué mentionne les travaux de Vogelsang à propos des corps qu'il observe au microscope et cite à la suite de cette information deux références, l'une du *Poggendorff* de 1863 et l'autre de la *Société Géologique et Polytechnique de West Riding* dans le Yorkshire. Ces éléments se retrouvent également dans l'ouvrage de Zirkel⁸⁰⁸. Mais cet unique élément n'est pas suffisant pour conclure qu'il s'agit bien de la publication de Zirkel de 1866.

La circulation des travaux allemands et notamment ceux de Zirkel n'est pas l'unique moyen pour Fouqué d'appréhender la pétrographie microscopique. En effet, dans un article, qu'il publie en 1875⁸⁰⁹, Fouqué relate son voyage en Allemagne en 1874. Il précise être resté huit jours dans le laboratoire de pétrologie de Leipzig grâce à Zirkel. L'auteur y décrit les locaux, les instruments et les manières d'enseigner allemandes. Fouqué indique également qu'il a visité l'établissement de Fuess dans lequel y sont fabriquées des sections fines de roches de manière industrielle. La correspondance qu'il entretient régulièrement avec sa femme Marie Fouqué

⁸⁰⁷ FOUQUE, Académie des sciences, Fonds Fouqué 28J, carton 2, 6.15, 1863, 178 pages, p.2.

⁸⁰⁸ Ferdinand ZIRKEL, *Lehrbuch der petrographie*, Drock von Carl Georgi, Bonn, 1866p.426.

⁸⁰⁹ Ferdinand A. FOUQUE, « Travaux scientifiques étrangers, La pétrologie en Allemagne, ses méthodes nouvelles et ses laboratoires en Autriche et en Allemagne », *La Revue scientifique de la France et de l'étranger: revue des cours scientifiques*, Série 2 Tome 8, Janvier-Juillet 1875, 1875, p.805- 809.

nous permet cependant d'identifier la temporalité de ce voyage. En effet, Fouqué écrit depuis différentes villes d'Allemagne à sa femme entre octobre et novembre 1874⁸¹⁰.

D'après Jacques Touret, Fouqué aurait effectué un autre voyage en Allemagne, cette fois-ci invité par Rosenbusch à Heidelberg et cette visite aurait duré près d'un an⁸¹¹. Les deux voyages ne peuvent être les mêmes puisque Fouqué précise que Rosenbusch est le responsable du laboratoire de pétrographie de Strasbourg. Or, ce n'est qu'à partir de 1877 qu'il prend la direction du laboratoire de Heidelberg. Par ailleurs, il n'y a pas d'autre mention dans les archives de Fouqué d'un voyage aussi long en Allemagne, d'autant qu'il effectue des voyages géologiques en France pour le compte de la Carte Géologique du Cantal à cette période.

Fouqué effectue donc des observations microscopiques en sections fines. Le terrain scientifique français, en dehors des dispositions personnelles du savant, semble favorable à ce type de travaux. En effet, l'usage du microscope, dans l'étude des roches sous forme de poudre, est ancré dans les pratiques depuis les années 1820, suite à la parution de Cordier⁸¹². Bien que pour des usages différents, Des Cloizeaux utilise également à partir de 1857 le microscope pour observer les minéraux, participant à renforcer l'usage de l'instrument dans les pratiques d'observation du règne minéral. Pour autant, l'ombre de Zirkel se fait sentir dans les références de Fouqué et bien qu'il conduise lui-même des observations pétrographiques dès 1866, il n'est pas exclu que l'idée lui provienne des travaux publiés par le savant dans les années 1860.

Se pose alors la question de la continuité des pratiques de type pétrographiques de Fouqué et de l'influence que peut avoir celui-ci sur la diffusion de la méthode pétrographique en France.

Un triumvirat français

L'historiographie actuelle de la pétrographie française mentionne régulièrement deux autres savants Auguste Michel-Lévy et Alfred Lacroix. Fouqué, bien que mentionné dans l'ouvrage de David Young⁸¹³ ainsi que dans l'article de Touret⁸¹⁴, n'est pas autant mis en avant que les deux autres savants. Cependant, d'après nous, Fouqué joue un rôle important dans l'établissement d'une pétrographie microscopique française, par l'impulsion qu'il donne aux observations microscopiques. Il contribue avec Auguste Michel-Lévy dans un premier temps, à la visibilité de cette méthode ainsi qu'à celles des travaux allemands dans ce domaine. La mise en avant de cette méthode dans les discours de Fouqué favorise cet élan. Les deux savants, par leurs travaux respectifs participent à l'insertion de cette méthode pétrographique dans les

⁸¹⁰ Ferdinand André FOUQUE, « Correspondances », Académie des sciences, Fonds Fouqué 28J, carton 5, lettres 12.067 à lettres 12.079.

⁸¹¹ Jacques Léon Robert TOURET, « De la pétrographie à la pétrologie », *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie*, Troisième série, Tome 20, n°8, 2006, p. 174-175.

⁸¹² Pierre Louis CORDIER, *Mémoire sur les substances minérales dites en masses, qui entrent dans la composition des Roches Volcaniques de tous les âges*, Imprimerie de Mme V^c Courcier, 1815, Paris, 87 pages.

⁸¹³ David YOUNG, *Mind over magma. The Story of Igneous Petrology*, Princeton University Press, Princeton, 2003, p.159.

⁸¹⁴ Jacques Léon Robert TOURET, « De la pétrographie à la pétrologie », *op.cit.*, p.176

pratiques savantes. C'est ainsi que nous avons repris volontairement l'expression de Young à propos du triumvirat allemand pour l'appliquer à ces trois savants français. Ils sont d'après nous le miroir français de la dynamique pétrographique allemande des années 1870-80, notamment par leurs travaux et leurs discours en faveur de cette méthode.

Fouqué publie en 1873, dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, un mémoire « Sur les inclusions vitreuses renfermées dans les feldspaths des laves de Santorin ». Il y effectue des observations microscopiques et traite des minéraux essentiels des laves de Santorin⁸¹⁵. C'est un mémoire classé comme appartenant au domaine de la minéralogie⁸¹⁶. Fouqué utilise le microscope polarisant, pourvu de prismes nicols en positions croisées afin de reconnaître des cristaux. En outre, il fait également référence aux travaux de Zirkel. Il s'insère dans leur continuité car Fouqué précise que ses observations microscopiques complètent celles publiées par Zirkel⁸¹⁷. Des photographies sont jointes, faites à un grossissement de 250 diamètres :

« Ces photographies ont été faites avec un microscope solaire appartenant au laboratoire d'Histologie du Collège de France et au moyen de glaces sèches préparées par M. Stebbing »⁸¹⁸.

Fouqué, à l'instar de Des Cloizeaux, utilise la photographie pour fixer les observations microscopiques effectuées. Le commentaire ci-dessus est d'autant plus important que le savant précise le type d'appareil utilisé et son appartenance à un laboratoire ainsi que la personne dédiée à ce type de manipulations. Cet exemple prouve tout d'abord, que lorsque cela est nécessaire des prêts d'instruments entre laboratoires au sein du *Collège de France* sont possibles. Il montre également l'usage de la photographie pour fixer les observations microscopiques. Des Cloizeaux prend également des photographies des observations qu'il effectue d'après Caroline Kaspar⁸¹⁹, montrant que cet usage par Fouqué n'est pas si rare. Les carnets de Fouqué mentionnés précédemment contiennent également des clichés d'observations microscopiques (voir figure ci-dessous), tout en incluant des dessins à la main réalisés également par le savant lors de ses observations.

⁸¹⁵ Ferdinand André FOUQUE, « Sur les inclusions vitreuses renfermées dans les feldspaths des laves de Santorin », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 77, Juillet-Décembre 1873, 1873, p.1322-1325.

⁸¹⁶ Notons que les commissaires nommés pour ce mémoire sont Charles Sainte Claire Deville, Daubrée et Des Cloizeaux.

⁸¹⁷ Ferdinand André FOUQUE, « Sur les inclusions vitreuses ... », *op.cit.*, p.1322

⁸¹⁸ Ferdinand A. FOUQUE, « Sur les inclusions vitreuses ... », *op.cit.*, p.1325.

⁸¹⁹ Caroline KASPAR, *Optique et Minéralogie au XIX^e siècle. L'approche interdisciplinaire d'Alfred Des Cloizeaux*, Thèse de doctorat, Université de Lyon-1, p.88.

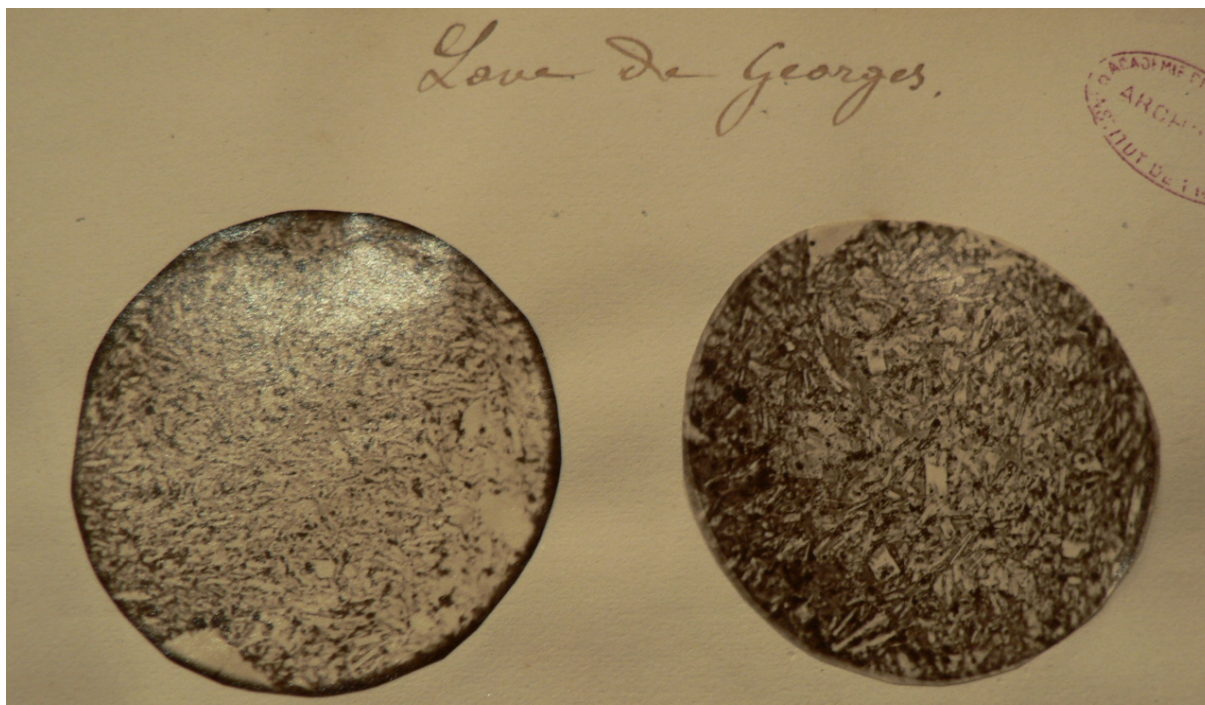


Figure 57 : Photographie des Laves de Georges observées au microscope par Fouqué⁸²⁰.

Le savant continue dans la décennie 1870 à publier des articles dans lesquels il mobilise les échantillons recueillis lors de ses missions ainsi que des techniques d'analyse chimique et d'observation microscopique. A titre d'exemple, il publie en 1876 un article à propos de la détermination des minéraux des roches⁸²¹ ou bien encore un autre article en 1875 où il s'attache à décrire les nombreux feldspaths contenus dans les laves de Santorin⁸²².

Pour autant, Fouqué ne s'attache pas uniquement à publier des articles sur ses résultats de recherches. En témoigne sa publication de 1875 sur la pétrologie allemande où il se positionne explicitement en faveur de la pétrographie microscopique⁸²³. Quatre ans plus tard, il publie un second article, qui s'intitule *Les applications modernes du microscope à la géologie*⁸²⁴. Malgré le titre de l'article, le savant ne s'attarde pas uniquement sur l'instrument, mais bien sur une méthode dont le microscope fait partie.

Ainsi, Fouqué commence son article par un historique de la pétrologie moderne. Il convoque un certain nombre de figures savantes comme Cordier, Sorby, mais aussi Zirkel, Rosenbusch ou bien dans le domaine de l'optique Haidinger, Tschermak ou encore Des Cloizeaux. Cette

⁸²⁰ Ferdinand A. FOUQUE, Carnets de pétrographie microscopique, Académie des sciences, Fonds Fouqué 28J, carton 3, 9.01, 1866-67, 101 pages

⁸²¹ Ferdinand A. FOUQUE, « Détermination des minéraux microscopiques des roches, Collège de France, Histoire naturelle des corps inorganiques, Cours de M. Fouqué », *La Revue scientifique de la France et de l'étranger : revue des cours scientifiques*, Série 2 Tome 11, Juillet 1876-Janvier 1877, 1876, p. 589-596.

⁸²² Ferdinand A. FOUQUE, « Etude des nodules à Oligoclase des laves de la dernière éruption de Santorin », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Juillet-Décembre 1875, 1875, Tome 81, p.220 à 225.

⁸²³ Ferdinand A. FOUQUE, « Travaux scientifiques étrangers, La pétrologie en Allemagne, ses méthodes nouvelles et ses laboratoires en Autriche et en Allemagne », *La Revue scientifique de la France et de l'étranger : revue des cours scientifiques*, Série 2 Tome 8, Janvier-Juillet 1875, 1875, p.805- 809.

⁸²⁴ Ferdinand A. FOUQUE, « Les applications modernes du microscope à la géologie », *Revue des deux mondes*, Tome 34 Période 3, Juillet-Août 1879, 1879, p.406-431.

construction historique permet alors à Fouqué d'identifier des périodes et d'y rattacher des savants représentatifs des avancées dans le domaine. Cet exercice permet de montrer que les pratiques mises en avant par le savant proviennent d'un long processus, qu'elles ont pour origine des questionnements de recherches importants, notamment pour la géologie et que la pratique qu'il traite s'ancre historiquement, avec des figures représentatives.

La notion de progrès est aussi avancée par l'auteur quant à l'insertion du microscope dans la pratique savante. Ainsi, le savant évoque les applications permises par l'instrument, la résolution de questions de recherches, comme l'agencement des minéraux, leur texture ou les phases de cristallisation. Fouqué indique aussi que l'usage du microscope permet de déterminer de manière exacte les éléments qui composent une roche, sous-entendant ainsi le caractère de précision que permet l'usage de l'instrument dans l'étude des roches.

Fouqué cite également un exemple, celui de la pâte des porphyres. C'est un exemple assez représentatif de l'intérêt d'utiliser un microscope pour observer une roche. Les porphyres sont constitués de minéraux plus ou moins visibles à l'œil nu et d'une pâte d'apparence homogène ou amorphe, c'est-à-dire non cristallisée. Or, lorsque cette pâte est observée avec un microscope, elle ne s'avère non pas être amorphe, mais bien constituée de minéraux microscopiques. L'exemple qu'utilise Fouqué a valeur de démonstration, le cas des porphyres est le plus représentatif de ce qu'a permis l'insertion du microscope en minéralogie, puis en géologie. La prise en compte des minéraux constituant ces pâtes peuvent modifier la détermination de la roche et en conséquence avoir une influence sur la classification.

Ainsi, comme pour d'autres discours analysés auparavant, l'usage de l'exemple n'est pas là pour illustrer l'argumentaire mais pour le renforcer. Le microscope est donc pour Fouqué très important pour la géologie.

Cependant, en plus de l'argumentaire développé par Fouqué à propos de l'importance du microscope pour la géologie, l'auteur explique que l'usage décrit n'est possible qu'après avoir dépassé certaines limites. Il évoque notamment la production de sections fines. Ainsi, Fouqué convoque la notion d'obstacle pour expliquer un usage tardif du microscope dans les pratiques géologiques. D'après le savant, tant que, par exemple le problème de production des sections fines n'est pas résolu, l'utilisation du microscope n'est pas possible. De plus, mettre en avant l'existence de limites dans des méthodes déjà existantes, mais également les doutes des savants sur l'usage de ces méthodes, permet de dégager un espace pour d'autres pratiques et d'autres instruments que ceux déjà mobilisés par les savants. En conséquence de quoi, l'insertion d'une méthode mobilisant le microscope s'explique et le savant va même au-delà, puisqu'il ne justifie pas uniquement la mise en place du microscope mais bien d'une méthode fondée sur l'instrument et la constitution de ce que nous avons nommé un ensemble technique. Cette citation en est un bon exemple :

« Les données que fournit l'examen optique suffisent en général à elles seules pour permettre de déterminer sûrement les minéraux que l'on aperçoit au microscope dans une lamelle mince »⁸²⁵.

Fouqué ne met pas seulement en avant l'usage du microscope dans la détermination des roches, mais bien l'usage du microscope combiné à d'autres éléments que sont les sections fines et la lumière polarisée. L'ensemble constitue une méthode car elle répond aux questions des savants à propos de l'identification ou bien de la nature des roches étudiées. Il évoque ici la pétrographie microscopique sans jamais la nommer. Fouqué ajoute enfin que cette méthode génère de nouvelles questions, ce qui en fait un outil particulièrement intéressant dans un domaine. En effet, le microscope ou bien son usage combiné aux autres éléments mentionnés auparavant permet à la fois d'apporter des réponses à des questions de recherche du domaine de la géologie, mais contribue de même à en générer d'autres, participant ainsi à la dynamique du domaine de recherche.

En 1914, Alfred Lacroix⁸²⁶, collaborateur de Michel-Lévy et gendre de Fouqué, explique l'existence de nombreuses réticences quant à ce nouvel usage du microscope en géologie. Les savants français sont méfiants face à cette méthode. Henri Sainte Claire Deville dit par exemple que « *Les pétrographes sont des chasseurs qui tirent au jugé [...]* »⁸²⁷. Ces éléments viennent éclairer à la fois les motivations de Fouqué quant à l'écriture de ses articles en 1875 et 1879, mais explique également d'après Lacroix les résultats fructueux de la collaboration de Fouqué avec Auguste Michel-Lévy.

Fouqué rencontre Auguste Michel-Lévy lors d'une réception chez Gabriel Auguste Daubrée (1814-1896), minéralogiste qui enseigne à l'Ecole des Mines à partir de 1862 et qui en prend la direction entre 1872 et 1884⁸²⁸. A partir de 1878, les deux savants collaborent sur un même objet, le développement des observations microscopiques pour la détermination et l'identification des minéraux contenus dans les roches. Les deux savants publient ensemble un ouvrage en 1879 qui s'intitule *Minéralogie micrographique, roches éruptives françaises*⁸²⁹. La même année, paraît de Fouqué un livre reprenant l'ensemble de ses observations sur Santorin⁸³⁰ ainsi que l'article sur les applications du microscope à la géologie⁸³¹.

Michel-Lévy et Fouqué sont envoyés en 1884 en mission par *l'Institut de France* en Andalousie afin d'étudier le tremblement de terre. Un an plus tard, les deux savants publient un autre ouvrage, *Synthèse des minéraux et des roches*, à propos des synthèses artificielles de minéraux et de roches qu'ils ont conduites. Jacques Touret est déjà revenu en détails sur les

⁸²⁵ Ferdinand A. FOUQUE, « Les applications modernes du microscope à la géologie », *Revue des deux mondes*, Tome 34 Période 3, Juillet-Août 1879, 1879, p.429

⁸²⁶ Alfred LACROIX, « Notice historique sur Auguste Michel Lévy, membre de la section de minéralogie », lue dans la séance publique annuelle du 21 décembre 1914, p. XIII.

⁸²⁷ Alfred LACROIX, *ibid.*

⁸²⁸ <http://www.anales.org/archives/x/daubree.html>

⁸²⁹ Ferdinand André FOUQUE et Auguste MICHEL-LEVY, *Minéralogie micrographique, roches éruptives françaises*, Imprimerie de A. Quantin, Paris, 1879, 509 pages.

⁸³⁰ Ferdinand André FOUQUE, *Santorin et ses éruptions*, G. Masson, Paris, 1879, 440 pages.

⁸³¹ Ferdinand André FOUQUE, « Les applications modernes ... », *op.cit.*, p.406-431.

premières années de la carrière d'Auguste Michel-Lévy⁸³² et nous ne nous attarderons que peu sur ces éléments pour nous concentrer davantage sur ses travaux en lien avec la pétrographie microscopique. Auguste Michel-Lévy est admis à l'Ecole Polytechnique en 1861 et à l'Ecole des Mines en 1867, dont il sort premier pour les deux institutions. Il devient secrétaire du *Conseil Général des Mines* en 1869 et effectue une mission officielle en Saxe. Michel-Lévy entre au service de la *Carte Géologique de France* en 1870 et dix-sept ans plus tard, il en devient le directeur. En 1880, il est également directeur adjoint du laboratoire des Hautes Etudes de géologie, qui est annexé à la chaire d'Histoire Naturelle des corps inorganiques du *Collège de France*. En 1896, il est nommé à l'*Académie des sciences* dans la section minéralogie. Michel-Lévy occupe également d'autres fonctions comme celle de membre du Conseil d'administration du *Conservatoire des Arts et Métiers* et lors de la création du Comité Technique du Laboratoire d'Essai, il en devient le président.

Alfred Lacroix dans la notice historique qu'il consacre à Michel-Lévy décrit ses travaux comme étant minéralogiques et pétrologiques. Michel-Lévy effectue durant sa carrière de nombreuses études descriptives mais propose également des développements méthodologiques importants. A titre d'exemple, Michel-Lévy publie un article en 1875 dans lequel il mobilise les méthodes de pétrographie microscopique⁸³³. L'article comprend des planches colorées illustrant les résultats de ses observations⁸³⁴. Les descriptions des planches indiquent que les observations sont faites dans un premier temps sur l'échantillon à l'œil nu, c'est à dire de manière macroscopique. Michel-Lévy décrit la couleur, la taille du grain, les éléments visibles avec leur forme, leur aspect. Il identifie parfois certains minéraux. Puis, l'auteur passe à l'étude microscopique des échantillons, en sections fines, à un grossissement de 80 fois et avec des nicols croisés également. Il identifie des minéraux dont il précise les formes et les teintes. Le caractère dichroïque de certains est mentionné, tout comme les irisations. Les éléments cités à titre d'exemple correspondent en tout point aux caractères minéralogiques mobilisés par les savants pour identifier un minéral. Cet usage est toujours d'actualité dans les pratiques descriptives savantes même avec des roches taillées en sections fines. La méthode pétrographique s'est construite sur une base de savoirs minéralogiques existants, bien que sa spécificité nécessite d'avoir recours à d'autres caractères, comme les teintes de polarisation par exemple.

De surcroît, en 1878, Michel-Lévy publie un autre article dans le domaine de la minéralogie présenté par Des Cloizeaux⁸³⁵ qui l'introduit ainsi :

⁸³² Jacques L. R. TOURET, « Michel Lévy (Auguste Michel-Lévy 1844-1911) brillant élève de l'Ecole impériale des mines », *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie*, Troisième série, Tome 24, n°5, 2010, p.103-116.

⁸³³ Auguste MICHEL-LEVY, « De quelques caractères microscopiques des roches anciennes acides, considérées dans leurs relations avec l'âge des éruptions », *Bulletin de la Société Géologique de France*, Tome 3 série 3, Années 1874-1875, 1875, p.199-236.

⁸³⁴ Nous reviendrons plus en détails sur les questions de représentations graphiques dans le chapitre Chapitre 9, III, p.236

⁸³⁵ Auguste MICHEL-LEVY, « De l'emploi du microscope polarisant à la lumière parallèle pour la détermination des espèces minérales contenues dans les plaques minces de roches éruptives », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 86, Janvier-Juin 1878, 1878, p.346-348.

« J'ai l'honneur de soumettre à l'Académie le résultat d'un travail sur la détermination minéralogique des éléments cristallisés contenus dans les plaques minces des roches éruptives au moyen des extinctions qu'ils subissent dans la lumière parallèle entre deux Nicols croisés »⁸³⁶.

L'auteur utilise un microscope polarisant la lumière, qui est parallèle, car l'orientation des cristaux est indéterminée. Cependant cette méthode fonctionne sur de nombreux cristaux. Il étudie les variations des positions d'extinction d'un minéral donné suivant une petite section qu'il peut présenter de manière parallèle à son arête d'allongement. Michel-Lévy présente ensuite ses résultats numériques des principaux minéraux des roches éruptives comme les pyroxènes, les amphiboles ou encore l'épidote⁸³⁷. Il met notamment en application cette technique à la détermination des feldspaths tricliniques dans quelques séries de roches.

Ces deux publications illustrent le travail de l'auteur en pétrographie microscopique. Michel-Lévy utilise les méthodes des pétrographes allemands pour étudier des roches mais surtout applique la pétrographie microscopique aux échantillons qu'il étudie de manière systématique. D'ailleurs, l'ouvrage qu'il publie en 1879 avec Fouqué, sur lequel nous reviendrons plus en détails par la suite, témoigne de l'application de la pétrographie microscopique à des questions d'identification et de classification des roches.

Cependant, Michel-Lévy ne s'attache pas uniquement à utiliser la pétrographie microscopique telle qu'elle est pratiquée, il s'attache également à perfectionner les outils utilisés et notamment celui de la lumière polarisée. En effet, toujours d'après Lacroix, Michel-Lévy apporte une méthode exacte à l'usage de la lumière polarisée. Rappelons que Des Cloizeaux utilise la lumière polarisée pour identifier les cristaux. Cependant, les plans de découpe des minéraux selon leurs axes optiques sont connus. Or, ce n'est pas le cas pour une roche taillée en sections fines. La méthode de Des Cloizeaux ne peut alors pas s'appliquer directement à l'identification des minéraux au sein des roches. Michel-Lévy se base sur la méthode de Des Cloizeaux pour répondre à cette contrainte spécifique et contribue à la mise en place d'une méthode pétrographique incluant des caractères optiques basés sur l'usage de la lumière polarisée analysée.

Le savant publie de nombreux articles relatifs à ce domaine comme par exemple, celui publié en 1882 dans les *Comptes Rendus de l'Académie des sciences* qui s'intitule « *Sur les positions d'égale intensité lumineuse dans les cristaux maclés, entre nicols croisés. Application à l'étude des bandes concentriques des feldspaths* »⁸³⁸ ou encore sa « *Note sur la biréfringence de quelques minéraux, applications à l'étude des roches en plaques minces* »⁸³⁹.

⁸³⁶ Auguste MICHEL-LEVY, « De l'emploi du microscope polarisant à la lumière parallèle pour la détermination des espèces minérales contenues dans les plaques minces de roches éruptives », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 86, Janvier-Juin 1878, 1878, p.346.

⁸³⁷ Auguste MICHEL-LEVY, « De l'emploi du microscope polarisant ... », *op.cit.*, p.346-347.

⁸³⁸ Auguste MICHEL-LEVY, « Sur les positions d'égale intensité lumineuse dans les cristaux maclés, entre nicols croisés. Application à l'étude des bandes concentriques des feldspaths », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 94, Janvier-Juin 1882, 1882, p.93.

⁸³⁹ Auguste MICHEL-LEVY, « Note sur la biréfringence de quelques minéraux, applications à l'étude des roches en plaques minces », *Bulletin de la Société Minéralogique de France*, Tome 7, 1884, p.43.

Il s'intéresse par exemple aux allongements ou aplatissements de certains minéraux et utilise cette caractéristique pour l'identification des minéraux taillés en sections fines. Ce travail est particulièrement visible dans l'ouvrage qu'il publie conjointement avec Alfred Lacroix, *Les minéraux des roches* en 1888⁸⁴⁰. En effet, l'ouvrage est structuré en deux parties dont la première, traite de l'usage de la minéralogie optique dans la détermination des minéraux tandis que la seconde s'attache à décrire les caractéristiques des minéraux contenus dans les roches.

Dans la première partie de l'ouvrage, les auteurs exposent un certain nombre de caractères ou de mesures qui sont possibles en pétrographie microscopique. Le clivage en fait partie comme les inclusions, le relief, le poli et la coloration. Ces éléments sont exploitables en lumière transmise naturelle. La lumière polarisée permet la mise à jour d'autres caractères, comme l'extinction, dont l'identification des positions participe à l'identification d'un minéral. Les auteurs traitent également de la détermination du signe⁸⁴¹ faisant le pont entre les travaux de Des Cloizeaux à propos des cristaux et leur application difficile à la section fine.

La mesure de la biréfringence est également importante et Michel-Lévy parvient à construire un tableau reliant l'épaisseur et la biréfringence des minéraux en sections fines. D'après lui, :

*« L'emploi, pour les déterminations microscopiques du tableau Pl.I procure immédiatement un caractère différentiel précieux, car cette observation se fait pour ainsi dire au premier coup d'œil et l'épaisseur habituelle des plaques minces lui est très favorable ; car elle étale les principaux minéraux des roches dans les trois premiers ordres de Newton, c'est-à-dire dans ceux dont les couleurs sont les plus faciles à distinguer les unes des autres »*⁸⁴².

La planche évoquée reprend la succession des couleurs de Newton avec les différents ordres (premier ordre, second...). C'est un outil discriminant rapidement utilisable pour identifier et en déduire la valeur de la biréfringence d'un minéral lors d'une observation. Par ailleurs, les auteurs évoquent également les observations des sections fines de roches en lumière convergente et les figures obtenues afin de connaître les positions du plan des axes optiques. L'ouvrage de Michel-Lévy et Lacroix est assez technique. Les explications sont spécifiques à l'optique minéralogique et permettent d'apporter des caractères discriminant supplémentaires pour la pétrographie microscopique. Les auteurs sont également didactiques puisqu'ils explicitent les instruments mobilisés, la manière de les utiliser pour conduire ces observations. Le livre s'inscrit dans la lignée de celui publié avec Fouqué. Il est cependant le témoin des avancées dans le domaine de la pétrographie.

⁸⁴⁰ Auguste MICHEL-LEVY et Alfred LACROIX, *Les minéraux des roches*, Editeurs Baudry et Cie, 1888, Paris, 334 pages.

⁸⁴¹ Auguste MICHEL-LEVY et Alfred LACROIX, *Les minéraux des roches*, *op.cit.*, p. 41-50.

⁸⁴² Auguste MICHEL-LEVY et Alfred LACROIX, *Les minéraux des roches*, *op.cit.*, p. 65.

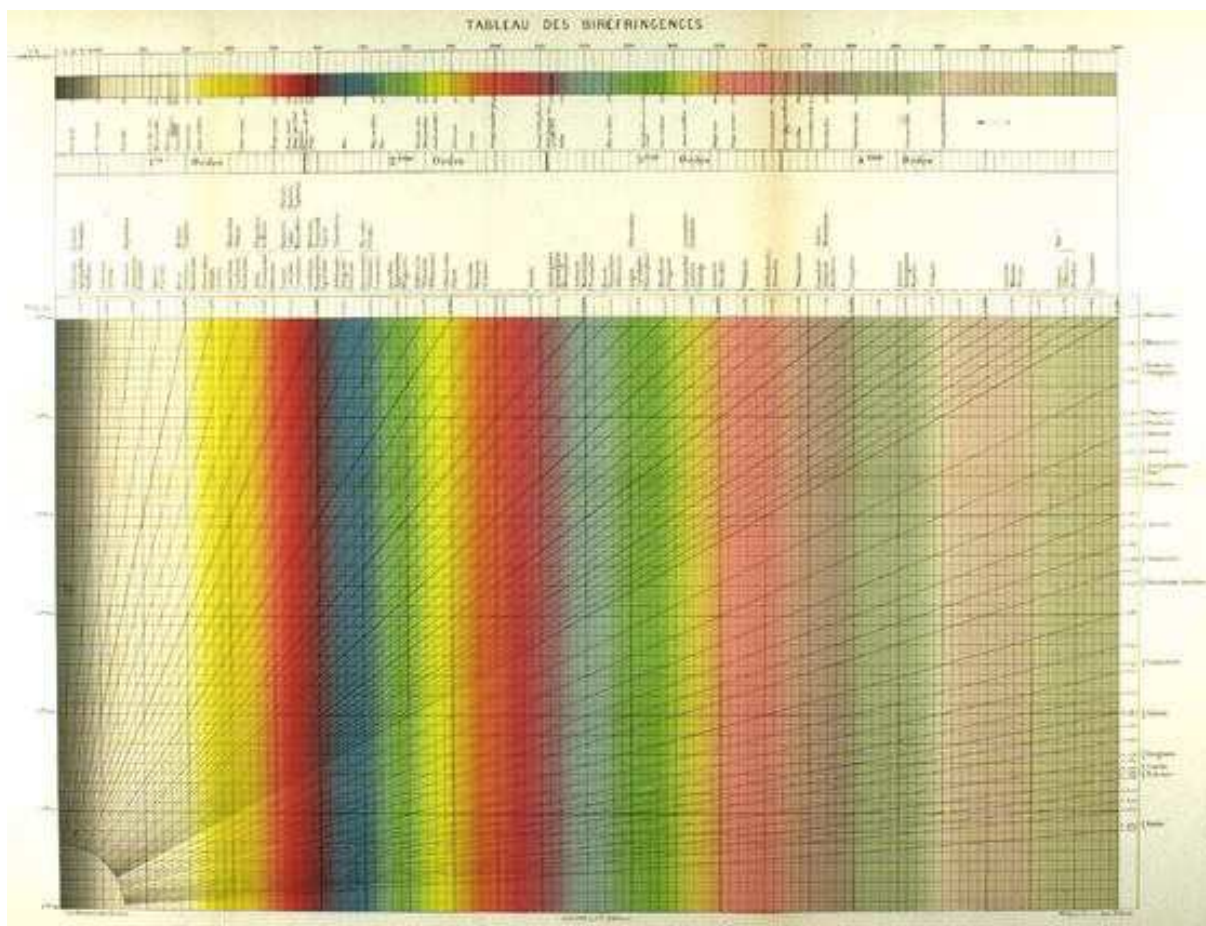


Figure 58 : Diagramme d'Auguste Michel-Lévy. ⁸⁴³

Un dernier acteur déjà évoqué précédemment, Alfred Lacroix (1863-1948), le troisième savant de notre triumvirat français joue un rôle important dans la pétrographie microscopique française. Il est le plus jeune des trois et va s'engouffrer dans la dynamique pétrographique qu'initie Fouqué et Michel-Lévy. Par les recherches qu'il mène, mobilisant systématiquement la pétrographie microscopique, Lacroix contribue à consolider cette dernière en France. De plus, ses travaux dans les années 1890 sont représentatifs de l'évolution de la pétrographie microscopique vers des recherches de nature moins descriptive.

Lacroix est issu d'une famille de pharmaciens. Il s'inscrit en 1883 à la Faculté de pharmacie et le 18 novembre, d'après Jean Prouvost⁸⁴⁴, il assiste à la séance de rentrée de la *Société de Minéralogie*, présidée alors par Fouqué. Il est également intéressé par la chimie et la minéralogie. Lacroix se présente à Des Cloizeaux, alors titulaire de la chaire de minéralogie du *Muséum d'Histoire Naturelle* et il assiste aux cours de Fouqué au *Collège de France*, à ceux de Friedel à la Sorbonne ainsi que ceux de Mallard à l'*Ecole des Mines*. Lacroix engrange un savoir minéralogique, cristallographique et géologique assez dense par ses différents

⁸⁴³ Auguste MICHEL-LEVY et Alfred LACROIX, *Les minéraux des roches*, Editeurs Baudry et Cie, 1888, Paris, planche I.

⁸⁴⁴ Jean PROUVOST, « Alfred Lacroix (1863-1948) ou l'œuvre inachevée », *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie*, Troisième série, Tome 12, n°9, 1998, p.117-125.

enseignements. En 1887, il obtient son diplôme de pharmacien première classe et grâce à Fouqué, occupe un poste de préparateur au Collège de France. Lacroix obtient son doctorat ès sciences en 1890 en abordant la question du gneiss à pyroxène et des roches à mémerite⁸⁴⁵. Il épouse la fille de Fouqué, Catherine, cinq jours plus tard. Lacroix publie en 1893 le premier tome de *Minéralogie de la France et de ses colonies*⁸⁴⁶, dont deux autres tomes seront publiés par la suite.

Lacroix écrit aussi de nombreux articles, par exemple au sujet des aérolithes, qu'il classe selon des critères physico-chimiques. Il étudie des roches comme la lherzolite, travaille aussi sur les questions du métamorphisme de contact dans les Pyrénées. Certains de ces articles sont mentionnés dans le chapitre suivant à propos de la mobilisation de l'ensemble technique pétrographique.

Lacroix est envoyé en 1902 par l'*Académie des sciences* et le Ministère des colonies pour étudier l'éruption du Mont Pelée. Il publie d'ailleurs ses observations en 1904⁸⁴⁷. Par ailleurs, l'article de Jacques Avias permet d'identifier avec plus de précisions les travaux qu'effectue Lacroix dans le Pacifique⁸⁴⁸. Ainsi, Lacroix publie en 1894 sur l'Océanie. Ses travaux sont basés, d'après l'auteur, sur des échantillons rapportés par des explorateurs ou bien encore des collaborateurs. Avias distingue dans les travaux de Lacroix, à propos de ce continent, trois phases. La première consiste en une étude des minéraux de la Nouvelle Calédonie entre 1894 et 1902. La seconde est une étude des produits volcaniques du Pacifique jusqu'en 1940 puis Lacroix dans une troisième phase d'après l'auteur s'attache aux îles circumpacifiques après 1940. Lacroix effectue ainsi tout au long de cette période des analyses chimiques et observe de nombreux échantillons de roches. Il constitue un large inventaire de roches, plus de 200 d'après Avias. Ces travaux lui permettent notamment de suggérer l'idée qu'il existerait deux domaines volcaniques distincts dans le Pacifique.

Ainsi, Fouqué à partir de 1860 participe au développement de l'observation microscopique des roches et pour adopter les méthodes allemandes de pétrographie microscopique dans les années 1870. Il en promeut l'usage avec Michel-Lévy qui va également renforcer cette méthode en établissant des caractères distinctifs liés à l'usage de la lumière polarisée. Il rend la méthode réellement efficace et avec Lacroix contribue à la diffusion de celle-ci. Les travaux des ces trois savants contribuent à développer la pétrographie microscopique pour l'amener vers le statut de science.

⁸⁴⁵ Jean PROUVOST, « Alfred Lacroix (1863-1948) ou l'œuvre inachevée », *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie*, Troisième série, Tome 12, n°9, 1998, p.117-125.

⁸⁴⁶ Alfred LACROIX, *Minéralogie de la France et de ses colonies ; description physique et chimique des minéraux, étude des conditions géologiques de leurs gisements*, , 5 tomes, Editeurs Baudry et Cie, Librairie Polytechnique, 1893-1913, Paris.

⁸⁴⁷ Alfred LACROIX, *La montagne Pelée et ses éruptions*, Editeur Masson et Cie, 1904, Paris, 662 pages.

⁸⁴⁸ Jacques AVIAS, « Alfred Lacroix et la Pétrologie océanienne », *Journal de la Société des océanistes*, Tome 6, 1950, p.219-229.

La visibilité de l'enseignement de la pétrographie en France.

Les discours, les travaux et les traités publiés par Fouqué, Michel-Lévy et Lacroix sont autant d'éléments favorisant le développement de la pétrographie microscopique en France. Il est également possible d'appréhender l'importance de la pétrographie à travers les enseignements dispensés par ces trois savants. En effet, comme pour le cas de l'Allemagne et de l'attractivité de certains centres en pétrographie, les positions d'enseignants peuvent être une source importante de diffusion des idées. Or, l'on constate que la pétrographie en France n'est pas visible dans l'enseignement. C'est un élément que souligne Lacroix en 1914 lorsqu'il évoque la pétrologie :

« Cette science est toujours sans domicile légal, sans état civil bien défini, branche de la Minéralogie, utilisant dans un but géologique la Cristallographie et les méthodes délicates de l'Optique physique, faisant appel de plus en plus aux ressources de la Chimie et, depuis hier, de la Chimie physique, elle reste enseignée dans les Facultés par des naturalistes à des jeunes gens qui, pour la plupart, n'avaient guère entendu parler de Minéralogie jusqu'alors et n'ont, en fait, de connaissances physiques et chimiques, que les souvenirs de l'enseignement secondaire »⁸⁴⁹.

Lacroix signale par ce commentaire le statut toujours complexe de la pétrographie et de son enseignement près de 20 ans après notre période d'étude. En effet, il n'y a pas de chaire d'enseignement de pétrographie en France comme aux Etats-Unis à la fin du XIX^e siècle ou bien en Allemagne dans les années 1880. Son enseignement est inclus dans celui de minéralogie, comme le souligne Lacroix. Fouqué est l'un de ceux qui au Collège de France va enseigner la pétrographie de manière transparente.

Entre 1873 et 1874, Fouqué remplace Elie de Beaumont dans le cadre de ces enseignements pour la chaire d'Histoire Naturelle des Corps Inorganiques du Collège de France (voir annexe). Sa leçon pour le second semestre de 1874 porte sur les « *Emanations volcaniques et métallifères, notamment à l'Etna, aux Açores et à Santorin* »⁸⁵⁰. Il réalise une seconde suppléance au Collège de France de Charles Sainte Claire Deville entre 1875 et 1876. Dans le cadre de sa suppléance de l'année 1875-76, Fouqué traite de l'« *Etude microscopique des roches* ». Le savant utilise alors ses recherches sur le terrain mais aussi en pétrographie microscopique pour construire ses leçons.

En 1877, Fouqué est nommé professeur titulaire de la chaire d'Histoire Naturelle des Corps Inorganiques du Collège de France (voir Annexe 6, p.351). Cette période correspond également au moment où le savant s'attache à faire connaître, l'usage du microscope en géologie et la pétrographie microscopique allemande. Ses cours en sont le reflet puisqu'il traite de la « *Détermination des minéraux microscopiques* » pour le second semestre de 1877 mais aussi « *Les Faits consignés dans la nouvelle pétrographie de Rosenbusch* » l'année 1877-1878.

⁸⁴⁹ Alfred LACROIX, « Notice historique sur Auguste Michel Lévy, membre de la section de minéralogie », lue dans la séance publique annuelle du 21 décembre 1914, p.XIV

⁸⁵⁰ Les intitulés des cours sont issus des affiches de cours numérisées du Collège de France. L'ensemble des cours de Fouqué sur la période d'étude est reporté dans l'annexe.

L'année suivante il aborde « *Les principaux types de roches d'après les méthodes nouvelles* » et sur la période de 1879-1880 « *Reproductions artificielles des minéraux et des roches* ». De nombreux élèves d'origines académiques diverses viennent l'écouter (Ecoles de mines, professeur de la Sorbonne, Ecole normale, élèves de Russie, Suède ou Italie)⁸⁵¹.

Ainsi, les enseignements de Fouqué participent à la visibilité institutionnelle de la pétrographie en France et contribuent d'une manière qu'il faudrait davantage questionner à sa diffusion dans la communauté scientifique.

Auguste Michel-Lévy occupe à la suite de Fouqué la chaire du Collège de France. Pour autant, le savant reçoit chez lui régulièrement pour donner des leçons ou encore aider des étudiants ou des amateurs⁸⁵². Lacroix quant à lui obtient en 1893 la chaire de minéralogie du Muséum d'Histoire naturelle et succède à Des Cloizeaux.

Nous assistons donc dans les années 1870 à la mise en avant, par certains savants français comme Fouqué et Michel-Lévy, de la pétrographie microscopique. Cette période est également dans l'histoire française une période de troubles, avec la défaite de la France dans le conflit franco-allemand de 1870. D'après certains historiens, dont Christophe Charle, après cette défaite les Français s'intéressent aux systèmes d'éducation allemands⁸⁵³. Ce regain d'intérêt pour le modèle allemand est également inscrit dans les discours expliquant cette défaite. Les recherches allemandes sont présentées comme à la pointe. Cependant, des éléments d'archives nous permettent de dire que Fouqué est intéressé par les observations microscopiques avant ce conflit et que ce dernier ne semble pas participer à attiser davantage sa curiosité vers les pratiques allemandes. Le savant écrit des articles mais également un traité en collaboration avec Michel-Lévy dans le but de faire connaître cet usage du microscope et pour faire circuler la pétrographie microscopique. Les deux auteurs mobilisent également l'ensemble technique pétrographie pour conduire des recherches contribuant aussi à l'insertion de cette méthode dans les recherches géologiques. De plus, Michel-Lévy va s'appuyer sur les méthodes pétrographiques pour les rendre plus efficaces, notamment dans l'usage de la lumière polarisée et des caractères qu'elle permet de mettre au jour. Lacroix s'inscrit dans les méthodes pétrographiques de ses deux confrères. Il les intègre et les met en application tout au long de sa carrière.

Bien que déjà au fait des pratiques microscopiques impliquant l'usage des sections fines de roches, le triumvirat français s'empare également de la pétrographie allemande. Ils vont d'une part participer au développement de la pétrographie en France, en communiquant sur leurs travaux et sur les travaux allemands. D'autre part, ils participent activement à l'élaboration de savoirs pétrographiques en mobilisant ces méthodes pour étudier le mode de formation des roches.

⁸⁵¹ Marcelin BERTHELOT, « Notice sur la vie et les travaux de Ferdinand Fouqué », Lue à l'Académie des sciences dans la séance publique du 17 décembre 1906, p. 25.

⁸⁵² Alfred LACROIX, « Notice historique sur Auguste Michel Lévy, membre de la section de minéralogie », lue dans la séance publique annuelle du 21 décembre 1914, p. 39.

⁸⁵³ Christophe CHARLE, « Paris/Berlin. Essai de comparaison des professeurs de deux universités centrales », dans CHARLE Christophe (dir.), « Les universités germaniques XIX^e-XX^e siècles », *Histoire de l'éducation*, n°62, mai 1994, 1994, p. 76.

II. Une origine mixte de la pétrographie anglaise (1860-1890)

L'Angleterre est un exemple spécifique car c'est sur son territoire que Sorby promeut la pratique d'observation microscopique de sections fines de roches dès les années 1860. Or, d'après Jacques Touret, « *Sorby n'a pas de successeur direct en Angleterre [...]* »⁸⁵⁴. Cette remarque sous-entend qu'il n'y aurait pas de continuité dans la pratique microscopique que met en place Sorby. Ainsi, nous nous interrogeons sur l'établissement d'une pétrographie microscopique anglaise en posant l'hypothèse d'une réappropriation de travaux allemands ou français.

L'Angleterre, sous la coupe de Sorby ?

Sorby ne se consacre pas seulement à l'observation des roches au microscope. En effet, sa pratique d'observation des sections fines de roches va de 1845 à 1863. D'après Humphries, de 1863 à 1868, Sorby s'intéresse aux métaux mais aussi à l'archéologie⁸⁵⁵. Sorby continue cependant à utiliser le microscope pour observer et identifier les métaux. Il travaille également à l'application du principe du spectroscope vers le microscope. Pour autant, d'autres savants s'inscrivent dans sa pratique et participent à la diffusion des observations microscopiques.

David Forbes (1828-1876) est un savant qui apprend aux côtés de Sorby la technique de fabrication des sections fines. Cependant, il étudie également les sections produites par Oschatz en 1852⁸⁵⁶. D'après Helen Kerbey⁸⁵⁷, Forbes voit un intérêt dans la méthode que préconise Sorby pour étudier les roches et il devient l'un des promoteurs de la technique.

Formé initialement à la chimie à l'Université d'Edimbourg, Forbes publie de nombreux articles liés à ce domaine. Il publie également les résultats de ses observations de la géologie de l'Amérique du Sud sur les roches ignées et métamorphiques entre 1867 et 1868. Il mobilise alors la technique apprise aux cotés de Sorby pour effectuer ses observations.

⁸⁵⁴ Jacques Léon Robert TOURET, « De la pétrographie à la pétrologie », *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie*, Troisième série, Tome 20, n°8, 2006, p.171.

⁸⁵⁵ D.W. HUMPHRIES, « The contributions of H.C. Sorby (1826-1908) to microscopy », *The Microscope and crystal front*, Volume 15, n°9, Mars-Juin, 1967, p. 355.

⁸⁵⁶ Helen KERBEY, « David Forbes F.R.S. (1828-1876), A chemist and mineralogist who advocated for thin section microscopy », *The Geological Curators*, Volume 9, n°10, 2014, p.516.

⁸⁵⁷ Helen KERBEY, « David Forbes F.R.S. (1828-1876), ... », *op.cit.*, p.515-527.

A titre d'exemple, dans son article « *The igneous rocks of Staffordshire* »⁸⁵⁸, Forbes effectue des observations microscopiques qui lui permettent d'identifier des éléments non visibles à l'œil nu et de nommer les espèces minérales présentes. Cependant, l'auteur axe son propos autour des résultats et non de la méthode, ce qui ne nous permet pas de savoir s'il s'agit de sections fines. La pesanteur spécifique est également mentionnée, tout comme les analyses chimiques des différents échantillons.

Forbes écrit notamment un article à propos de l'usage du microscope en géologie⁸⁵⁹, dont une note de lecture est aussi publiée dans le *Geological magazine*⁸⁶⁰. Au sein de l'article, le savant revient sur l'importance de l'utilisation du microscope combinée à l'usage des sections fines de roches. D'après Forbes, l'examen microscopique permet à l'observateur de voir comment sont combinés les éléments chimiques d'une roche, mais aussi sa structure et l'arrangement des composants. Ces observations permettent alors d'en déduire les conditions de formation et son origine.

Forbes précise que l'observation microscopique nécessite de préparer le spécimen avant toute observation, afin qu'il soit transparent. Il détaille ensuite les étapes de fabrication des préparations microscopiques (voir encart ci-dessous).

Encart 28 : Préparer des sections fines selon Forbes⁸⁶¹.

On doit retirer de l'échantillon de roche, un morceau de plus petite taille, dans la direction voulue, qui fait $\frac{3}{4}$ de pouce carré, soit $1,9 \text{ cm}^2$.

Poncer

On l'aplanit sur une plaque de fer ou d'étain posée sur un tour de lapidaire. On utilise de l'émeri jusqu'à obtenir une surface très plane. On continue en posant l'échantillon sur une plaque de marbre noir avec de l'émeri au grain plus fin. On termine par une pierre « Water of Ayr » et de l'eau ou encore seulement sur le marbre noir avec un peu d'eau.

Coller

On colle avec du baume du Canada cette face polie sur une petite pièce de verre qui fait $1,5$ pouce carré de surface-soit $3,81 \text{ cm}^2$ – et $\frac{3}{8}$ de pouce d'épaisseur, soit un peu moins d'un centimètre.

Poncer.

⁸⁵⁸ David FORBES, « The igneous rocks of Staffordshire », *Geological Magazine or monthly journal of geology*, Volume 3, Janvier-Décembre 1866, 1866, p.23-27.

⁸⁵⁹ David FORBES, « The microscope in Geology », *The popular science review*, Volume 6, 1867, p.355-368.

⁸⁶⁰ ANONYME, « The microscope in Geology », *Geological Magazine or monthly journal of geology*, Volume 4, Janvier-Décembre 1867, 1867, p.511-519.

⁸⁶¹ David FORBES, « The microscope in Geology », *op.cit.*, p.357.

On ponce alors à nouveau, en reprenant les mêmes étapes que précédemment pour aplanir la seconde face.

Montage définitif.

On décolle l'échantillon de sa plaque de verre et on le monte sur des verres définitifs.

Forbes distille quelques conseils dans ses explications. Par exemple, il est nécessaire de faire attention à ne pas contaminer l'échantillon avec des huiles ou des poudres polissantes, qui peuvent limiter les observations. Par ailleurs, Forbes indique que l'épaisseur souhaitée des échantillons dépend des constituants de la roches. Il ajoute qu'elle varie entre 1/100 et 1/1000 de pouce.

Une fois ces étapes précisées, Forbes rentre dans le propos de son article. Il y propose deux classes de roches, les roches éruptives, dites primaires et les roches sédimentaires, dites secondaires. Il décrit alors les roches entrant dans ces deux catégories en utilisant le microscope et les sections fines. Il mentionne également l'utilisation de la lumière polarisée. Son article est accompagné d'une planche, représentant certaines de ses observations microscopiques.

Il n'y a aucun élément témoignant d'un voyage en Allemagne de la part de Forbes et son intérêt pour la microscopie s'inscrit dans une temporalité proche de celle des travaux de Sorby. L'influence allemande est ici peu présente en dehors des sections fines de Oschatz. Forbes n'est pas le seul savant à promouvoir l'observation microscopique, Samuel Allport (1816-1897) participe aussi à la diffusion de cette pratique en Angleterre.

Cet entrepreneur dirige une entreprise et en parallèle a une activité savante. Il est rapidement intéressé par les observations microscopiques de Sorby et se met à préparer lui-même ses propres sections fines. Il parvient à constituer une collection remarquable qu'il vend en 1880 au *British Museum* en raison de problèmes financiers. Allport publie également des articles à propos de l'étude des roches et de leur structure microscopique dans les années 1870. Dans son article de 1871 « *On the microscopical structure and composition of a phonolite from the 'Wolf Rock'* »⁸⁶², Allport décrit la localisation de la roche et procède à un examen de celle-ci. Il décrit son aspect observé à l'œil nu ou avec une lentille simple⁸⁶³ et s'attache ensuite à procéder à des observations en sections fines sous lumière polarisée. Le savant précise alors le grossissement utilisé de x800. Il effectue des mesures au goniomètre et indique les résultats de l'analyse chimique effectuée par J. A. Phillips.

Dans le cadre de l'observation de roches d'Arran⁸⁶⁴, Allport les taille également en sections fines dans le but de les observer au microscope. Il utilise également des prismes de Nicol :

⁸⁶² Samuel ALLPORT, « *On the microscopical structure and composition of a phonolite from the 'Wolf Rock'* », *Geological Magazine or monthly journal of geology*, Volume 8, Janvier-Décembre 1871, 1871, p.247-250.

⁸⁶³ Samuel ALLPORT, « *On the microscopical structure and ...* », *op.cit*, p.247.

⁸⁶⁴ Samuel ALLPORT, « *On the microscopic structure of the Pitchstones and felsites of Arran* », *Geological Magazine or monthly journal of geology*, Volume 9, n°CII, Décembre 1872, 1872, p. 536-545.

« Il a déjà été expliqué que l'une des caractéristiques de la pitchstone est que le verre homogène dont elle est composée ne devient pas noir sous Nicols croisés »⁸⁶⁵.

Allport observe également les échantillons sous lumière normale. Au sein de ses différents articles, le savant décrit les espèces présentes dans les roches, ainsi que leur forme et la couleur qu'ils prennent sous lumière polarisée.

Au cours de ses articles, la présence de la lumière polarisée est bien plus régulièrement mentionnée que dans ceux de Sorby. Cette différence s'explique d'après nous par l'écart de près de 10 ans, entre ces publications. De plus, cet écart temporel s'accompagne des travaux de Zirkel et Vogelsang publiés respectivement en 1866 et 1867. Ils abordent l'usage de la lumière polarisée pour observer les roches en sections fines, bien que Vogelsang notamment déplore l'absence d'optimisation de son utilisation.

Allport au même titre que Sorby construit son discours dans le but de valoriser cette méthode microscopique. Il évoque divers arguments. L'un d'entre eux consiste à pouvoir revenir sur la nomenclature des roches déjà existantes et ainsi lui donner une nouvelle base :

« Jusqu'à tout récemment, une telle suggestion n'aurait pas pu être adoptée, car il n'y avait aucun moyen de vérifier avec certitude les constituants des roches fines ; mais maintenant que des méthodes améliorées de recherches microscopiques sont disponibles, il est temps que la nomenclature non scientifique encore utilisée soit remplacée par une autre plus conforme à l'état actuel des connaissances »⁸⁶⁶.

De plus, l'utilisation du microscope permet d'acquérir toujours d'après Allport un degré de certitude dans la composition des roches qui n'avait pas été égalée par les méthodes précédentes.

« L'application du microscope à la géologie est un sujet qui, selon moi, a été plus généralement négligé par les hommes de la science que tout autre d'égale importance, bien qu'il soit facile de montrer que cette méthode d'examen offre le moyen le plus facile d'obtenir de l'information sur beaucoup de points importants, et c'est, en fait, la seule manière de vérifier avec certitude la composition de nombreuses roches compactes ou fines »⁸⁶⁷.

Par ailleurs, l'usage du microscope et de la méthode pétrographique ne se limite pas uniquement aux deux aspects précédents. Pour Allport, cette méthode d'observation permet de répondre à de nombreuses questions relatives au mode de formation des roches ou encore aux étapes de la cristallisation :

« L'utilisation du microscope ne se limite nullement à la discrimination des minéraux, avec son aide, nous pouvons apprendre de nombreux faits, quant au mode de formation des roches, à l'ordre dans lequel les divers minéraux ont cristallisé et aux altérations qui ont souvent été

⁸⁶⁵ Samuel ALLPORT, « On the microscopic structure of the... », *op.cit*, p. 537.

⁸⁶⁶ Samuel ALLPORT, « On the microscopical structure and ... », *op.cit*, p.250.

⁸⁶⁷ Samuel ALLPORT, « The microscopical examination of Rocks and minerals », *Geological Magazine or monthly journal of geology*, Volume 7, 1870, p.431.

causées par l'élimination des matières minérales, et son remplacement par une autre composition chimique différente »⁸⁶⁸.

Les différents arguments de Allport s'appuient sur les travaux d'origines distinctes, comme ceux de Sorby mais aussi ceux de Zirkel et de Rosenbusch. En effet, les sujets abordés sont communs aux objets traités par ces différents savants. Cet argumentaire contribue aussi à interpeller les lecteurs de ces articles, sur les possibilités qu'offrent l'observation microscopique. La citation suivante en est un autre exemple :

« Les nombreux articles de Mr David Forbes et Mr Sorby ont probablement à ce moment conduit quelques géologues à attirer leur attention vers l'importance des examens microscopiques des roches et des minéraux, il se pourrait que certains de vos lecteurs soient intéressés par le fait que l'application de cette méthode de recherche vient juste de permettre une découverte intéressante »⁸⁶⁹.

Allport met en avant les travaux de savants anglais pour valoriser les observations microscopiques et susciter l'intérêt de ses contemporains. Cependant, ce ne sont pas ses uniques sources. Il mentionne par exemple les travaux de Zirkel à propos de la phonolite dans l'un de ses articles de 1871.

Par ailleurs, il semble également que les propos de J.C. Ward s'inscrivent dans une origine des pratiques microscopiques exclusivement anglaises. En effet, dans son article « Notes on the comparative microscopic rock-structure of some ancient and modern volcanic rocks »⁸⁷⁰ où il s'attache à comparer la structure rocheuse microscopique de différents groupes de roches volcaniques en utilisant la méthode pétrographique, Ward inclut un historique de ce qu'il appelle cette ligne de recherche. Il mentionne de nombreux articles dont celui de Sorby de 1858⁸⁷¹, celui de Forbes de 1867 et ceux de Allport. Cependant, il complète cette bibliographie par d'autres sources, cette fois allemandes. Il mentionne Zirkel et Rosenbusch pour leur ouvrage respectif de 1873⁸⁷² ainsi que d'autres articles de savants allemands comme Instratranzeff, Tschermak ou Fuchs, publiés dans le *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde*.

L'ensemble de ces éléments tend à montrer que les travaux de Sorby influencent les pratiques microscopiques de certains de ses contemporains. Cependant, les références avancées par Allport ou encore Ward ne se restreignent pas uniquement à la sphère anglaise et incluent

⁸⁶⁸ Samuel ALLPORT, « The microscopical examination of ... », *op.cit.*, p.433.

⁸⁶⁹ Samuel ALLPORT, « On the Basalt of South Stafforshire », *Geological Magazine or monthly journal of geology*, Volume 6, Janvier-Décembre 1869, 1869, p.115

⁸⁷⁰ James Clifton WARD, « Notes on the comparative microscopic rock-structure of some ancient and modern volcanic rocks », *Quarterly Journal of the Geological Society of London*, Volume 31, 1875, p. 388-422.

⁸⁷¹ Sorby Henry C., « On the microscopical structure of crystals, indicating the origin of minerals and rocks », *The Quarterly Journal of the Geological Society of London*, Volume 14, n°1-2, 1858, p. 453-500.

⁸⁷² Ferdinand ZIRKEL, *Die mikroskopische Beschaffenheit der Mineralien und Gesteine*, Wilhelm Engelmann, Leipzig, 1873, 502 pages et Harry ROSENBUSCH, *Mikroskopische physiographie der petrographisch wichtigen mineralien. Ein Hülftuch bei mikroskopischen gesteinstudien*, E. Schweizerbartische Verlagshandlung, Stuttgart, 1873, 399pages et planches.

les savants allemands. Il s'agit à présent d'analyser le contenu de certains traités de pétrographie afin d'identifier les pratiques et les influences qu'ils avancent.

Des traités aux diverses influences

En dehors des références aux travaux anglais, les pétrographes anglais mentionnent également les travaux allemands sur la pétrographie microscopique. Dans les années 1880, des traités sont publiés dont le titre ou le contenu est une référence explicite à la pétrographie. Par exemple, Archibald Geikie dans son *Text-book of Geology* publié en 1882⁸⁷³, F. H. Hatch également publie *Petrology of the igneous rocks* et Jethro Justinian Harris Teall (1849-1924) publie en 1888 *British petrography*⁸⁷⁴. Il s'agit à la fois de revenir sur le contenu de ces ouvrages et sur les références que mentionnent les auteurs afin d'identifier si la pétrographie microscopique anglaise provient uniquement de la pratique de Sorby ou est influencée par les travaux allemands.

Jethro Justinian Harris Teall (1849-1924) président de la *Société Géologique de Londres* entre 1900 et 1902 publie en 1888 *British petrography*⁸⁷⁵. Au sein de cet ouvrage, il aborde les roches ignées en s'intéressant à leurs constituants, leurs caractères chimiques, physiques et propose ensuite une classification de ces roches. Teall complète son travail en posant la question de l'origine de ces roches et aborde aussi celle des roches métamorphiques. D'après lui, la pétrographie se définit comme les roches qui composent la terre ou qui sont tombées à sa surface depuis l'espace⁸⁷⁶. Par ailleurs, le but d'un pétrographe est de non pas étudier uniquement les minéraux qui forment les roches comme des individus isolés, mais bien leur relation mutuelle. Il faut aussi inclure, d'après Teall le comportement des masses rocheuses qui constituent la croûte terrestre.

Teall dans son ouvrage ne revient pas en détails sur la méthode pétrographique. Il n'y a pas de description à propos des microscopes, de l'usage de la lumière polarisée ou encore le processus de fabrication des sections fines. Le savant entre dans la description des caractères et donne des exemples. Cependant, l'ensemble des observations qu'il décrit dans son livre est effectué à l'aide d'un microscope, de lumière polarisée et les objets observés sont taillés en sections fines⁸⁷⁷. Par exemple, à plusieurs reprises Teall évoque les nicols ou encore les nicols croisés, témoignage de l'usage de lumière polarisée⁸⁷⁸.

Les références que Teall utilise méritent également que nous nous y attardions. En effet, il mentionne des savants anglais comme Allport ou encore Sorby liés à l'usage du microscope,

⁸⁷³ Archibald GEIKIE, *Text-book of Geology*, MacMillan, 1882, Londres, 971 pages.

⁸⁷⁴ Jethro Justinian Harris TEALL, *British petrography with special reference to the igneous rock*, Dulau & co, Londres, 1888, 469 pages et planches.

⁸⁷⁵ Jethro Justinian Harris TEALL, *British petrography with special reference to the igneous rock*, Dulau & co, Londres, 1888, 469 pages et planches.

⁸⁷⁶ Jethro Justinian Harris TEALL, *British petrography...*, *op.cit.*, p.5.

⁸⁷⁷ Jethro Justinian Harris TEALL, *British petrography...*, *op.cit.*, p.90.

⁸⁷⁸ Jethro Justinian Harris TEALL, *British petrography...*, *op.cit.*, p.33.

mais également des savants allemands tels que Zirkel et Vogelsang. Par ailleurs, il inclut des savants français, Fouqué et Michel-Lévy qu'il qualifie, tout comme les allemands de pétrographes.

Par la définition qu'il propose des pétrographes, Teall s'inscrit dans la lignée des travaux allemands où l'interrelation des éléments des roches est une indication de l'origine de la roche. Il ne se positionne pas, comme sa définition de la pétrographie semble le suggérer, dans l'ancienne notion de la pétrographie. Par ailleurs, les différentes références qui émaillent son propos sont actuelles et au plus près des travaux pétrographiques de l'époque.

Nous avons précédemment mentionné la publication du Text-Book de Geikie en 1882. Ce dernier est d'ailleurs réédité en 1885 et l'analyse de cette seconde édition nous renseigne également sur les références de l'auteur. Il cite notamment Zirkel, Rosenbusch ainsi que Lasaulx, Fouqué et Michél-Lévy. Il insiste sur l'importance du microscope pour la recherche :

« *La valeur du microscope comme une aide dans la recherche géologique est à présent accepté de tous* »⁸⁷⁹.

A la différence de Teall, Geikie revient davantage sur les aspects techniques de recherches microscopiques. Il y consacre une partie et y aborde la préparation des sections fines de roches et de minéraux, ainsi que des éléments à propos du microscope. Il explique également les différentes méthodes d'examen possibles avec l'instrument.

En effet, Geikie conseille aux microscopistes de savoir préparer eux-mêmes leurs sections fines. Il détaille alors les possibilités pour découper dans un premier temps un échantillon le plus fin possible et revient ensuite sur les étapes de production de la section fine. Geikie propose une liste des objets nécessaires à cette fin. Ainsi, il faut d'après lui pour préparer des sections fines de roches ou de minéraux une pierre de « Water of Ayr », une plaque de fonte, des plaques de verre, de l'émeri de différentes tailles, de la « putty powder », du baume du Canada, des pièces de verre et du white spirit. Le savant va même jusqu'à préciser les dimensions des plaques de verre ou de celle en fonte. A la suite, il détaille les étapes de préparation des sections fines (voir encart ci-dessous).

Encart 29: Fabriquer des sections fines selon Geikie⁸⁸⁰.

Poncer.

On place l'échantillon sur la roue d'une machine à poncer ou bien sur une plaque de fer, avec un peu d'eau et de l'émeri peu grossier. Si l'échantillon est d'une forme telle qu'on ne puisse pas de manière correcte le presser à l'horizontale, il faut d'abord le poncer. Si on a des difficultés à le tenir dans notre main, on peut également le coller à un morceau de bois en utilisant un ciment composé de trois parts de résine et d'une de cire d'abeille.

⁸⁷⁹ Archibald GEIKIE, *Text-book of Geology*, MacMillian, 2nd édition, 1885, Londres, p. 85.

⁸⁸⁰ Archibald GEIKIE, *Text-book of Geology*, MacMillian, 2nd édition, 1885, Londres, p.86-88.

Pour poncer l'échantillon, on doit faire des mouvements lents et égaux tout en maintenant une pression dessus. Une fois terminé, on plonge l'échantillon dans de l'eau pour enlever les différents dépôts et on le pose sur une plaque de verre avec de la fleur d'émeri -émeri très fin- et de l'eau pour continuer à le poncer jusqu'à ce que les rayures causées par l'émeri plus grossier disparaissent. L'objectif est d'avoir une surface douce et polie. On nettoie, sèche et examine pour vérifier l'absence de toutes rayures. On place l'échantillon sur une pierre « water of Ayr », avec un peu d'eau et on ponce très légèrement.

Coller

On cimente la surface polie à une pièce de verre commun. Pour cela, on chauffe une fine pièce de fer. On positionne une plaque de verre sur laquelle on dépose un peu de baume de Canada au centre. On laisse jusqu'à ce qu'il ait atteint la consistance nécessaire.

On positionne alors l'échantillon, également chauffé au préalable, sur la plaque de verre recouverte de baume. On maintient les deux ensemble à l'aide de pince ou en posant un objet lourd dessus afin de les coller ensemble.

Poncer

On reprend les étapes de ponçage réalisées précédemment pour l'autre surface de l'échantillon. Il faut faire attention à garder l'échantillon le plus plat possible.

Montage définitif

Selon la fragilité de l'échantillon, il est possible de le transférer sur un autre verre pour un montage définitif. On pose la lame de verre sur une plaque de fer chauffé pour laisser fondre le baume et on transfère l'échantillon sur une plaque de verre définitive, préalablement préparée.

Les matériaux qu'il détaille sont identiques à ceux que Sorby mentionne dans ses articles. La technique de fabrication est également similaire, témoignant d'après nous non seulement d'une influence de Sorby, mais aussi de la standardisation des techniques de fabrication.

A ce propos, Geikie évoque dans son texte l'existence de machines visant à produire des sections fines. Il détaille en note de bas de page une machine, inventée par J.B. Jordan, vendue à Londres par Cotton et Johnson qui coupe et polit des échantillons. Il mentionne aussi celle de Cuttel. Les deux ont cependant l'inconvénient de ne pas être facilement déplaçables lors d'expéditions.

Les travaux pétrographiques anglais sont discrets dans les années qui suivent ceux de Sorby et la publication de traités pétrographiques datent de la décennie 1880. Dans le cas des travaux anglais, la reprise des travaux allemands consiste davantage à son application pour l'étude des roches qu'à des développements dans le domaine, comme c'est le cas en France. Il est probable que les ouvrages, allemands et français de pétrographie aient circulé entre les mains des savants anglais et qu'ils auraient suscités un regain d'intérêt pour cette méthode. De plus, au même titre

que ce qui est visible en France dans les années 1870, la pratique anglaise semble circonscrite à quelques savants qui souhaitent la faire connaître à d'autres savants.

Conclusion

L'influence pétrographique allemande est présente à divers degrés dans la construction de pratiques d'observations microscopiques nationales. En effet, l'exemple de l'Angleterre est spécifique notamment en raison de Sorby. Le savant est anglais et sa pratique microscopique est reprise par certains de ses contemporains. Ils participent à la diffusion de l'usage des sections fines de roches et de l'observation microscopique en les utilisant eux-mêmes, comme Forbes ou comme Allport qui en plus de les appliquer à leurs recherches, les mettent en avant en mobilisant des arguments. Pour autant, cette étude sur les observations microscopiques anglaises et la mise en place de la pétrographie microscopique nous permet de constater que l'influence allemande est également présente. Non sans oublier les travaux de Sorby, les savants anglais s'inscrivent dans les travaux des savants allemands, mais aussi français. Il est difficile d'établir de manière rigoureuse la nature de cette influence, mais elle existe et contribue à façonner une pétrographie microscopique anglaise, dont la parution de traités date du milieu des années 1880.

De manière différente, les savants français sont également influencés par les travaux allemands. En effet, il existe des pratiques d'observations microscopiques en France depuis les années 1820, mais elles concernent la réduction en poudre ou dans le cadre des travaux plus récents de Des Cloizeaux, la réduction en plaques minces de cristaux. Ce contexte est cependant favorable à l'usage du microscope pour observer les roches. D'ailleurs, dès 1866, Fouqué observe des sections fines de roches au microscope. Fouqué prend connaissance des travaux allemands de pétrographie, mais d'après nous il s'inspire de cette méthode pour améliorer ses propres observations. D'ailleurs, le triumvirat français composé de Michel-Lévy, de Lacroix et de lui même n'applique pas seulement la méthode pétrographique allemande. Michel-Lévy par ses travaux va contribuer à appliquer les travaux de Des Cloizeaux sur l'usage de la lumière polarisée aux sections fines et ainsi permettre un plein usage de l'ensemble technique pétrographique.

Le cas des Etat-Unis, sur lequel nous revenons brièvement, est également intéressant car l'appropriation de la méthode de pétrographie microscopique est en grande partie due aux mobilités étudiantes et savantes. En effet, de nombreux étudiants se rendent en Allemagne, dans les villes de Munich, Leipzig, Berlin et Heidelberg pour étudier la pétrographie microscopique. D'après Georges Huntington Williams (1856-1894)⁸⁸¹ en 1886, près de la moitié des étudiants présents dans le laboratoire de Heidelberg sont américains.

⁸⁸¹ Georges Huntington WILLIAMS, *Modern petrography an account of the application of the microscope to the study of geology*, Boston, D.C.Heath&co.publishers, 1886, p.5

Ainsi, Edward Salisbury Dana (1849-1935), le fils du minéralogiste James Dwight Dana (1813-1895) part étudier à Heidelberg entre 1873 et 1874. Il en est de même pour G.H Williams qui voyage en Allemagne. Son exemple illustre à la fois cette mobilité mais également la manière dont la pétrographie microscopique va par la suite être diffusée par son intermédiaire. Le savant part étudier en 1879 à Göttingen. Cependant, d'après David Young, le décès de son professeur le contraint à changer d'établissement⁸⁸². Il s'installe ensuite à Heidelberg pour y étudier sous la tutelle de Rosenbusch dans son laboratoire. Williams obtient un diplôme de doctorat en 1882 de l'Université de Heidelberg. A la suite de son voyage, il accepte un poste au département de Géologie de l'Université John Hopkins et y enseigne la minéralogie, la pétrologie et la géologie de 1882 à 1894. L'attractivité d'Heidelberg s'explique par la présence de Rosenbusch. Le savant enseigne à l'Université de la ville entre 1877 et 1908. Il fonde également *Mineralisches-geologisches Institut* au sein duquel Williams étudie ainsi que Henry Carvill Lewis (1853-1888), un élève de Williams. Cet institut fondé par Rosenbusch attire les étudiants du pays mais également les étudiants étrangers, notamment par le renom de son fondateur et la possibilité d'étudier sous sa tutelle.

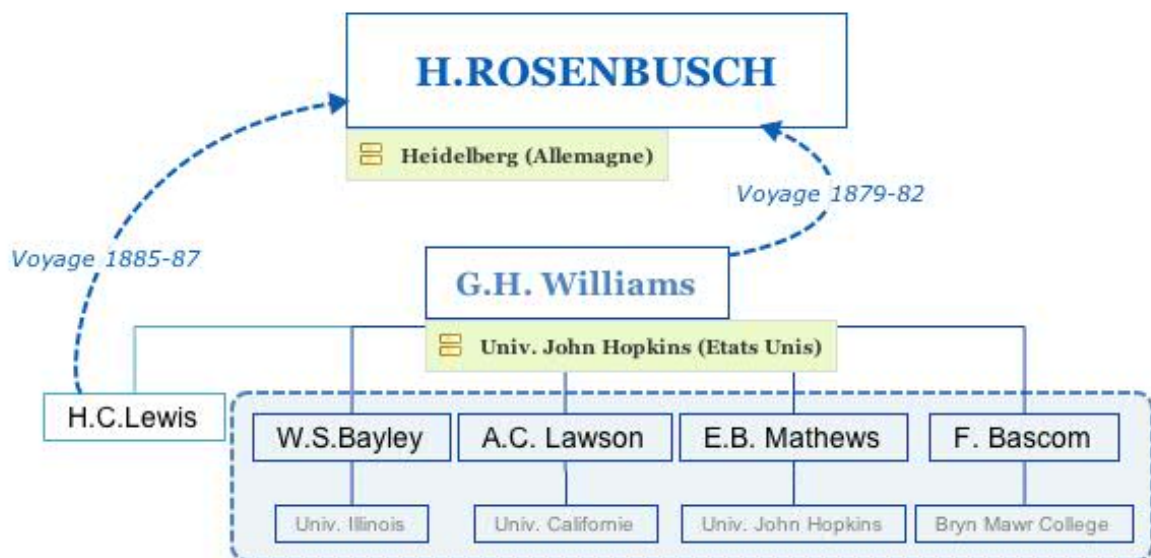


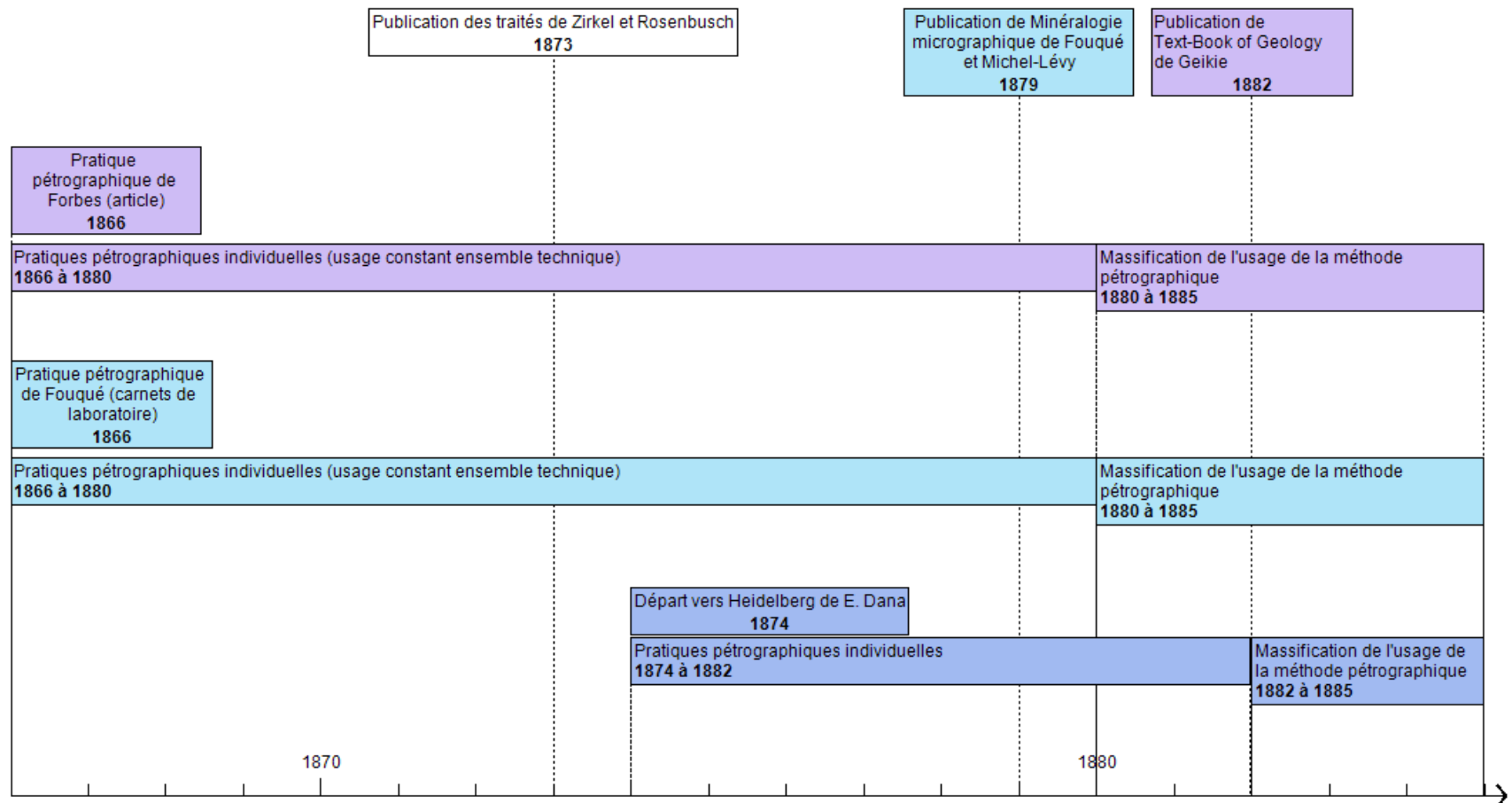
Figure 59 : Représentation des mobilités savantes américaines et de la diffusion de la pétrographie dans les universités américaines.

Au début des années 1890, des enseignements dans ce domaine s'instituent aux Etats Unis. Williams mentionne que des cours de pétrographie sont donnés à Harvard et Columbia. Lui-même professe à l'université John Hopkins et y organise un laboratoire de pétrographie où il est possible d'assister à des cours et des travaux pratiques. D'après Young, des cours de pétrographie se constituent dès 1883 à l'université John Hopkins, à Harvard en 1886, à

⁸⁸² David YOUNG, *Mind over magma. The Story of Igneous Petrology*, Princeton University Press, Princeton, 2003, p. 164.

Columbia en 1891 et à Yale en 1892. Les mobilités étudiantes américaines vers certaines universités allemandes comme Leipzig ou Heidelberg commence dans les années 1860 pour les plus précoces, jusque dans les années 1890. En parallèle de ces mouvements, les diplômés reviennent sur le territoire américain et participent à l'instauration d'une pétrographie microscopique dans les années 1885, notamment par les postes d'enseignants en universités qu'ils obtiennent. A ceci s'ajoute, il nous semble, l'influence des publications issues de l'expédition du 40^{ème} parallèle. Zirkel y participe et publie *Microscopical petrography* en 1876. Le livre concourt d'après nous à alimenter ces mobilités et mais aussi à diffuser l'idée que la pétrographie peut s'appliquer aux questions qui dominent la communauté américaine à cette époque.

Ainsi, l'influence des travaux allemands dans la mise en place des travaux pétrographiques est indéniable, mais la réception de cette méthode ne s'effectue pas en l'absence de toutes pratiques microscopiques déjà existantes. Les différents contextes évoqués avec l'Angleterre, la France et les Etats-Unis montrent que cette réception est très variable et qu'il ne s'agit pas uniquement d'une diffusion des méthodes. Il s'agit à présent de s'interroger sur la manière dont cette méthode est utilisée par les savants et de quelle manière la pétrographie microscopique est visible dans les publications.



Frise 7 : Chronologie des pratiques de pétrographie microscopique pour l'Angleterre, la France et les Etats-Unis.

Chapitre 9 : De la fixation d'une méthode vers la constitution d'un domaine (1873-1895)

Nous avons précédemment identifié la manière dont la méthode de pétrographie microscopique allemande était reçue par les savants français et anglais. Le propos de ce chapitre est à présent d'appréhender la manière dont cette méthode est reprise par les savants après 1873. L'expression de pratique microscopique s'entend dans un sens large et recoupe à la fois l'usage de l'ensemble technique pétrographique, mais aussi la mobilisation de la méthode pétrographique comprenant l'usage de caractères propres à cette dernière. Plusieurs questions sous-tendent cette étude des pratiques. L'une d'entre elles est l'importance et l'impact des recherches de notre triumvirat français sur la communauté nationale. Ces savants sont-ils les seuls à pratiquer la pétrographie microscopique ? Par leur publication et leur discours arrivent-ils à fédérer d'autres savants autour de cette méthode ?

Le corollaire de ces interrogations est la mise au jour éventuelle de la constitution d'une communauté de pétrographes. Quels marqueurs dans le vocabulaire, les citations croisées, permettent d'appréhender la construction d'un groupe de savants se rattachant à la pétrographie microscopique ?

Pour y répondre, nous avons constitué un corpus de traités et d'articles allant de 1873 à 1895 liés à l'étude des roches. Il provient de journaux français en particulier et nous permettent d'identifier l'usage de la méthode de pétrographie microscopique, notamment à travers l'ensemble technique pétrographique. Notre grille d'analyse se focalise sur les pratiques, à savoir l'utilisation de l'ensemble technique (microscope, techniques de traitement des échantillons et dispositifs de polarisation), mais aussi les caractères descriptifs utilisés et l'ordre méthodologique dans la conduite des observations. Nous avons également relevé l'usage du mot pétrographie par les auteurs ainsi que les références citées par ces derniers. Nous avons souhaité compléter notre approche par une revue des représentations graphiques (planches et illustrations dans le texte) des observations microscopiques incluses par les savants afin d'identifier si une pratique liée à ces représentations se met en place parallèlement à l'usage de la méthode.

I. Se revendiquer en tant que pétrographe

Le corpus de publications identifiées comme appartenant à la pétrographie microscopique permet de repérer un groupe de savants pratiquant la pétrographie dans les années 1880-90. La constitution de ce groupe s'appréhende par l'usage du mot « pétrographie » dans les titres d'ouvrages, d'articles ou dans le classement de ces derniers, inscrivant ainsi volontairement ou non ces travaux au sein de la pétrographie. Le second élément participant à la constitution de ce groupe sont les références communes que mobilisent les auteurs ainsi que leurs évolutions entre 1880 et 1890, montrant ainsi le dynamisme de la pétrographie microscopique.

S'inscrire dans des travaux en pétrographie microscopique

Certains savants affichent dès le titre de leur ouvrage l'inscription de leurs travaux en pétrographie microscopique. C'est le cas de G.H. Williams qui intitule son ouvrage *Modern petrography*⁸⁸³ ou bien Arnold de Lasaulx avec *Précis de Pétrographie, introduction à l'étude des roches*⁸⁸⁴. De même, J. J. Harry Teall nomme son livre *British petrography*⁸⁸⁵.

Exposer en titre le mot « pétrographie » revient aussi à revendiquer l'appartenance du contenu à ce domaine et inscrit l'ouvrage dans un processus de mise en avant de la méthode. Il en est de même pour l'ouvrage de Fouqué et Michel Lévy, qui non sans proposer le mot « pétrographie », utilise le mot « micrographie ». Ils insèrent leurs travaux dans une lignée de recherche nécessitant l'usage du microscope.

En dehors d'une revendication par l'utilisation du titre, les sources sont aussi identifiées comme appartenant à la pétrographie. C'est le cas pour les articles publiés au sein des *Comptes-Rendus de l'Académie des sciences*. En 1881, un article⁸⁸⁶ est référencé comme appartenant à la pétrographie. C'est une mention du domaine assez isolée, puisqu'il n'apparaît par la suite que six ans plus tard, en 1887 dans deux articles de Lacroix⁸⁸⁷ identifiés dans ce même domaine. C'est dans les années 1890 qu'un plus grand nombre d'articles sont rattachés au domaine de la pétrographie au sein des *Comptes-Rendus de l'Académie des sciences*.

⁸⁸³ Georges Huntington WILLIAMS, *Modern petrography an account of the application of the microscope to the study of geology*, Boston, D. C. Heath & co. publishers, 1886, 42 pages.

⁸⁸⁴ Arnold de LASAULX, *Précis de Pétrographie, introduction à l'étude des roches*, Paris, Rothschild éditeur, 1887, 378 pages.

⁸⁸⁵ Jethro Justinian Harris TEALL, *British petrography with special reference to the igneous rocks*, Dulau & co, Londres, 1888, 469 pages.

⁸⁸⁶ Ferdinand André FOUQUE et Auguste MICHEL-LEVY, « Reproduction artificielle des basaltes », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 92, Janvier-Juillet 1881, 1881p.367-69

⁸⁸⁷ Alfred LACROIX, « Etude pétrographique d'un gabbro à olivine de la Loire-Inférieure », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 104, Janvier-Juin 1887, 1887, p.870-872 et A. LACROIX, « Note sur une roche à wernérite granulitique des environs de Saint-Nazaire », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 104, Janvier-Juin 1887, 1887, p.1011-1012.

Pour autant, les articles mentionnant des méthodes rattachées à la pétrographie ne sont pas uniquement reliés au domaine pétrographique dans ce journal. Deux autres domaines sont également mentionnés régulièrement, celui de la minéralogie et de la géologie. Ainsi, sur les 40 articles extraits des *Comptes-Rendus de l'Académie des sciences* et dont le domaine est mentionné, 20 articles sont rattachés à la pétrographie, 14 à la minéralogie, 5 à la géologie et 1 à la lithologie. Ce constat questionne sur les mentions de domaine qui apparaissent devant les articles dans les *Comptes-Rendus de l'Académie des sciences*. En effet, les articles ou les mémoires sont présentés par des académiciens qui appartiennent à des sections, or les domaines affichés dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences* ne sont pas tous représentés par des sections au sein de l'*Académie*. La pétrographie en est un exemple. La manière dont ces différents domaines sont attribués pose question et nous nous demandons si elle est relative à l'objet de l'article, aux domaines de recherche de l'académicien qui présente le travail ou au domaine que revendique l'auteur de l'article⁸⁸⁸.

L'usage du mot pétrographie est également l'occasion pour les savants de définir le mot et son objet. Ainsi, Nivoit⁸⁸⁹ précise que la pétrographie est une branche de la géologie et non de la minéralogie⁸⁹⁰. Lasaulx quant à lui explique que la pétrographie est l'étude des roches⁸⁹¹. Cette dernière peut également être de la lithologie et à ce propos l'auteur distingue les deux en précisant que la pétrographie est descriptive tandis que la lithologie est appliquée. Ainsi d'après Lasaulx, la pétrographie est la base de la lithologie.

Constituer des références en pétrographie microscopique

Il existe au sein du corpus étudié de multiples références croisées mentionnant des pétrographes allemands mais aussi français. Ces références montrent d'une part l'importance des savants dans le domaine, mais permettent aussi de percevoir l'évolution des auteurs cités. Ainsi, la constitution d'une communauté peut s'appréhender à travers ces référencements.

Au sein des traités par exemple, ces références sont souvent incluses dans les historiques des méthodes d'observation. Les auteurs s'attachent par ce biais à construire une histoire du domaine et ce processus participe à la construction d'une science.

Dans les articles, entre les années 1866 et 1870, l'auteur le plus cité par les savants reste Zirkel. Il va être cité notamment par Fouqué dans son article de 1873, où l'auteur précise que

⁸⁸⁸ C'est une piste de recherche à travailler dans le but d'identifier la manière dont les articles sont classés et l'influence de cette attribution dans la visibilité du domaine auquel ils sont rattachés.

⁸⁸⁹ Edmond NIVOIT, *Géologie appliquée à l'art de l'ingénieur T.1. Phénomènes géologique, minéraux, roches-fossiles*, Paris, Librairie polytechnique, Editeurs Baudry et Cie, 1887, p.1.

⁸⁹⁰ « *La géologie, recherche quelle est la composition des diverses substances minérales qui constituent l'écorce du globe, comment ces substances sont disposées les unes par rapport aux autres, quelle influence elles exercent sur la configuration de la surface terrestre* » et « [...] *l'étude des minéraux les plus répandus : c'est l'objet de la minéralogie* ». Extraits de Edmond NIVOIT, *Géologie appliquée à l'art de l'ingénieur T.1. Phénomènes géologiques, minéraux, roches-fossiles*, Paris, Librairie polytechnique, Editeurs Baudry et Cie, 1887, p 1 et 2.

⁸⁹¹ Arnold de LASAULX, *Précis de Pétrographie, introduction à l'étude des roches*, Paris, Rothschild éditeur, 1887, p.2.

ses observations complètent les « *observations microscopiques publiées par Zirkel* ⁸⁹² ». Les travaux de Zirkel sont évoqués également par Arnold Von Lasaulx ⁸⁹³ qui mentionne aussi Dana en 1870, mais aussi par Allport en 1871 ⁸⁹⁴. Zirkel quant à lui dans l'un des articles publiés en 1866 signale les travaux de Fouqué. Cet exemple de références croisées montre que Fouqué et Zirkel prennent connaissance des travaux de l'autre. Pour autant, il n'y a pas de trace d'une quelconque correspondance entre les savants sur le fonds Fouqué de l'*Académie des sciences* ou bien ceux de l'*Institut de France* ⁸⁹⁵.

Autour des années 1890, les savants cités en référence par les auteurs sont plus divers. Zirkel reste cependant celui qui est le plus régulièrement mentionné, mais d'autres auteurs apparaissent comme Rosenbusch, cité par Gentil en 1894 ⁸⁹⁶ et par Termier en 1897 ⁸⁹⁷. Lacroix est référencé par Gentil ⁸⁹⁸, mais aussi par Duparc en 1893 ⁸⁹⁹. Lacroix lui-même cite Fouqué et Michel-Lévy en 1890 ⁹⁰⁰.

Ces quelques exemples représentatifs permettent tout d'abord de se rendre compte du processus d'identification comme savant référant dans le domaine. En effet, Zirkel est la référence en pétrographie dans les années 1870 et il est cité à plusieurs reprises par ceux qui s'inscrivent dans sa méthode, la pétrographie microscopique. Pour autant, d'autres savants, comme Fouqué ou encore Rosenbusch sont mentionnés. Ces deux savants citent Zirkel, qui peut également mentionner leurs travaux en retour. Ces citations croisées témoignent des échanges et des influences de ces savants. Par ailleurs, d'autres savants se revendiquent de la pétrographie microscopique en citant ces mêmes savants. L'exemple de Lacroix ou encore de Michel-Lévy qui citent Rosenbusch, le montre. Ces mêmes chercheurs se retrouvent dans les années 1890 à être eux-mêmes cités par d'autres savants pour leurs travaux en pétrographie.

Par conséquent, ces citations permettent d'identifier le passage de certains auteurs, du statut de citant à celui de cité, témoignant ainsi de leur statut de référent pour le domaine. Les citations de savants par les auteurs des articles permettent donc d'identifier des savants qui s'inscrivent dans la pétrographie microscopique et une dynamique de recherche qui se met en place dans les années 1890 dans ce domaine.

⁸⁹² Ferdinand André FOUQUE, « Sur les inclusions vitreuses renfermées dans les feldspaths des laves de Santorin », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 77, Juillet-Décembre 1873, 1873, p.1322

⁸⁹³ Arnold von LASAULX, « Petrographische Studien an den vulcanischen Gesteinen der Auvergne », *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde*, 1870, p.699, 709.

⁸⁹⁴ Samuel ALLPORT, « On the microscopical structure and composition of a phonolite from the 'Wolf Rock' », *Geological Magazine or monthly journal of geology*, Volume 8, Janvier-Décembre 1871, 1871, p.249.

⁸⁹⁵ Nous n'avons pas été en mesure d'identifier en raison de la barrière linguistique un fonds d'archives propre à Zirkel en Allemagne où des traces de correspondances entre lui et Fouqué aurait pu être identifiées.

⁸⁹⁶ L. GENTIL, « Sur la microstructure de la mélilite », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 118, Janvier-Juin 1894, 1894, p.999.

⁸⁹⁷ P. TERMIER, « Sur le granite du Pelvoux », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 124, Janvier-Juin 1897, 1897 p.318.

⁸⁹⁸ L. GENTIL, « Sur la microstructure de la mélilite », *op.cit.*, p.1000.

⁸⁹⁹ L. DUPARC et L. MRAZEC, « Sur un schiste à chloritoïde des Carpathes », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 116, Janvier-Juin 1893, 1893, p.602.

⁹⁰⁰ Alfred LACROIX, « Sur la syénite éololithique de Montréal (Canada) et sur les modifications de contact endomorphes et exomorphes de cette roche », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 110, Janvier-Juin 1890, 1890, p.1152.

II. Transcription de la méthode pétrographique dans les pratiques

Comme nous l'avons montré précédemment, dès 1873 une méthode d'observation des roches, la pétrographie microscopique est proposée et utilisée par des savants allemands. Par la suite, dans les années 1880, une communauté de savants se revendique de la pétrographie dans son discours, mais qu'en est-il dans les pratiques ? Quelle est la place de la pétrographie microscopique ? Vient-elle uniquement en complément des pratiques d'observation déjà existantes ou a-t-elle une existence propre ? Nous nous interrogeons alors sur l'usage de la pétrographie microscopique par les savants après les publications allemandes de 1873. Cet usage sous-entend la mobilisation de l'ensemble technique pétrographique, sa place dans l'étude des roches et sa visibilité dans les articles. De plus, cet usage implique également d'identifier l'application de cette méthode à l'étude des roches.

1. Quel usage de l'ensemble technique pétrographique ?

Les publications de Zirkel, Rosenbusch et Vogelsang ont contribué à la constitution d'un ensemble technique pétrographique dans le but de constituer une méthode d'observation des roches. Il s'agit à présent d'identifier au travers d'un corpus de publications la présence et l'usage de cet ensemble technique par des savants à partir de 1873.

Des pratiques microscopiques ancrées

Le microscope reste toujours dans les années 1880 un instrument utilisé pour observer les roches. Il est très régulièrement mentionné par les savants dans les traités et les articles liés à la pétrographie microscopique.

Dans leur ouvrage, Fouqué et Michel-Lévy ont recours à la présentation des méthodes microscopiques plus traditionnelles pour mettre en avant le nouvel usage du microscope dans la pétrographie. En effet, les auteurs explicitent brièvement les pratiques d'observation dites anciennes. Ces dernières peuvent comprendre l'usage de la loupe ou seulement de l'œil du savant. Les échantillons sont polis, ou bien réduits en poudre. La mention de ces pratiques

participe au discours de mise en avant de la méthode microscopique puisque les auteurs considèrent que ces méthodes sont insuffisantes⁹⁰¹ :

« *Le microscope a rendu surtout un grand service en permettant d'aborder l'étude des minéraux qui font partie intégrante des roches* »⁹⁰².

Ils mettent alors en exergue les possibilités du microscope et de son usage combiné aux sections fines et à l'usage de la lumière polarisée.

Encart 30 : Microscopes et conseil d'utilisation par Fouqué et Michel-Lévy.

D'après Fouqué et Michel-Lévy, les microscopes destinés aux observations ne doivent pas posséder d'aberrations de sphéricité, de réfrangibilité. L'éclairage doit être suffisamment puissant et la platine mobile sur deux axes rectangulaires. De plus, le porte objet doit aussi être mobile et positionné sur un disque gradué.

Le fabricant à l'origine du microscope n'est pas précisé, cependant les deux auteurs font référence au fabricant Nacet pour préciser une amélioration technique de ces nouveaux modèles. Nous avons ajouté une illustration d'un des microscopes que propose Nacet à cette époque. Les différences sont notables surtout au niveau de la platine, qui est mobile pour celui des deux minéralogistes. Cette distinction est un témoin de la spécification des instruments pour la pétrographie microscopique.

⁹⁰¹ « [...] la détermination des roches à gros grains était alors imparfaite et c'était encore pire pour les roches à grains fins, dites cryptomères ou adélogènes. En conséquence de quoi, les classifications étaient défectueuses. » d'après Ferdinand André FOUQUE et Auguste MICHEL-LEVY, *Minéralogie micrographique, roches éruptives françaises*, Imprimerie de A. Quantin, Paris, 1879, p.2

⁹⁰² Ferdinand André FOUQUE et Auguste MICHEL-LEVY, *Minéralogie micrographique, ..., op.cit.*, p. 12

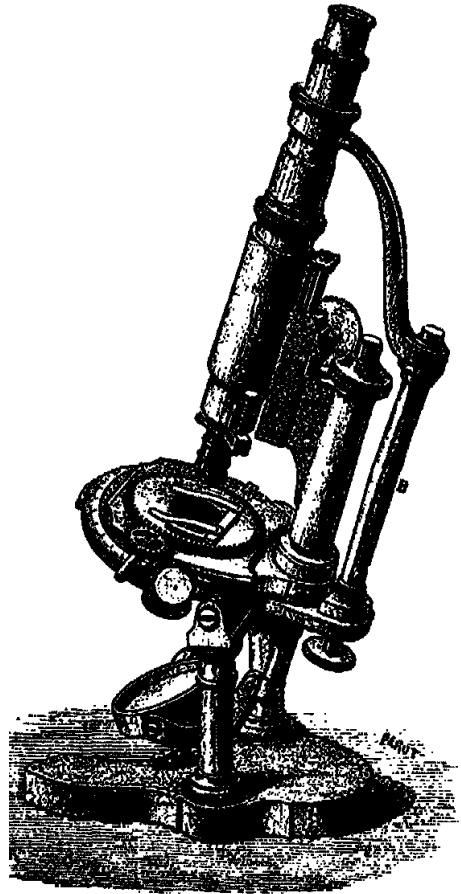


Figure 60 : Illustration d'un microscope pour les observations pétrographiques, d'après Fouqué et Michel-Lévy⁹⁰³.

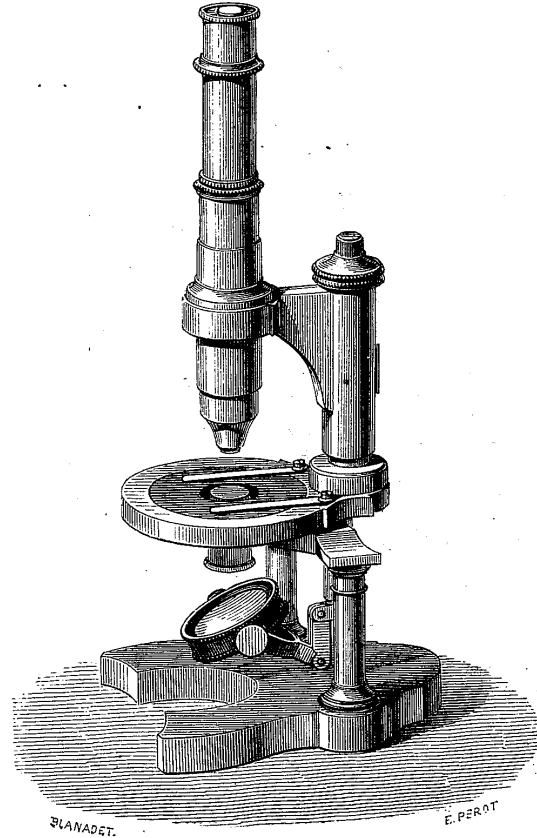


Figure 61 : Microscope grand modèle droit, du fabricant Nacet (1872)⁹⁰⁴.

Ainsi, en 1873, Fouqué observe des échantillons de roches sous microscope⁹⁰⁵, en 1875 Michel-Lévy utilise également l'instrument⁹⁰⁶, tout comme Urbain Le Verrier en 1889⁹⁰⁷ ou encore Duparc et Mrazec en 1893⁹⁰⁸. Certains auteurs précisent les grossissements utilisés. A

⁹⁰³ Ferdinand André FOUQUE et Auguste MICHEL-LEVY, *Minéralogie micrographique, roches éruptives françaises*, Imprimerie de A. Quantin, Paris, 1879, p. 27

⁹⁰⁴ A. NACHET, *Catalogue descriptif des instruments de micrographie*, Maison Nacet & Fils, fabrique d'instruments de micrographie, Paris, 1872, p.7.

⁹⁰⁵ Ferdinand André FOUQUE, « Sur les inclusions vitreuses renfermées dans les feldspaths des laves de Santorin », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 77, Juillet-Décembre 1873, 1873, p.1322.

⁹⁰⁶ Auguste MICHEL-LEVY, « Note sur quelques roches analogues aux porphyres granitoïdes de la Loire », *Bulletin de la Société Géologique de France*, Tome 2 Série 3, Années 1873-1874, 1874, p.60-67.

⁹⁰⁷ Urbain LE VERRIER, « Sur une venue de granulite à riebeckite de Corse », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 109, Juillet-Décembre 1889, 1889, p.38.

⁹⁰⁸ L. DUPARC et L. MRAZEC, « Sur un schiste à chloritoïde des Carpathes », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 116, Janvier-Juin 1893, 1893 p.602.

titre d'exemple en 1875, Michel-Lévy utilise un grossissement de 1400 fois⁹⁰⁹ et James Clifton Ward précise que les observations et les examens se font avec un grossissement qui va de x6 à x80⁹¹⁰. Ces précisions sont assez rares dans les articles, mais cependant accessibles lorsque les auteurs ajoutent des planches illustratives.

Mode d'emploi pour fabriquer et utiliser des sections fines de roches

L'usage du microscope relevé précédemment dans les pratiques d'observation est associé de manière systématique à celui des sections fines. Ainsi, Lacroix en 1887⁹¹¹ observe ses échantillons réduits en sections fines, tout comme Michel-Lévy⁹¹² qui réduit ses échantillons en plaques très minces dont l'épaisseur va de 0,001 à 0,02 mm ou encore Gentil⁹¹³ qui précise réaliser un examen en plaques minces. Toutes ces mentions nous indiquent que les savants utilisent des sections fines de roches et qu'ils les observent par transparence au microscope. La pratique de Stanislas Meunier se distingue des autres puisque l'auteur observe les roches soit pulvérisées, soit taillées en lames minces⁹¹⁴. La pulvérisation est une pratique commune, régulièrement mentionnée précédemment et qui coexiste avec celle des sections fines. Cependant, elle n'apparaît que très rarement dans les articles du corpus que nous avons constitué, probablement en raison de l'orientation pétrographique de notre corpus.

La technique de fabrication des sections fines de roches n'est pas visible dans les articles que nous avons consultés. Les descriptions des étapes se retrouvent dans les traités, comme pour ceux de Zirkel et Rosenbusch. Fouqué et Michel-Lévy, tout comme les savants allemands exposent les détails de fabrication des sections fines dans *Minéralogie micrographique* en 1879.

⁹⁰⁹ Auguste MICHEL-LEVY, « De quelques caractères microscopiques des roches anciennes acides, considérées dans leurs relations avec l'âge des éruptions », *Bulletin de la Société Géologique de France*, Tome 3 série 3, Années 1874-1875, 1875, p.200

⁹¹⁰ James Clifton WARD, « Notes on the comparative microscopic rock-structure of some ancient and modern volcanic rocks », *Quarterly Journal of the Geological Society of London*, Volume 31, 1875, p. 394.

⁹¹¹ Alfred LACROIX, « Note sur une roche à wernérite granulitique des environs de Saint-Nazaire », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 104, Janvier-Juin 1887, 1887, p.1011.

⁹¹² A. MICHEL-LEVY, « Propriétés optiques des auréoles polychroïques », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 109, Juillet-Décembre 1889, 1889, p.973.

⁹¹³ L. GENTIL, « Sur la microstructure de la mélilite », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 118, Janvier-Juin 1894, 1894, p.998.

⁹¹⁴ Stanislas MEUNIER, « Observation sur quelques roches asphaltiques et sur l'origine de l'asphalte », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 123, Juillet-Décembre 1896, 1896, p.1327-1329

Encart 31 : Techniques de préparation des échantillons pour des observations microscopiques, selon Fouqué et Michel-Lévy⁹¹⁵.

Les auteurs annoncent que les roches sont observées, soit réduites en poudre⁹¹⁶, soit préparées en sections fines. Ces deux techniques ne sont pas sans rappeler les travaux précédemment évoqués de Cordier, que les auteurs citent d'ailleurs, pour l'observation des poudres, mais aussi ceux de Sorby et des savants allemands pour les sections fines. Nous ne nous attarderons que sur les techniques de préparation des sections fines.

Extraction d'un échantillon.

Avant d'entamer le processus de taille en sections fines, il faut obtenir un fragment de roche. Il doit faire 2cm de côté. Pour l'obtenir, on donne un coup de marteau ou on scie l'échantillon.

On peut scier avec un archet, constitué d'un fil de fer tendu sur un arc en bois, de l'émeri et de l'eau. On peut également utiliser une scie circulaire, mais les entailles sont irrégulières d'après Fouqué et Michel-Lévy.

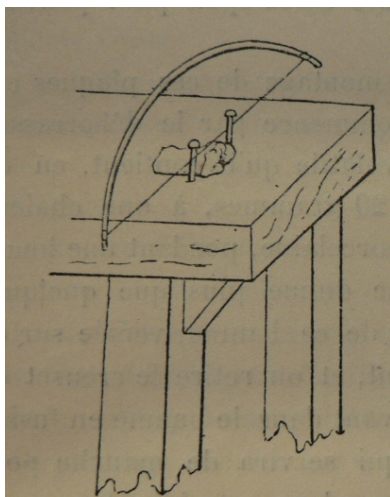


Figure 62 : Illustration d'un archet et son usage pour couper un échantillon, extrait de l'ouvrage de Gorecki⁹¹⁷.

User l'échantillon.

On utilise un plan de fonte ou de zinc ou encore une glace recouverte d'émeri. La grosseur de l'émeri va en diminuant. On peut aussi utiliser une meule en grès pour poncer l'objet. On

⁹¹⁵ Ferdinand André FOUQUE et Auguste MICHEL-LEVY, *Minéralogie micrographique, roches éruptives françaises*, Imprimerie de A. Quantin, Paris, 1879, p. 18

⁹¹⁶ Notons que pour la technique de réduction en poudre, les poudres issues de la pulvérisation et du tamisage sont ensuite fixées entre deux lames à l'aide d'un mélange contenant également du baume du Canada.

⁹¹⁷ Ladislav Xavier GORECKI, *Du microscope appliqué à l'étude de la minéralogie et de la pétrographie. Minéralogie Micrographique*, A. Delahaye et E. Lecrosnier, Paris, 1887, p.5.

termine cette étape en utilisant un émeri extrêmement fin sur un plan fixe ou sur un tour d'opticien pour polir l'échantillon.

Coller l'échantillon.

Une fois que la face est polie, on la nettoie et la colle sur un morceau de verre assez épais. Le verre épais facilite les manipulations. On utilise une résine, du baume du Canada ou bien de l'arcanson pour coller l'ensemble. On dépose sur une plaque de verre chauffée quelques gouttes de résine. On y glisse le fragment coté poli et on appuie fortement dessus pour le faire adhérer. Il faut être précautionneux et éviter les bulles d'air qui limitent l'adhérence de l'échantillon. On tâche de retirer l'excédent de baume une fois sec.

User la seconde face.

On use de la même manière la seconde face. On doit particulièrement faire attention à ce que les excès de baume du Canada n'arrachent pas des parties de l'échantillon et l'on doit en retirer les excès au préalable. L'épaisseur de l'échantillon doit être de 1 à 4 centièmes de millimètre. On vérifie cette épaisseur en regardant la couleur des feldspaths entre nicols croisés. Ils doivent apparaître gris-bleuâtre.

Monter la section fine définitive.

On décolle la section fine de la plaque de verre en chauffant doucement l'ensemble. Le baume va alors se fluidifier et la section va pouvoir glisser. On la dépose alors sur une plaque de verre qui a été au préalable enduite de baume et chauffée. A chaud, l'échantillon est recouvert d'une seconde plaque de verre très mince.

Une fois que l'ensemble est solidifié, l'échantillon est prêt pour être observé.

Les descriptions de fabrication de sections fines se retrouvent également de manière aussi détaillée dans l'ouvrage de Williams⁹¹⁸, publié en 1886. L'auteur explique s'appuyer sur la description des étapes que publie Rosenbusch dans son livre. Les ouvrages de Jannettaz⁹¹⁹ en 1874, de Lasaulx⁹²⁰ et de Nivoit⁹²¹ en 1887 décrivent quant à eux la préparation des sections fines en quelques phrases. Les savants précisent les étapes de ponçage et de polissage, l'usage du baume du Canada et la transparence nécessaire des sections fines pour les observations. Le processus de normalisation des sections fines de roches déjà mentionné auparavant se retrouve également dans les différentes descriptions de ces traités. L'objet est standardisé dans le but de pouvoir reproduire les observations.

⁹¹⁸ Georges Huntington WILLIAMS, *Modern petrography an account of the application of the microscope to the study of geology*, Boston, D. C. Heath & co. publishers, 1886, p.32-35.

⁹¹⁹ Edouard JANNETAZ, *Les roches, Description de leurs éléments, Méthode de détermination*, Paris, Editeur J. Rothschild, 1874, p.17-18.

⁹²⁰ Arnold de LASAULX, *Précis de Pétrographie, introduction à l'étude des roches*, Paris, Rothschild éditeur, 1887, p.10-11.

⁹²¹ Edmond NIVOIT, *Géologie appliquée à l'art de l'ingénieur T.I. Phénomènes géologique, minéraux, roches-fossiles*, Paris, Librairie polytechnique, Editeurs Baudry et Cie, 1887, p.251-253.

Cependant, Bleicher propose une autre méthode de réduction en section fines dans un article en 1895⁹²² (voir encart ci-dessous). Il évoque les roches calcaires qui peuvent être réduites en lames minces par « des procédés ordinaires ». L'usage du mot ordinaire fait écho aux remarques précédentes quant à la normalisation des usages et des techniques. Ce mot renvoie sûrement aux pratiques de réduction en sections fines évoquées par les auteurs dans leurs traités. C'est un renvoi fort, à l'inclusion dans les pratiques de cette technique de fabrication. De plus, l'auteur propose dans son article une technique différente de production de sections. Cet exemple montre que les techniques de production sont toujours évolutives selon les matériaux à transformer.

Encart 32 : Technique de fabrication de sections fines par Bleicher en 1895 ⁹²³.

Pour obtenir des coupes très minces, Bleicher⁹²⁴ utilise l'action de l'eau acidifiée.

On projette à l'aide d'un vaporiseur de l'acide chlorhydrique sur une plaque déjà amincie. Cette eau acidifiée évite une action trop brutale et trop inégale des acides.

On aplanit la coupe et on renouvelle la vaporisation jusqu'à obtenir une section fine transparente.

Cette technique s'applique d'après l'auteur à toutes les roches calcaires et calcaro-marneuses mais aussi aux fossiles aux végétaux et aux animaux. La méthode est cependant moins efficace sur les roches oolithiques.

La lumière polarisée-analysée, un usage établi

Les sections fines observées au microscope le sont à l'aide de lumière polarisée ou polarisée-analysée. Cette dernière est perceptible soit par la mention directe de l'expression « lumière polarisée », soit par celle « des nicols ». A titre d'exemple, Fouqué mentionne l'usage des nicols croisés en 1873⁹²⁵, tout comme Michel-Lévy deux ans plus tard⁹²⁶ ou bien plus tardivement L. Duparc et A. Delebecque⁹²⁷ en 1894. Lacroix en 1891 décrit l'utilisation de lumière polarisée

⁹²² Gustave-Marie BLEICHER, « Sur quelques perfectionnements apportés à la préparation et à l'étude de plaques minces de roches sédimentaires calcaires », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 120, Janvier-Juin 1895, 1895, p.1129.

⁹²³ Gustave-Marie BLEICHER, « Sur quelques perfectionnements apportés à la préparation et à l'étude de plaques minces de roches sédimentaires calcaires », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 120, Janvier-Juin 1895, 1895, p.1129.

⁹²⁴ Gustave-Marie BLEICHER, *ibid.*

⁹²⁵ Ferdinand André FOUQUE, « Sur les inclusions vitreuses renfermées dans les feldspaths des laves de Santorin », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 77, Juillet-Décembre 1873, 1873, p.1323

⁹²⁶ Auguste MICHEL-LEVY, « De quelques caractères microscopiques des roches anciennes acides, considérées dans leurs relations avec l'âge des éruptions », *Bulletin de la Société Géologique de France*, Tome 3 série 3, Années 1874-1875, 1875, p.200

⁹²⁷ L. DUPARC et A. DELEBECQUE, « Sur les gabbros et les amphibolites du massif de Belledonne », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 118, Janvier-Juin 1894, 1894 p.674.

parallèle pour effectuer un examen microscopique⁹²⁸. Cette indication de Lacroix est intéressante, puisqu'il est aussi possible d'effectuer des observations en lumière polarisée convergente. Les caractères observés ne sont alors pas les mêmes. Pourtant, cette remarque met en avant le fait que les auteurs des articles ne précisent pas cette caractéristique de la lumière, suggérant alors que la mention de lumière polarisée signifie implicitement l'usage de lumière polarisée parallèle.

Dans leurs traités, Nivoit mais aussi Lasaulx décrivent avec plus de détails l'usage des prismes nicols⁹²⁹ pour déterminer les caractères optiques des minéraux (voir encart ci-dessous).

Encart 33 : Usage des prismes nicols et révélation des caractères optiques.

Nivoit dans son ouvrage aborde la manière d'utiliser les prismes nicols. Ainsi, l'une des observations microscopiques consiste à mettre entre deux nicols croisés une plaque de cristal, d'un système rhomboédrique ou quadratique, taillé perpendiculairement à son axe optique.

L'observateur constate alors des figures représentant des anneaux circulaires et concentriques irisés comme un arc en ciel, traversés par une croix noire dont les axes sont parallèles aux deux axes des nicols.

Selon le système cristallin, la figure est différente. Pour Nivoit, il s'agit alors d'un « [...] *moyen de distinguer les cristaux à un axe optique, de ceux à deux axes*⁹³⁰ »

Le savant évoque également la polarisation chromatique. Cette dernière n'est valable d'après Nivoit que pour des plaques d'une épaisseur de 3 à 4 centièmes de millimètre. En effet, si la section fine est trop mince, en nicols perpendiculaires, elle sera noire. Si elle possède la bonne épaisseur, les teintes de polarisation sont observables et varient selon la nature des substances, l'épaisseur de la section fine et l'orientation de cette dernière. D'ailleurs, Nivoit ajoute que « *(p)our une épaisseur déterminée de plaques, les colorations sont caractéristiques de diverses matières cristallines*⁹³¹ ».

L'auteur mentionne l'observation des phénomènes d'interférences, qui se font en lumière convergente. A ce propos l'auteur parle de la lentille de Emile Bertrand, qui transforme la lumière parallèle en lumière convergente, permettant ainsi ce type d'observations.

Fouqué et Michel-Lévy font de même, tout en proposant une planche qui illustre l'utilisation de la lumière convergente pour l'identification des minéraux à un ou plusieurs axes optiques.

⁹²⁸ Alfred LACROIX, « Sur l'existence de la leucite en veinules dans un basalte du Mont Dore », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 113, Juillet-Décembre 1891, 1891, p.751.

⁹²⁹ Nous avons abordé dans le Chapitre 4 l'utilisation du nom du savant pour dénommer le prisme.

⁹³⁰ Edmond NIVOIT, *Géologie appliquée à l'art de l'ingénieur T.1. Phénomènes géologique, minéraux, roches-fossiles*, Paris, Librairie polytechnique, Editeurs Baudry et Cie, 1887, p.249

⁹³¹ E. NIVOIT, *Géologie appliquée à l'art de l'ingénieur T.1....., op.cit.*, p.250-51

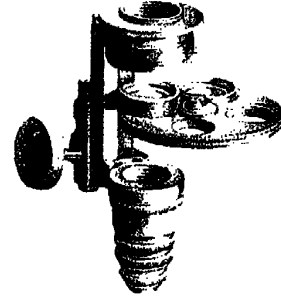
LUMIÈRE CONVERGENTE

φ Angle du plan vertical passant par un axe optique A avec la section principale du polariseur p.

App. Bertrand. — Modèle Nacéti

CAS UTILES A CONSIDÉRER.

- I et III. A est compris dans le champ du microscope.
- II. A est voisin du champ du microscope.
- IV. L'axe du microscope est intermédiaire entre A et la bissectrice b.
- V. b est dans le champ du microscope.



Les extinctions en lumière parallèle coïncident avec les images de la première colonne $\varphi = 0$. L'ordre des couleurs ne peut changer que dans les cristaux à deux axes (dispersion). Dispositif préférable : objectif n° 3 comme condenseur, avec objectif n° 7 à immersion, dans la glycérine.

	$\varphi = 0$	$\varphi < 45^\circ$	$\varphi = 45^\circ$	$\varphi > 45^\circ$	$\varphi = 90^\circ$
Cristaux à un axe.					
I.					
II.					
Cristaux à deux axes.					
III.					
IV.					
V.					

IMP. BECQUET PARIS

Figure 63 : Extrait de *Minéralogie micrographique*⁹³².

⁹³² Ferdinand André FOUQUE et Auguste MICHEL-LEVY, *Minéralogie micrographique, roches éruptives françaises*, Imprimerie de A. Quantin, Paris, 1879, p.115.

Au sein des publications françaises, les trois éléments constitutifs de l'ensemble technique pétrographique sont visibles et utilisés par les savants. Mais quelle méthode utilisent-ils pour identifier les roches ?

2. Conduire des observations pétrographiques (1880-1890)

Les savants mobilisent l'ensemble technique pétrographique dans le but d'observer des échantillons de roches. Ces observations reprennent la méthodologie que décrit Zirkel (observations macroscopiques et microscopiques) et utilisent des caractères minéralogiques pour identifier les objets.

Les caractères minéralogiques utilisés dans les années 1880 sont plus divers que ceux décrits dans les années 1810. Certains caractères sont nouveaux, comme ceux relatifs aux propriétés optiques des minéraux ou encore ceux des textures et des structures des roches qui se sont diversifiés avec les observations microscopiques, tandis que d'autres sont conservés, comme la couleur ou bien la dureté.

Dans le cas des descriptions macroscopiques, les savants peuvent mentionner la forme, l'aspect, la couleur comme le fait Lucien Cayeux (1864-1944)⁹³³ ou bien Pierre Termier (1859-1930)⁹³⁴ qui ajoute la cassure et décrit la pâte et les cristaux observables. Ainsi, la description des minéraux est tout aussi importante que celle de la pâte qui les englobe comme dans l'exemple de Termier⁹³⁵ ou celui de Michel-Lévy. Il inclut ce type de descriptions dès 1874 quand il étudie des échantillons de porphyre granitoïde recueillis dans la Loire⁹³⁶ et dont il précise les minéraux contenus ainsi que l'aspect de la pâte. La taille, la forme des minéraux sont également décrites par Lacroix en 1895⁹³⁷.

Lorsqu'il s'agit d'observations microscopiques, les savants se réfèrent à d'autres catégories de caractères. A titre d'exemple, Jannetaz dans son ouvrage décrit ainsi les feldspaths :

« Ce sont des silicates alumino-alcalins ou alumino-terreux plus durs que l'acier et l'Apatite, d'une dureté de 6. Ils font feu au briquet, mais sont rayés par le quartz. Ils sont aussi nettement clivables, d'ordinaire, au moins suivant deux directions qui font entre elles un angle

⁹³³ L. CAYEUX, « Composition minéralogique et structure des silex du gypse des environs de Paris », *Compte rendu de l'Académie des sciences*, T.120, Janvier à juin 1895, p.391-94.

⁹³⁴ P. TERMIER, « Sur l'existence de la microgranulite et de l'orthophyre dans les terrains primaires des Alpes françaises », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 115, Juillet-Décembre 1892, p.971-974.

⁹³⁵ P. TERMIER, *ibid.*

⁹³⁶ Auguste MICHEL-LEVY, « Note sur quelques roches analogues aux porphyres granitoïdes de la Loire », *Bulletin de la Société Géologique de France*, Tome 2 Série 3, Années 1873-1874, 1874, p.60-67.

⁹³⁷ Alfred LACROIX, « Sur l'existence de roches à leucite dans l'Asie Mineure et sur quelques roches à hypersthène du Caucase », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 110, Janvier-Juin 1890, p.302-304.

de 90° (orthose) ou d'environ 80° (anorthose) et sont tous fusibles plus ou moins facilement »⁹³⁸.

De manière générale l'auteur pour les autres minéraux donne la composition, le système cristallin, la couleur, la dureté, la densité, les résultats aux acides, au chalumeau, le clivage et les axes optiques.

Par ailleurs, Michel Lévy en 1874⁹³⁹ mentionne la couleur, la taille des cristaux et leur forme cristalline, tout comme plus tardivement en 1894 Inostranzeff⁹⁴⁰. Ces caractères sont d'ailleurs assez régulièrement indiqués et ne diffèrent pas de ceux que nous avons évoqués à de multiples reprises. Pour autant, lorsqu'il s'agit de décrire les échantillons observés en lumière polarisée, d'autres caractères sont alors mobilisés. Par exemple, en 1875, Michel-Lévy précise que « (l)'observation en Nicols croisés produit des irisations et des jeux de lumières très caractéristiques »⁹⁴¹.

Par ce moyen, Lacroix précise les axes optiques et la biréfringence d'une olivine en 1887⁹⁴², tout comme Urbain le Verrier⁹⁴³, qui pour décrire des échantillons, indique la normale optique, les axes d'élasticité, le polychroïsme ainsi que les caractères plus classiques comme la biréfringence, les clivages et la couleur. A nouveau Lacroix en 1891⁹⁴⁴ reprend certains de ces caractères et ajoute notamment la description des macles. La même année Cayeux⁹⁴⁵ utilise d'autres caractères comme le relief, l'éclat et les bissectrices. L. Duparc et A. Delebecque⁹⁴⁶ décrivent également les extinctions mais aussi l'allongement positif d'un échantillon contenant du diallage.

Les caractères relevés dans ces différents articles contribuent alors à décrire les minéraux contenus dans une section fine de roche étudiée. Ils sont diversement mentionnés par les auteurs qui les citent pour décrire un échantillon et non pas pour faire étalage de l'ensemble des caractères disponibles. L'exemple ci-dessous permet de comprendre la manière dont les auteurs les mobilisent.

⁹³⁸ Edouard JANNETTAZ, *Les roches, Description de leurs éléments, Méthode de détermination*, Paris, Editeur J. Rothschild, 1874, p.25-26.

⁹³⁹ Auguste MICHEL LEVY, « Note sur la biréfringence de quelques minéraux, applications à l'étude des roches en plaques minces », *Bulletin de la Société minéralogique de France*, Tome 7, 1884, p.60-67.

⁹⁴⁰ INOSTRANZEFF, « Sur les formes du platine dans sa roche mère de l'Oural », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 118, Janvier-Juin 1894, 1894, p.264-65.

⁹⁴¹ Auguste MICHEL-LEVY, « De quelques caractères microscopiques des roches anciennes acides, considérées dans leurs relations avec l'âge des éruptions », *Bulletin de la Société Géologique de France*, Tome 3 série 3, Années 1874-1875, 1875, p.202.

⁹⁴² Alfred LACROIX, « Etude pétrographique d'un gabbro à olivine de la Loire-Inférieure », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 104, Janvier-Juin 1887, 1887, p.870-871

⁹⁴³ Urbain LE VERRIER, « Sur une venue de granulite à riebeckite de Corse », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 109, Juillet-Décembre 1889, 1889, p.38-39.

⁹⁴⁴ Alfred LACROIX, « Sur l'existence de roches à leucite dans l'Asie Mineure et sur quelques roches à hypersthène du Caucase », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 110, Janvier-Juin 1890, 1890, p.302-304.

⁹⁴⁵ Lucien CAYEUX, « Diffusion des trois formes distinctes de l'oxyde de titane dans le créacé du nord de la France », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 112, Janvier- Juin 1891, 1891, p.1279-1280.

⁹⁴⁶ L. DUPARC et A. DELEBECQUE, « Sur les gabbros et les amphibolites du massif de Belledonne », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 118, Janvier-Juin 1894, 1894, p.673-675.

Encart 34 : Illustration de l'usage des caractères dans la description d'un échantillon, d'après un article de A. Michel-Lévy⁹⁴⁷.

Auguste Michel Lévy⁹⁴⁸ identifie au sein de son échantillon des cristaux du premier et du second temps de consolidation. Il s'attache également à décrire les minéraux contenus. Voici l'exemple de l'albite :

Elle est décrite comme très maclée, de nombreuses lamelles polysynthétiques suivant la macle de l'albite, courtes, interrompues en forme de dents de scies, d'aspect caractéristique. Il y a aussi présence d'une macle de Carlsbad et cette dernière permet la détermination optique précise de l'albite. Il utilise le procédé de La Beche avec les indices de réfraction et la méthode de Fouqué avec l'extinction des sections perpendiculaires aux axes ng et np1.

De plus, d'autres moyens d'étudier les roches restent disponibles en plus de celui des sections fines. Lacroix en 1891⁹⁴⁹ effectue, pour identifier la leucite, des essais microchimiques, des tests à la chaleur ou encore aux acides.

III. Représenter les observations microscopiques

Dès lors que les observations de roches sont mentionnées par les savants, certains d'entre eux ont recours à l'illustration pour montrer les objets qu'ils décrivent à leur lecteur. Ainsi, l'illustration dans une science de l'observation peut prendre une place considérable. Nous nous posons donc la question de la place des illustrations ou des représentations graphiques en pétrographie microscopique et ce avant la mise en place de cette méthode, soit de 1860 à 1895.

La plupart des articles relatifs aux observations microscopiques ne présente pas d'illustration. Les articles présentés dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences* n'en présentent pas, par exemple. Tandis que le *Annalen* en propose, mais les articles publiés n'en contiennent pas tous. En dehors de l'ouvrage de Zirkel de 1866, la plupart des traités sur les observations microscopiques ou à propos de la pétrographie microscopique incluent des illustrations.

Ce premier constat semble montrer qu'il n'y a pas de nécessité à ajouter des illustrations. Le second point notifiable est l'absence d'uniformisation des représentations sur la période étudiée. Certains des ouvrages consultés ne contiennent aucune illustration. L'ouvrage de

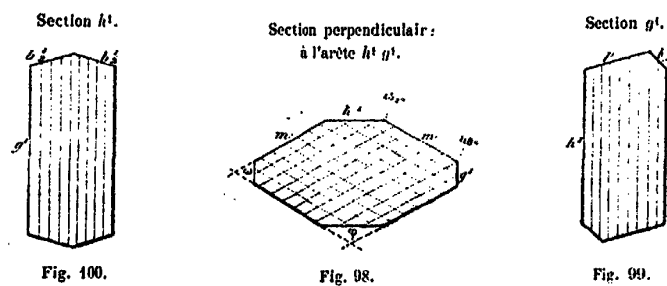
⁹⁴⁷ Auguste MICHEL-LEVY, « Etude pétrographique des albitophyres du bassin de Laval », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 122, Janvier-Juin 1896, 1896, p.264-66.

⁹⁴⁸ Auguste MICHEL-LEVY, *ibid.*

⁹⁴⁹ Alfred LACROIX, « Sur l'existence de la leucite en veinules dans un basalte du Mont Dore », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 113, Juillet-Décembre 1891, 1891, p.751-753.

Zirkel, *Lehrbuch der petrographie* de 1866 est un exemple, mis en avant notamment par David Young⁹⁵⁰. Pour autant, ce n'est pas le seul à ne pas proposer d'illustrations. Celui de Fouqué et de Michel Lévy en 1882 *Synthèse des minéraux et des roches*, en dehors de deux planches en début d'ouvrage n'inclut aucune illustration dans le texte. Le *Précis de Pétrographie* de Arnold von Lasaulx en 1887 ne propose aucune planche ou représentation dans le texte.

D'autres publications incluent au contraire des illustrations, soit sous la forme de planches en fin d'ouvrage la plupart du temps, soit incorporées dans le corps du texte. Par exemple, Sorby dans *On the microscopical structure of crystals indicating the origin of minerals and rocks* adjoint à son texte quatre planches. Rosenbusch quant à lui dans *Mikroskopische physiographie der petrographisch wichtigen mineralien* les insère dans le texte, tout comme les ouvrages des français Fouqué, Michel-Lévy et Lacroix.



Les pointements ordinaires de la hornblende sont composés des faces p
 $(ph¹ = 104^{\circ} 58')$ et $b^{\frac{1}{2}}$ ($b^{\frac{1}{2}} b^{\frac{1}{2}} = 148^{\circ} 28'$)

Figure 64 : Extrait d'une page de *Minéralogie micrographique* sur les Amphiboles⁹⁵¹.

⁹⁵⁰ YOUNG David, *Mind over magma. The Story of Igneous Petrology*, Princeton University Press, Princeton, 2003, p.153

⁹⁵¹ Ferdinand André FOUQUE et Auguste MICHEL-LEVY, *Minéralogie micrographique, roches éruptives françaises*, Imprimerie de A. Quantin, Paris, 1879, p.365.

Les sections minces montrent parfois la macle suivant δ' (112), polysynthétique et noyée dans le cristal fondamental.



FIG. 173.
Section p .

Il existe alors quatre séries de lamelles hémitropes suivant δ' (112), entre-croisées, dont les superpositions, grâce à l'extrême biréfringence du rutile, ne produisent plus, même en lames minces, que des extinctions imparfaites.

M. Mallard explique les anomalies optiques du rutile en admettant que le réseau du rutile est en réalité monoclinique, à axe pseudo-quaternaire.

III. Double réfraction à un axe positif (+) n_z . Polychroïsme sensible.

$$n_z = \begin{cases} 2,8415 \text{ R. (Bauwald) jaune brun.} \\ 2,9020 \text{ J.} \\ 2,9817 \text{ B.} \end{cases}$$

Figure 65 : Extrait d'une page de *Les minéraux des roches*⁹⁵².

Les illustrations sont de petite taille, en noir et blanc et à priori dessinées. Il n'y a pas d'indication quant aux auteurs des illustrations. Il est cependant possible d'imaginer que les savants en sont les auteurs. En effet, les carnets de pétrographie de Fouqué par exemple regorge d'illustrations dessinées à la main du savant (voir figure ci-dessous).

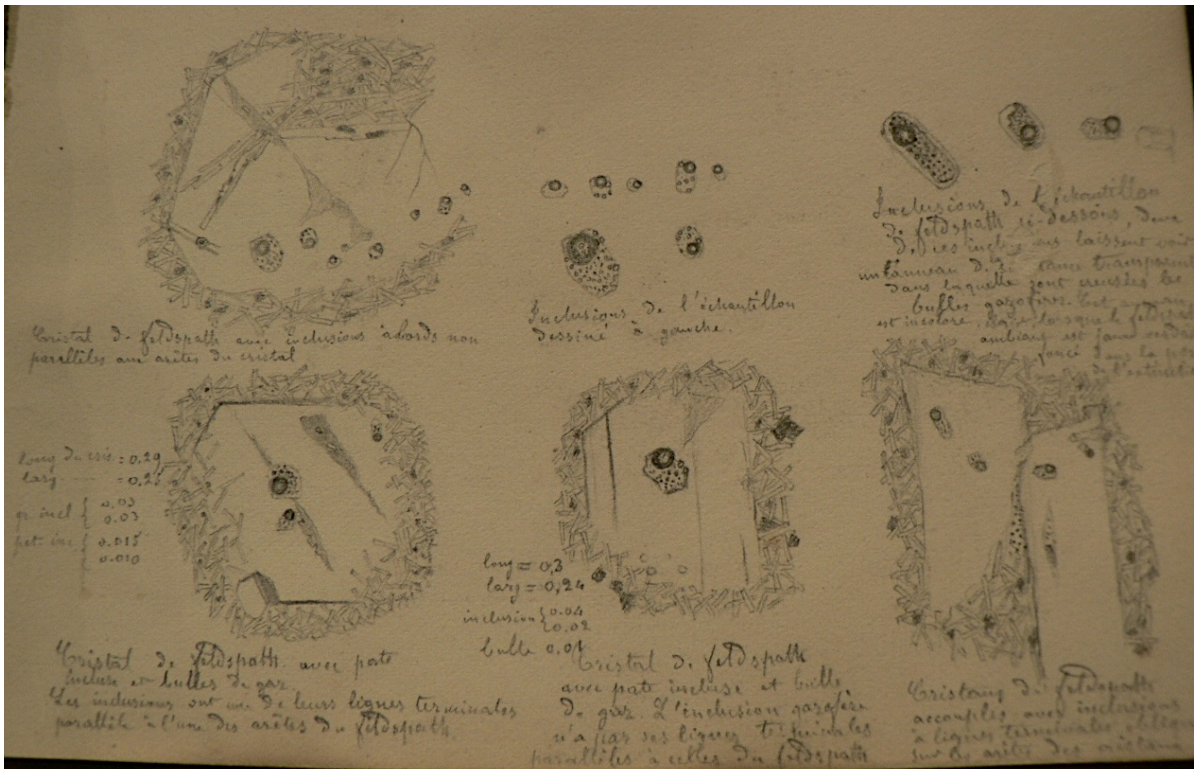


Figure 66 : Lave de Santorin, Pièce n°11 extrait des Carnets de pétrographie de Fouqué⁹⁵³.

⁹⁵² Auguste MICHEL LEVY et Alfred LACROIX, *Les minéraux des roches*, Editeurs Baudry et Cie, 1888, Paris, p. 276.

⁹⁵³ Ferdinand André FOUQUE, « Carnet de pétrographie microscopique », Académie des sciences, Fonds Fouqué 28J, carton 3, 9.01, 1866-67, p.67.

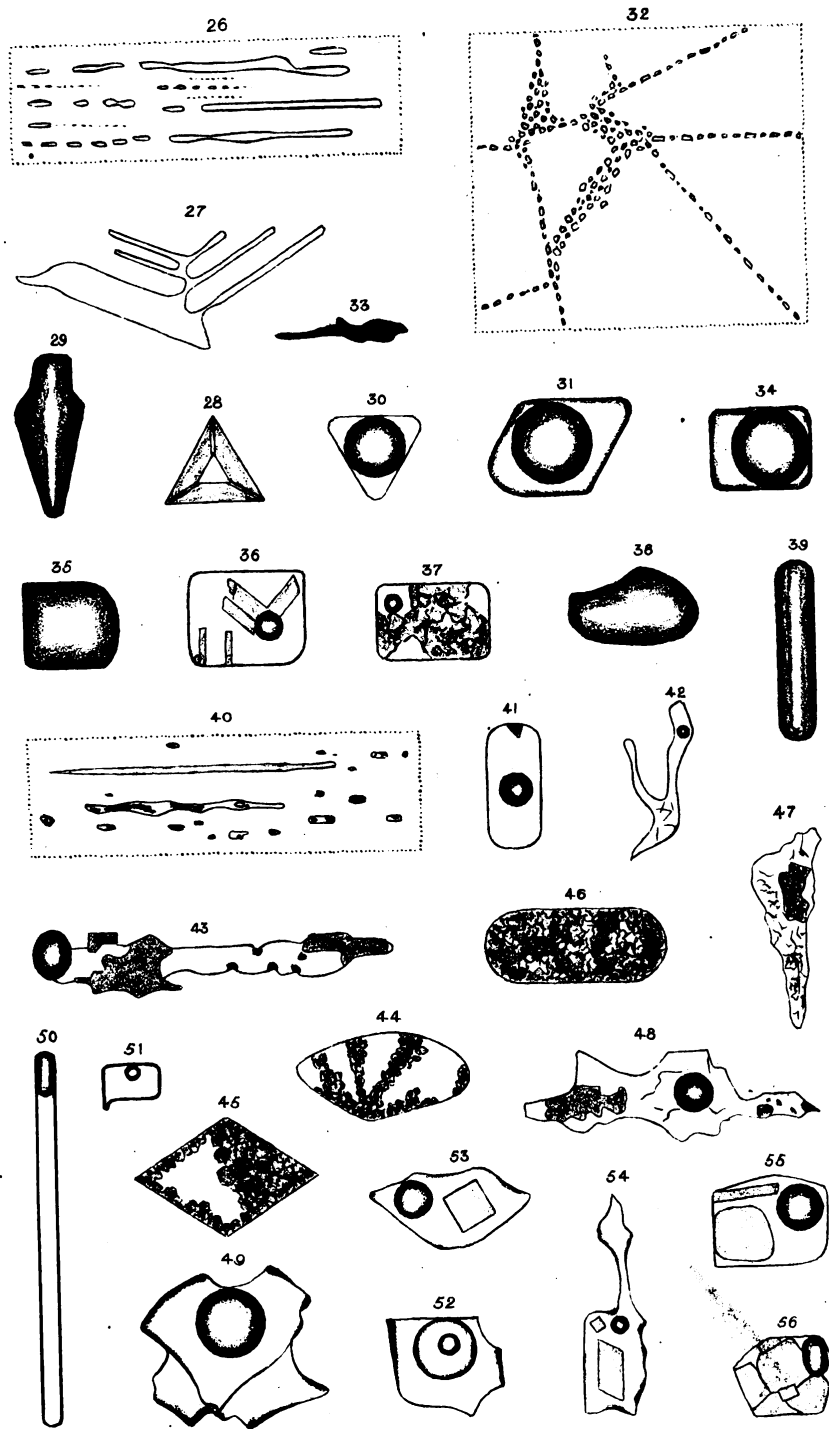
Les planches que propose Sorby dans *On the microscopical structure of crystals* sont un autre exemple de dessins en noir et blanc. Il adjoint à ses planches comme il est coutume de le trouver dans les traités ou les articles, une brève description de chacune d'entre elles⁹⁵⁴. Le savant précise avant cette présentation les conventions graphiques qu'il utilise :

« Le nombre de fois ou les objets sont agrandis en dimension linéaire est exprimé par le signe X. Les figures qui sont en pointillés sont des portions de cristaux et le reste sont des cavités entières séparées et des cristaux »⁹⁵⁵.

Sur la planche ci-dessous, la figure 32 est en pointillée et représente donc une portion de cristal tandis que la figure 27 illustre une cavité entière. L'indication en bas de la planche « *H.C. Sorby Del. Et Lith.* » signifie que Sorby a dessiné la planche lui-même et qu'elle est imprimée par lithographie. Par contre, Mesnel est l'auteur de la planche liée à l'article de Michel-Lévy. Elle est aussi imprimée par lithographie. Ce contre exemple montre alors qu'il est également possible d'avoir des illustrations produites pas un autre que les savants qui conduisent leurs observations microscopiques (voir Figure 72).

⁹⁵⁴ Henry Clifton SORBY, *On the microscopical structure of crystals indicating the origin of minerals and rocks*, Imprimeur Taylor & Francis, Londres, 1858, p.45-48

⁹⁵⁵ « The number of times that the objects are magnified in linear dimensions is expressed by the sign X . The figures with a dotted outline are portions of crystals, and the rest are entire separate cavities and crystals », extrait de Henry Clifton SORBY, *On the microscopical structure of crystals indicating the origin of minerals and rocks*, Imprimeur Taylor & Francis, Londres, 1858, p. 45.



H. C. SORBY DEL. ET. LITH.

STRUCTURE OF CRYSTALS.

Figure 67 : Cavités dans des cristaux artificiels formées à partir d'une solution dans l'eau⁹⁵⁶.

⁹⁵⁶ Henry Clifton SORBY, *On the microscopical structure of crystals indicating the origin of minerals and rocks*, Imprimeur Taylor & Francis, Londres, 1858, planche II.

Un autre type de représentations des illustrations se retrouve également dans diverses publications, il s'agit d'une représentation incluse dans un cercle. L'exemple ci-dessous montre l'insertion des dessins dans le texte. Ces cercles représentent à notre avis le champ visuel de l'observateur à travers le microscope. Les objets représentés sont alors ceux uniquement visibles à travers l'oculaire.

Einschlüsse a) bei starrem Aggregatzustande eine wesentliche Gestalt haben, also individualisirte Einschlüsse; b) zwar starr sind, aber keine wesentliche regelmässige Gestalt erkennen lassen, nicht-individualisirte Einschlüsse; c) flüssigen Aggregatzustand haben, Flüssigkeitseinschlüsse.

Die Interpositionen der ersten Art sind also dadurch charakterisirt, dass sie eine wesentliche polygonale, auf Krystallformen zurückzuführende Umgrenzung erkennen lassen. Da es nach der Natur der Sache sehr schwer, wenn überhaupt immer möglich ist, solche winzige mikroskopische Einschlüsse einer bestimmten Mineralspecies zuzuweisen, so lag es nahe, dieselben nach ihrer Gestalt zu charakterisiren. Man darf dabei aber nicht vergessen, dass gewisse Variationen in der Gestalt, ebensowenig wie grössere oder geringere Vollendung der Ausbildung, noch kein hinreichender Grund für eine detaillirte Classification sein können. Am meisten dürfte es sich empfehlen, solche starre Interpositionen, welche wohl Anfänge von Krystallisationen, gewissermassen Wachstumsformen zeigen, aber noch nicht zu einheitlichen Individuen geworden sind, „Krystalliten“ zu nennen, während man für solche starre Interpositionen, denen eine einheitliche, mehr oder weniger vollkommene krystallinische Gestalt zukommt, also für die eigentlichen



Fig. 12.
Spießige Mikrolithen aus Cordierit
von Orjärkevi.



Fig. 13.
Blättrige Mikrolithe aus Hypersthen
von St. Paul's Island.

Figure 68 : Extrait d'une page de *Mikroskopische physiographie*⁹⁵⁷

Par ailleurs, Rosenbusch propose en fin d'ouvrage dix planches supplémentaires, en noir et blanc, reprenant la même représentation en cercles. Mais ces représentations en cercles ne sont pas uniquement en noir et blanc. Elles peuvent être colorées. L'ajout de couleur est représentatif de l'évolution des observations pétrographiques. Elles témoignent des teintes de polarisation issues de l'usage de lumière polarisée analysée.

⁹⁵⁷ Harry ROSENBUSCH, *Mikroskopische physiographie der petrographisch wichtigen mineralien. Ein Hülftuch bei mikroskopischen gesteinstudien*, E. Schweizerbartische Verlagshandlung, Stuttgart, 1873, p.24.

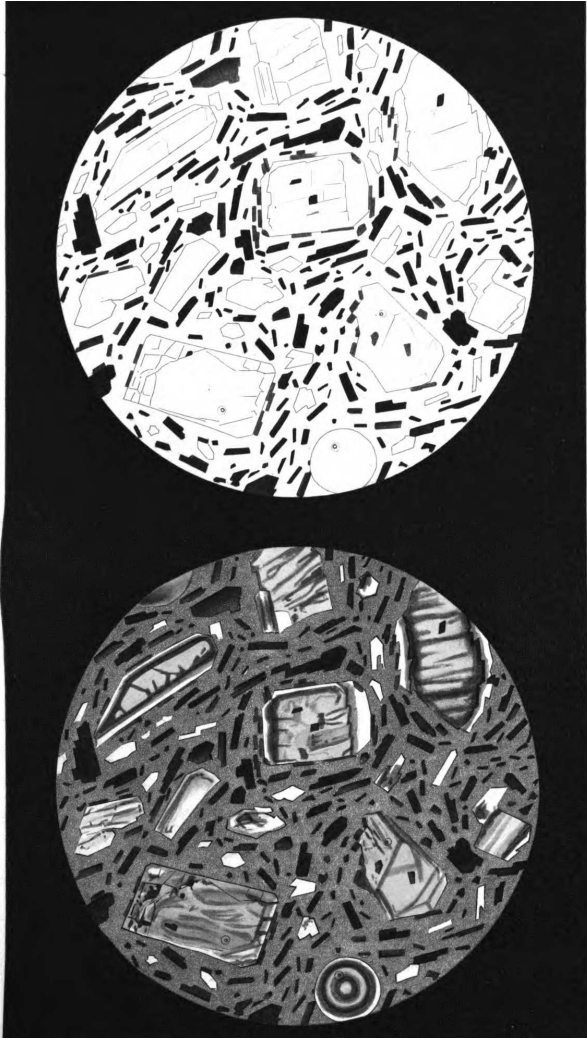


Figure 69 : Trachyte quartzique de Campiglia.⁹⁵⁸

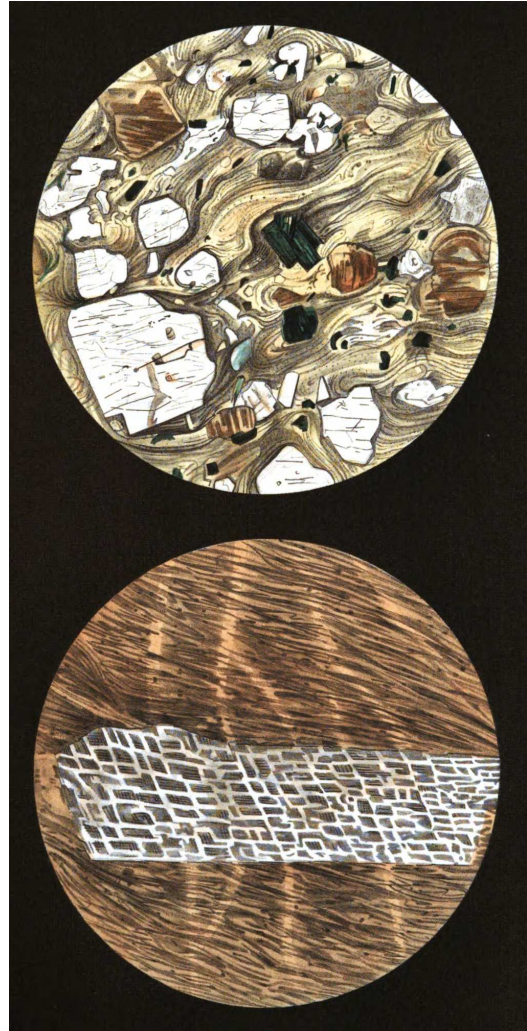


Figure 70 : Structure fluidale.

Dessin du haut : structure fluidale d'un porphyre quartzique de Wirgen en Saxe⁹⁵⁹.

Dessin du bas : Structure fluidale dans un porphyre rouge de Naundorf en Saxe⁹⁶⁰.

Par ailleurs, dans l'article que publie Zirkel en 1866⁹⁶¹, il y a une planche (voir illustration ci-dessous) qui combine les nombreuses représentations décrites auparavant. Les dessins sont colorés, avec une inclusion dans des cercles et parfois seulement un objet représenté. Cette représentation en cercles n'est donc pas issue d'une évolution des pratiques d'observation, mais

⁹⁵⁸ Hermann VOGELSANG, *Philosophie der Geologie und Mikroskopische gesteinsstudien*, Verlag von Max Cohen & sohn, Bonn, 1867, Planche 2

⁹⁵⁹ Hermann VOGELSANG, *Philosophie der Geologie...*, *op.cit.*, Planche 4, Figure 1.

⁹⁶⁰ Hermann VOGELSANG, *Philosophie der Geologie...*, *op.cit.*, Planche 4, Figure 2.

⁹⁶¹ Ferdinand ZIRKEL, « Über die mikroskopische Zusammensetzung und Structur der diessjährigen Laven von Nea-kammeni bei Santorin », *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde*, 1866, p.769-787.

présente dès lors que les roches ont été observée en section fines. La planche ci-dessous montre l'existence des deux types de représentations.

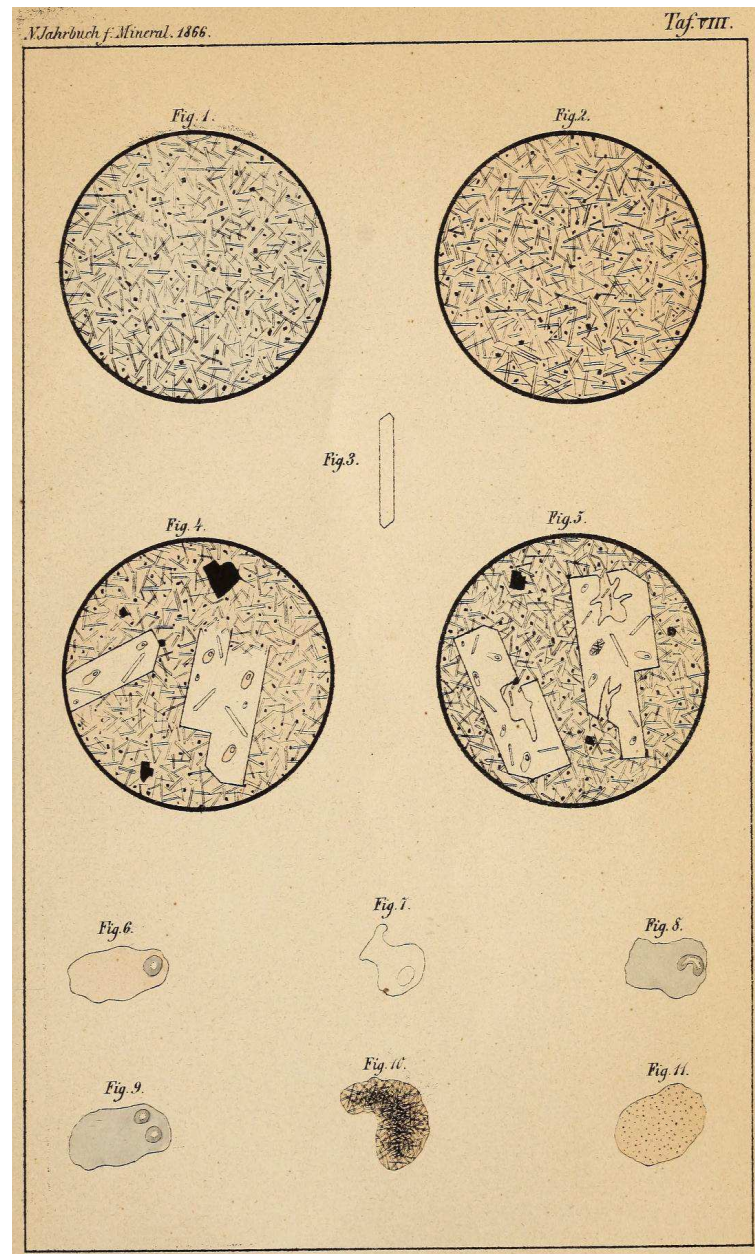


Figure 71 : Planche illustrant les observations microscopiques conduites par Zirkel⁹⁶².

Dans les planches issues des ouvrages français, les représentations ne sont pas incluses dans des cercles. Bien que colorées et toujours dessinées à la main, elles sont représentées à l'intérieur de carrés. Cette représentation graphique à la même fonction que celle des cercles,

⁹⁶² Ferdinand ZIRKEL, « Über die mikroskopische Zusammensetzung und Structur der diessjährigen Laven von Nea-kammeni bei Santorin », *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde*, 1866, planche 8.

elle indique au lecteur qu'il s'agit de l'observation d'une section fine et non pas d'une poudre ou d'un minéral isolé.

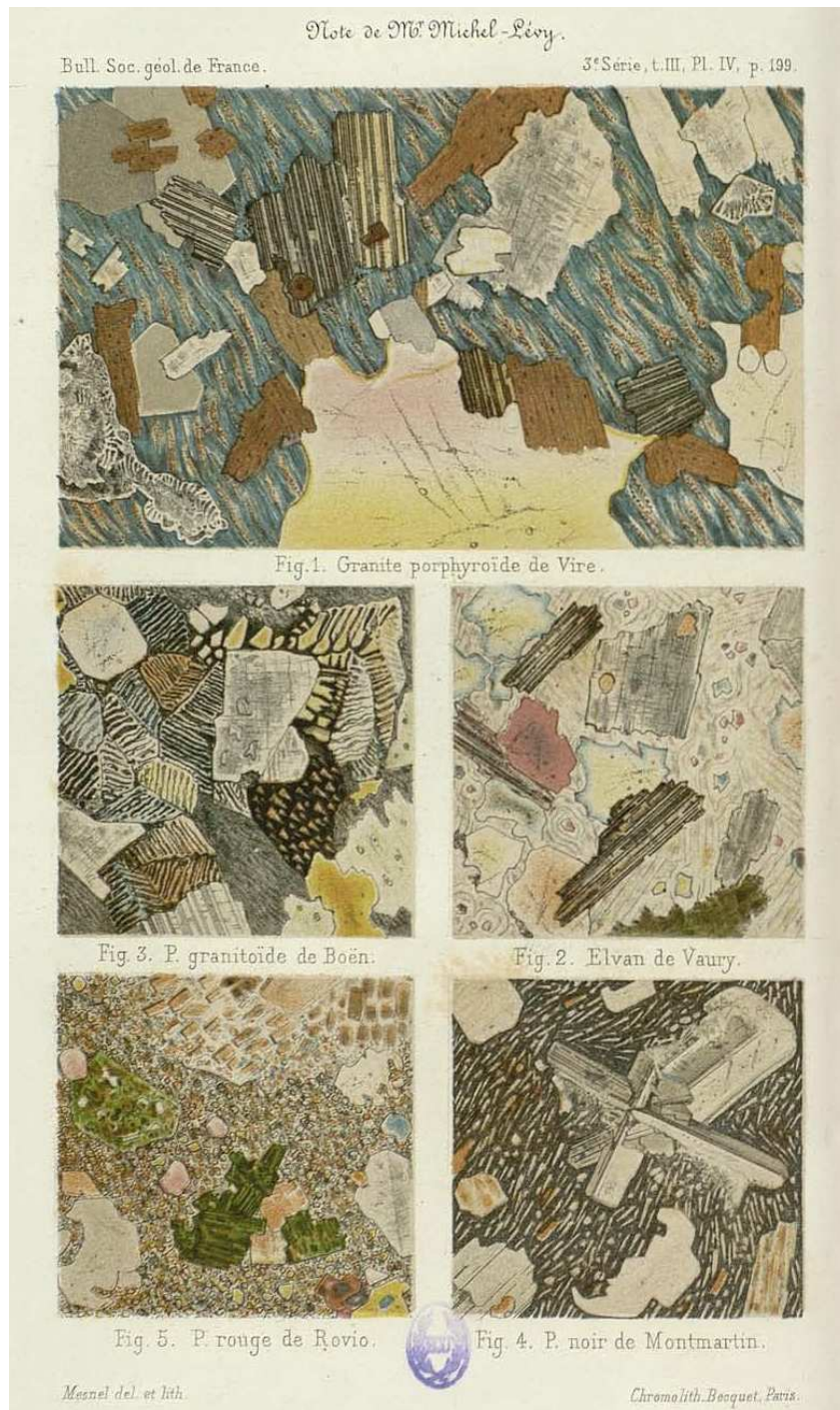


Figure 72 : Planche de différentes sections fines de roches⁹⁶³ (Nicols croisés, grossissement 80 fois).

La planche que proposent les auteurs de *Synthèse des minéraux et des roches* est identique dans ses représentations. Elle est dessinée, colorée et représentée sous une forme carrée

⁹⁶³ Auguste MICHEL-LEVY, « De quelques caractères microscopiques des roches anciennes acides, considérées dans leurs relations avec l'âge des éruptions », *Bulletin de la Société Géologique de France*, Tome 3 série 3, Années 1874-1875, 1875, p.200

Cependant, un calque imprimé la recouvre. Les informations imprimées sur ce calque permettent au lecteur d'identifier les minéraux au sein des échantillons dessinés. Ils sont figurés par des nombres. Le positionnement de cette planche en début d'ouvrage est une illustration d'après nous de ce qui est permis par la méthode pétrographique. L'origine de la présence du calque reste inconnue. Nous ignorons s'il s'agit d'un ajout de l'imprimeur ou d'une volonté didactique des auteurs pour rendre la planche plus informative.

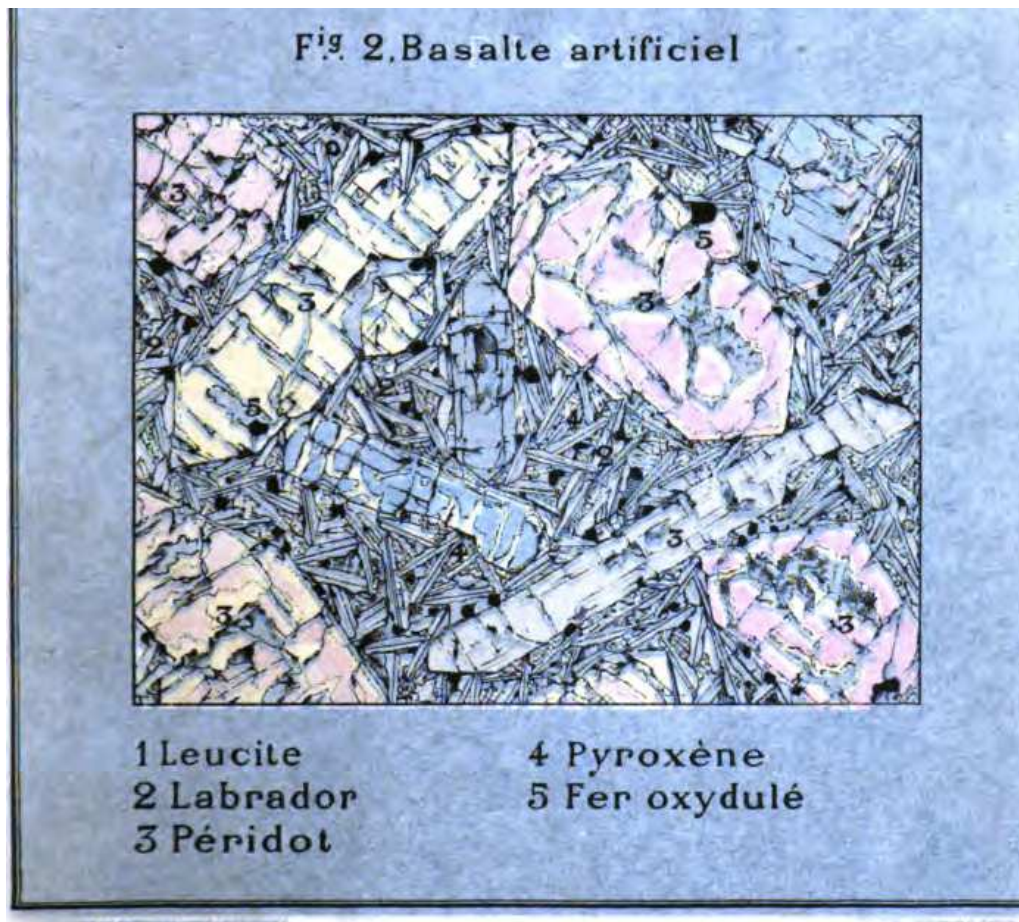


Figure 73 : Extrait de la planche dessinée colorée avec calque⁹⁶⁴.

⁹⁶⁴ Ferdinand André FOUQUE et Auguste MICHEL-LEVY, *Synthèse des minéraux et des roches*, Editeur Masson, Paris, 1882.

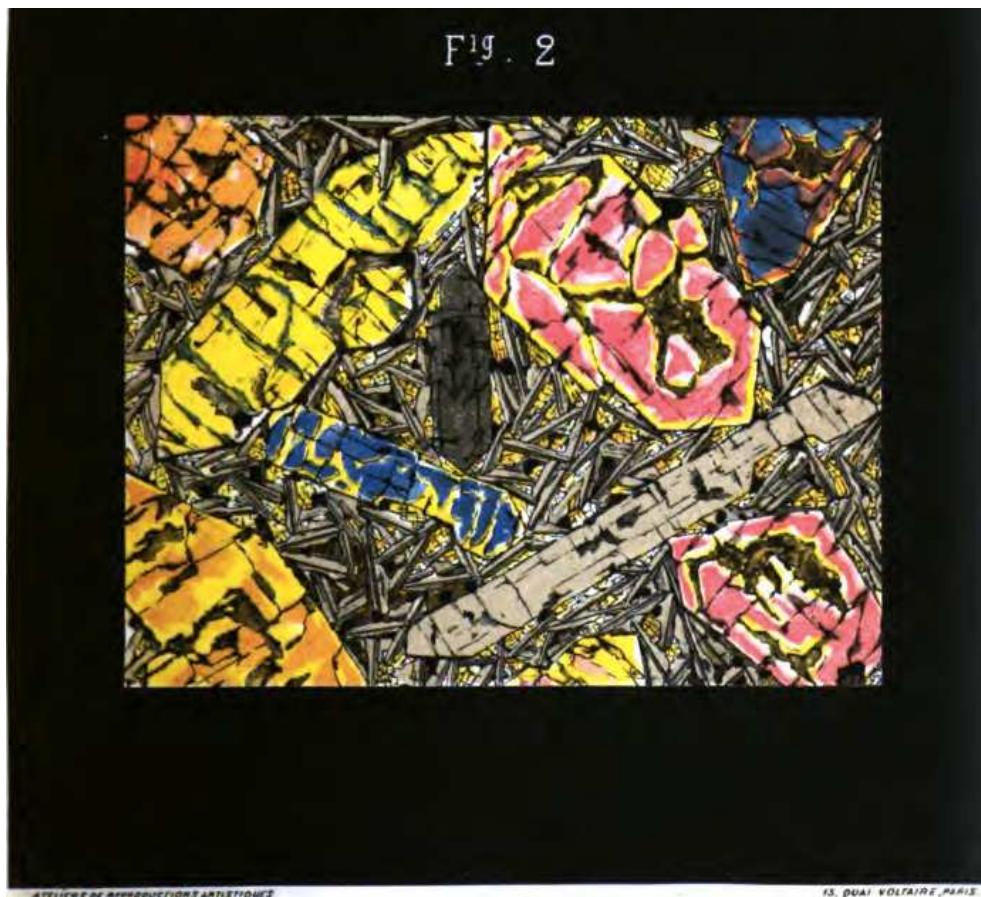


Figure 74 : Extrait de la planche dessinée colorée sans calque⁹⁶⁵.

Les représentations graphiques des observations microscopiques des roches sont très variées. Aucun schéma spécifique n'est visible sur la période allant de 1855 à 1895 tendant à montrer un usage de plus en plus important voir une standardisation des représentations. En effet, certains auteurs n'incluent aucune illustration, tandis que d'autres les insèrent dans le texte ou sous forme de planches en fin d'ouvrage. L'usage de couleur mérite de s'attarder un peu plus longuement que sur les autres formats de représentation, comme celui des cercles. La couleur est un témoin indirect de l'insertion de plus en plus importante de la lumière polarisée-analysée et des caractères qu'elle contribue à mettre au jour.

La variabilité de ces représentations montre qu'il n'y a pas systématiquement de représentation des observations pétrographiques jointes avec les travaux. Une pratique de l'illustration ne semble pas se mettre en place à la différence de la structuration des descriptions des observations de pétrographie microscopique que nous avons constaté dans les articles.

Tandis qu'à présent la pétrographie microscopique telle qu'enseignée, ne passe presque uniquement que par l'illustration et le dessin, une question se pose, alors, celle du

⁹⁶⁵ Ferdinand André FOUQUE et Auguste MICHEL-LEVY, *Synthèse des minéraux et des roches*, Editeur Masson, Paris, 1882.

moment où la représentation graphique se standardise et devient partie intégrante de la transmission des savoirs pétrographiques.

Conclusion

Les pratiques dont rendent compte les articles et traités relatifs à la pétrographie permettent de faire le constat tout d'abord de la mobilisation de l'ensemble technique pétrographique. Ainsi, les auteurs mentionnent l'usage du microscope, mais également de sections fines de roches ainsi que des prismes de Nicol, des dispositifs de polarisation.

Dans les années 1880, la mention des sections fines et de la lumière polarisée disparaît progressivement. Les savants ne s'attachent plus à décrire l'ensemble technique qui leur permet d'observer les roches, il est sous-entendu par l'expression « observation microscopique », couramment utilisée. La disparition de ces éléments et leur englobement dans une expression telle que « observation microscopique » montre qu'il n'est plus nécessaire pour les auteurs de préciser la manière dont ils effectuent leurs observations.

Par ailleurs, la présentation des contenus relatifs à l'étude des roches s'uniformise. En effet, les auteurs commencent d'abord par décrire le fruit d'observations à l'œil nu ou bien encore dites « macroscopiques ». Puis, les observations sont effectuées au niveau microscopique. Ces deux niveaux de description sont permis par l'usage d'un ensemble de caractères minéralogiques. En ce qui concerne les caractères microscopiques une diversification de ces derniers est visible entre les années 1870 et 1890, conduisant à l'usage d'un nombre assez important de caractères différents.

Enfin, le corpus montre la persistance des caractères chimiques évoqués en début du manuscrit. Nous constatons que ces caractères sont mobilisés dans une méthode issue des essais en voie sèche et humide du début du XIX^e siècle, mais qui semble s'être développée en une autre méthode, celle des essais microchimiques. L'insertion du microscope dans cette méthode est dans la continuité de la méthode de Cordier, tout comme la réduction des échantillons en poudre. La méthode des essais montre aussi que la pétrographie microscopique est un moyen existant parmi d'autres pour identifier et caractériser une roche à cette époque.

Conclusion de la troisième partie

Notre entrée par les pratiques au sein de la période de 1855-1895 met en avant des moments clés que nous jugeons essentiels pour l'histoire de la pétrographie microscopique. En effet, les parutions des traités de Zirkel en 1866, de Vogelsang en 1867 mais aussi en 1873, de Zirkel à nouveau et le second de Rosenbusch, constituent deux dates clés, respectivement 1866 et 1873. Notre approche des pratiques permet alors de tirer de ces ouvrages d'autres informations que l'historiographie récente, à propos notamment de la constitution d'une méthode de pétrographie microscopique.

La date de 1866 est alors une première borne chronologique notable, comprenant des éléments amorçant la constitution d'une méthode d'observation. Elle est basée sur une pratique microscopique d'observation qui mobilise le microscope et l'usage de sections fines de roches. Cette pratique est accompagnée de savoirs sur la structure des roches, les éléments qui les constituent, tous ayant comme but commun, l'identification des roches. Cette date est également le moment où le nom de pétrographie change de sens pour être attribué à cette méthode encore en construction.

Le second moment de notre période est 1873. Elle correspond à l'établissement d'un ensemble technique stable lié à une méthode de pétrographie. Cet ensemble technique correspond à la combinaison des sections fines, ici de roches, avec un microscope et un double dispositif de polarisation, un prisme de Nicol le plus souvent. En effet, la lumière polarisée est davantage mise en avant dans les traités de 1873 qu'auparavant, bien que son usage ne soit pas encore satisfaisant d'après les auteurs. La constitution d'un ensemble technique, mais également de la standardisation de la fabrication des sections fines de roches va de pair avec la constitution d'une méthode mobilisant cet ensemble technique.

Parallèlement à la construction de cette méthode d'observation des roches, nous avons constaté qu'en France, Fouqué va également dans les années 1866 pratiquer l'observation au microscope de roches taillées en section fines. L'observation microscopique fait partie des pratiques françaises depuis 1820 avec l'insertion de la méthode de Cordier, mais, les roches étaient généralement réduites en poudre, tandis que Fouqué, les taille en sections fines, comme l'indiquent ses archives. Cette pratique s'inscrit dans celle de Des Cloizeaux, qui taille en plaques minces les cristaux qu'il observe. Marginale, car nous ne la retrouvons pas à cette époque chez d'autres savants, la pratique de Fouqué va prendre davantage d'importance sous l'influence des publications allemandes et le développement de la méthode pétrographique. Les savants Michel-Lévy et Lacroix vont également participer au développement de la pétrographie, et ce de deux manières. La première en utilisant la méthode de pétrographie microscopique lorsqu'ils observent des roches. La seconde en établissant des caractères liés à l'utilisation de la lumière polarisée pour distinguer les minéraux. Il applique alors aux minéraux les caractères optiques identifiés par Des Cloizeaux sur les cristaux et contribuent à la constitution d'une méthode efficace de détermination.

D'autres savants conduisent des observations utilisant la méthode de pétrographie microscopique dans les années 1880. Ces savants se réfèrent aux auteurs allemands et français liés à la constitution ou au développement de la pétrographie microscopique. A cette échelle, ils constituent une première communauté qui utilise la pétrographie microscopique dans ses recherches et participe à sa diffusion. Inclus, ils vont dans le sens de la constitution d'un domaine nommé pétrographie microscopique. En effet, nous assistons à la disparition progressive des mentions de l'ensemble technique dans les publications. Il est sous-entendu par des expressions courantes, telles que « nicols croisés » et implique que son usage est passé dans les pratiques courantes. Un autre élément tendant à montrer que la pétrographie se constitue en tant que domaine est la présence d'enseignements. Ils sont notamment dispensés aux Etats-Unis, mais également en Allemagne comme Rosenbusch qui enseigne à Heidelberg à partir de 1877 et Georges Williams donne des cours de pétrographie à l'Université John Hopkins à partir de 1883. En France également, quelques enseignements de pétrographie microscopique sont visibles, bien que non explicitement mentionnés comme tels.

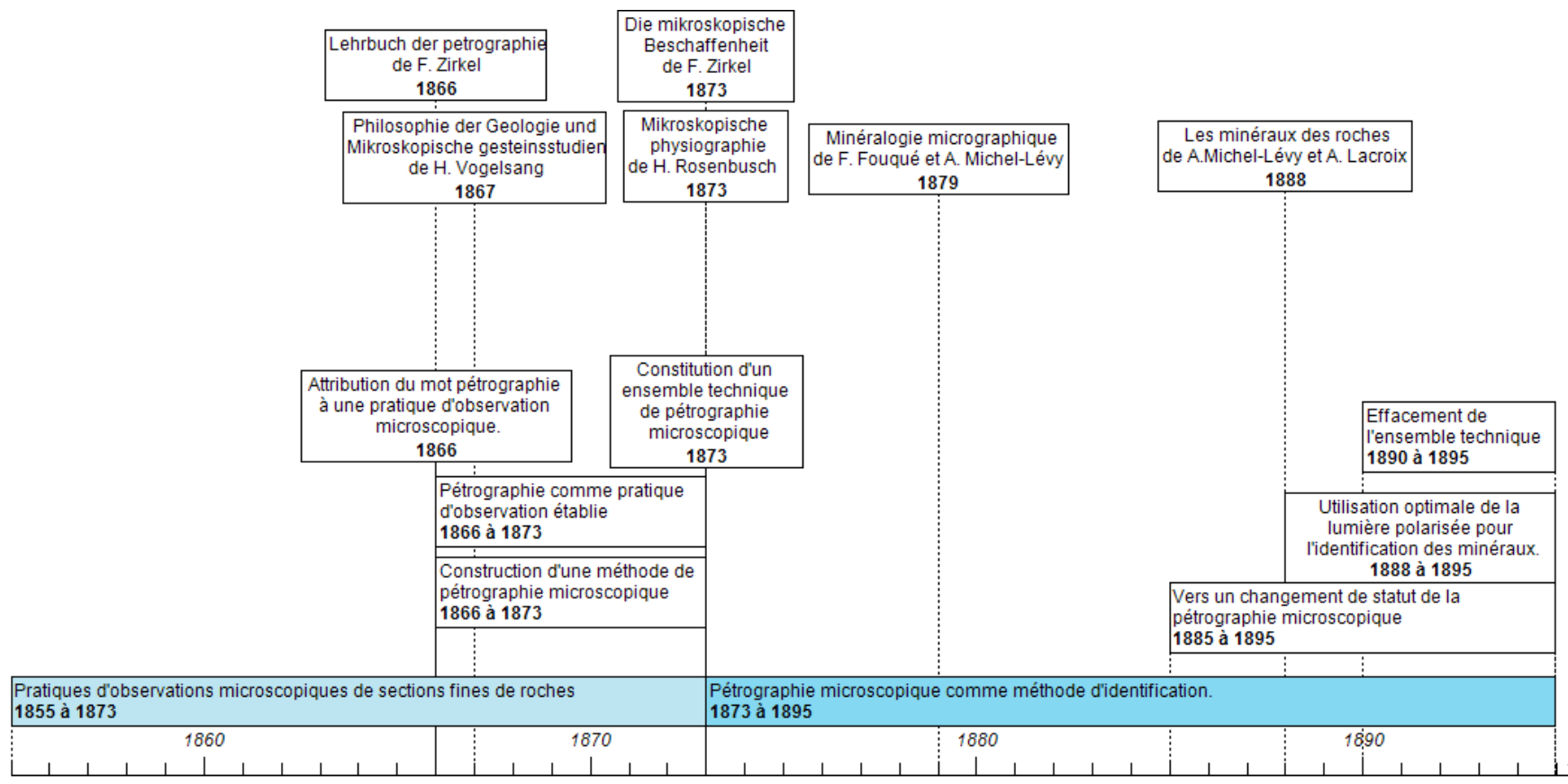
Par ailleurs, des ouvrages de pétrographie microscopique sont publiés. En France, Fouqué et Michel-Lévy publient *Minéralogie micrographique* en 1879⁹⁶⁶ et Michel-Lévy et Lacroix *Les minéraux des roches* en 1888⁹⁶⁷. Aux Etats-Unis, Georges Williams publie en 1886⁹⁶⁸ *Modern petrography*, en Angleterre Jethro Teall, en 1888⁹⁶⁹ *British petrography* montrant le changement de statut de cette dernière.

⁹⁶⁶ Ferdinand André FOUQUE et Auguste MICHEL-LEVY, *Minéralogie micrographique, roches éruptives françaises*, Imprimerie de A. Quantin, Paris, 1879, 509 pages.

⁹⁶⁷ Auguste MICHEL-LEVY et Alfred LACROIX, *Les minéraux des roches*, Editeurs Baudry et Cie, 1888, Paris, 334 pages.

⁹⁶⁸ Georges Huntington WILLIAMS, *Modern petrography an account of the application of the microscope to the study of geology*, Boston, D. C. Heath & co. publishers, 1886, 42 pages.

⁹⁶⁹ Jethro Justinian Harris TEALL, *British petrography with special reference to the igneous rocks*, Dulau & co, Londres, 1888, 469 pages.



Frise 8 : Représentations des différentes étapes de la mise en place de la pétrographie microscopique (1855-1895).

Conclusion générale

A l'issue de ce travail sur les fondements techniques de la pétrographie microscopique, nous avons mis à jour un certain nombre de résultats. Ils concernent les méthodes d'identification utilisés par les savants sur la période, l'usage de la lumière polarisée pour identifier les cristaux, puis les minéraux taillés en sections fines, les techniques de fabrication et l'usage des sections fines, ainsi que celui du microscope. Ces résultats incluent également la mise en place de la pétrographie microscopique et son usage par les savants.

Abordons dans un premier temps les méthodes d'identification utilisées par les savants. En effet, notre questionnement sur les fondements technique de la pétrographie microscopique nous a amené à analyser les pratiques minéralogiques de détermination des minéraux et des roches utilisées durant le XIX^e siècle. Ainsi, nous avons identifié, dans le deuxième chapitre, trois types de méthodes, les méthodes physique, chimique et cristallographique qui contribuent à identifier et classer les objets. Nous avons montré que ces trois méthodes se basent sur des pratiques provenant d'autres domaines, tels que la chimie, la physique et la géométrie. Ces pratiques répondent à la nécessité d'identifier des caractères, dans le but de discriminer les minéraux et les roches entre eux, pour les identifier et les classer. Nous avons fait le constat que l'insertion du microscope à partir de 1820 ou par la suite, la mise en place de la pétrographie microscopique en 1866 n'efface pas ces méthodes et l'usage des caractères est toujours visible dans les descriptions des savants. Notre travail a montré par cette continuité d'usage que d'une part la pétrographie microscopique fait partie d'un ensemble de méthodes disponibles pour identifier des roches et des minéraux. D'autre part, nous avons conclu que la pétrographie microscopique se construit en adoptant certains des caractères provenant de ces autres méthodes, tout en y incluant de nouveaux caractères, ceux-ci lui étant alors spécifiques.

Certains de ces nouveaux caractères sont relatifs à l'usage de la lumière polarisée qui a aussi suscité de nombreuses interrogations quant à son insertion dans les pratiques et son lien avec les minéraux.

En effet, la découverte en 1808 de la polarisation par réflexion de la lumière par Malus engendre un ensemble de travaux dont le but est de comprendre le phénomène ou encore d'étudier sa nature. Les cristaux sont alors utilisés pour produire de la lumière, mais également pour être étudié sous cette lumière dès 1810. Cette propriété est un caractère qui est rapidement inclus pour distinguer les espèces les unes des autres. Par ailleurs, sous lumière polarisée, les minéraux produisent des figures de polarisation qui permettent de les distinguer entre eux. Ce constat, fait notamment par le physicien David Brewster, est repris par le minéralogiste Alfred Des Cloizeaux à partir de 1855 pour construire une méthode d'identification des cristaux grâce à leurs propriétés optiques.

L'usage de la lumière polarisée se retrouve également dans la méthode de pétrographie microscopique. Nous avons mis en avant le fait qu'elle est utilisée par les savants de manière ponctuelles dès 1860. L'insertion de la lumière polarisée vient du fait que lorsque des sections fines de roches sont observées au microscope, il est impossible d'identifier avec précision les minéraux la composant. Certains caractères d'identification ne sont plus visibles en raison de la transparence de la section fine. La lumière polarisée est un moyen de différencier les minéraux. Cependant, son usage est dans un premier temps limité par le fait que les savants n'ont pas encore adapté complètement la méthode d'identification de Des Cloizeaux aux minéraux contenus dans les roches. Ce problème est résolu par le minéralogiste Auguste Michel-Lévy en 1888, conduisant alors un usage plus efficace de la lumière polarisée en pétrographie microscopique.

A la fois Des Cloizeaux, mais aussi les pétrographes utilisent comme dispositif de polarisation un prisme de Nicol. En ce qui concerne ce prisme, l'étude réalisée sur ce dispositif a permis de résoudre un nombre conséquent d'interrogations à son sujet, notamment à propos de son origine, des techniques de fabrication utilisés par son inventeur, William Nicol, ainsi que son usage par de nombreux savants à partir de 1850. Nous avons donc appris que le prisme polarisateur de Nicol est inédit par son assemblage, qui lui confère des propriétés optiques spécifiques. Les matériaux de constructions utilisés, calcite et baume du Canada, sont quant à eux assez répandu. Ce qui nous amène au fait que prisme n'est pas le seul dispositif de polarisation utilisé à cette époque. Notre travail contextualise l'objet dans une offre commerciale de prismes polarisateurs qui facilite d'après nous son utilisation. Elle permet alors de comprendre en quoi comme l'avait relevé Leó Kristjánsson, le prisme de Nicol est omniprésent dans les montages à partir de 1850. Nous avons fait nous même le constat de son usage à travers différentes publications, mais surtout de son absence d'utilisation dans le domaine de la minéralogie, où l'usage de la lumière polarisée n'est que présent avant les années 1860.

Dans notre travail, nous ne mentionnons pas uniquement William Nicol pour son invention d'un prisme polarisateur éponyme. Il est également abordé par la technique de fabrication de sections fines de végétaux fossiles qu'il propose et dont les détails sont publiés en 1831 dans l'ouvrage de Henry Witham. Nous avons alors identifié, grâce aux publications de Nicol, l'origine des savoir-faire qu'il utilise pour poncer et polir les sections fines de végétaux fossiles. Ces savoir-faire lui proviennent initialement d'un lapidaire du nom de Sanderson et Nicol a notamment adapté l'adhésif, le baume du Canada, pour pouvoir produire des sections fines de végétaux fossiles. Par ailleurs, les détails du processus de fabrication sont autant de sources d'informations sur les matériaux et sur les étapes nécessaires à la production des sections fines. Ainsi, les sections fines produites dans les années 1830 par Nicol sont enchâssées entre deux lames de verre et collées à l'aide de baume de Canada. Par les caractères internes que la technique des sections fines permet de rendre visible, d'autres savants vont la reprendre pour identifier et classer les végétaux fossiles.

Par ailleurs, nous avons également relevé que d'autres publics sont intéressés par l'utilisation des sections fines. L'analyse des catalogues de fabricants montre, par l'offre très importante qu'ils proposent, qu'il existe une demande pour ce type d'objet qui n'est pas uniquement

imputable aux savants. Il existe une communauté d'amateur que les observations microscopiques fascinent. Beaucoup de ces observations sont alors effectuées en associant l'usage du microscope à des sections fines d'une grande variété d'objets. Ces deux éléments participent à l'établissement d'un contexte favorable à l'utilisation des sections fines et à l'adaptation de la technique de fabrication à d'autres types d'objets, comme les roches. A propos de ce contexte favorable, nous avons montré qu'un géologue, Henry Sorby a été l'initiateur en Angleterre, dans les années 50, de l'adaptation de la technique vers les roches métamorphiques et ignées. Il apprend la technique avec William Williamson, qui travaille sur des roches calcaires afin d'observer les foraminifères contenus. Sorby quant à lui commence par étudier les roches calcaires avec cette technique, pour ensuite l'utiliser sur des roches de natures différentes.

Nous avons identifié un second foyer de production de sections fines de roches à la même époque que celle de Sorby, mais cette fois en Allemagne. Le technicien Adolph Oschatz détient initialement un savoir-faire dans la production de lames minces histologiques et décide d'appliquer les techniques qu'il maîtrise à la production de sections fines de roches. Si l'origine des savoir-faire que mobilise Oschatz est distincte de celle du foyer anglais, nous n'excluons pas les phénomènes de circulations d'articles entre les pays, qui auraient pu conduire Oschatz à élargir son offre commerciale en se mettant à produire des sections fines de roches. Cet autre foyer de production favorise le développement de l'usage des sections fines dans cette aire géographique.

Notre choix d'approcher les objets par les pratiques nous avait conduit à être attentif aux techniques de fabrication. Nous avons constaté que l'objet section fine se standardise à partir des années 1870. Les mêmes étapes se retrouvent dans les descriptions des savants, décrites dans les traités. Il y a peu de changement dans les matériaux utilisés pour poncer et polir les objets. Le baume de Canada est d'ailleurs exclusivement employé. De même, les échantillons sont enchâssés entre deux lames de verres et à partir des années 1880, la finesse des sections est contrôlée à l'aide des quartz.

Nous avons brièvement évoqué l'usage du microscope en abordant l'observation des sections fines, mais son usage a aussi été un de nos sujets d'interrogation. En effet, nous nous sommes demandé dans quelle mesure le microscope était utilisé par les savants avant la mise en place de la pétrographie microscopique. Nos recherches nous ont amené à reconsidérer la place du microscope dans les pratiques des savants du XIX^e siècle.

Ainsi, l'étude des mémoires de Benjamin Fleuriau de Bellevue en 1800 et de Louis Cordier en 1815 met en avant l'usage du microscope pour répondre aux limites d'identification existantes à cette époque pour différencier de manière précise les roches. La méthode que met en place Cordier contribue non seulement à introduire l'usage systématique du microscope dans les pratiques d'identification, mais sa méthode participe à définir les roches comme étant mécaniquement composées, ce qui n'était pas à cette époque une évidence pour tous.

L'étude des articles publiés à la suite, montre une présence systématique de l'instrument, utilisé comme le préconise la méthode de Cordier, sans pour autant que le savant soit mentionné.

Par ailleurs, la méthode de Cordier n'est pas la seule qui implique l'usage du microscope. L'usage des sections fines de végétaux fossiles va de pair avec celui du microscope, participant également dans un contexte distinct de celui de l'observation des roches, à mobiliser l'instrument. L'association sections fines et microscope se retrouve également dans la pratique de Sorby, où le savant construit un discours en faveur de l'usage de l'instrument pour répondre aux questions relatives à l'origine des roches. Dans un autre type de pratique, Des Cloizeaux met également le microscope au centre de sa méthode d'identification des caractères biréfringents des cristaux.

Notre dernier point aborde quant à lui nos résultats liés à la mise en place de la pétrographie microscopique. Nous avons établi qu'elle se fait par étapes, perceptibles à travers les pratiques que nous avons identifiées. La pétrographie microscopique se constitue dans un premier temps, à partir de 1866, comme pratique, c'est à dire ce que les savants utilisent comme instrument, montage ou matériaux distincts. Dans ce cas, il s'agit de l'usage du microscope, des sections fines de roches et de l'usage de la lumière polarisée. Ensuite, à partir de 1873, la pétrographie microscopique acquiert le statut de méthode, définie comme un ensemble de manipulations codifiées nécessitant des instruments ou des outils dans le but d'obtenir des résultats précis et identifiables. L'établissement d'un ensemble technique stable y participe, tout comme les manipulations nécessaires pour effectuer ces observations.

Nous avons également montré que la pétrographie microscopique devient un objet d'enseignement, notamment ceux de Rosenbusch à Heidelberg dans les années 1870, puis aux Etats-Unis dans les années 1880 avec l'établissement de chaires en pétrographie. En France ces enseignements de pétrographie microscopique sont moins affirmés car inclus dans d'autres enseignements, comme c'est le cas avec Fouqué au Collège de France.

Nous pouvons dès lors nous demander si la pétrographie microscopique se constitue en discipline ou tout du moins si elle en présente certaines caractéristiques. La question de la discipline fait l'objet de nombreuses recherches en histoire des sciences et des techniques⁹⁷⁰. Nos lectures nous ont amenés à considérer trois aspects caractéristiques d'une discipline, celui de la recherche, de l'institutionnalisation et de l'enseignement.

Le premier aspect, relatif à la recherche signifie qu'un nouveau champ de connaissance et d'investigations émerge. Il est dirigé par de nouveaux questionnements sur un objet (nouveau ou pas) qui peuvent engendrer de nouvelles pratiques expérimentales et la construction d'un discours également nouveau. Il est aussi possible de caractériser la discipline selon des critères

⁹⁷⁰ Jean BOUTIER, Jean-Claude PASSERON, Jacques REVEL, *Qu'est-ce qu'une discipline ?* Collection Enquête, Editions de l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Paris 2006, Joseph BEN-DAVID, *Eléments d'une sociologie historique des sciences*, Presses universitaires de France, Collection Sociologie, Paris, 1997, 376 pages, Gerard LEMAINÉ, Roy MACLEOD, Mickael MULKAY, Peter WEINGANT (eds.), *Perspectives on the emergence of scientific disciplines*, De Gruyter Mouton, Paris et Aldine, Chicago, 1976, 281 pages, Mary Jo NYE, *Before Big Science, The pursuit of modern chemistry and Physics 1800-1940*, Harvard University Press, Chicago, USA, 1999, 282 pages, Rudolf, STICHWEH « The sociology of scientific disciplines: on the genesis and stability of the disciplinary structure of Modern science », *Science in context*, Volume 5, n°1, 1992, p.3-15.

internes à celle-ci ⁹⁷¹. Cette approche implique alors d'identifier un ensemble d'éléments, des objets, des résultats clés, des systèmes de preuves, des méthodes privilégiées et une systématique, alors mis en place par les savants. Nous avons abordé à de multiples reprises cet aspect dans la troisième partie de cette thèse. La pétrographie microscopique est centrée sur une nouvelle méthode qui combine dans un nouvel ensemble technique, microscope polarisant et sections fines de roches. L'utilisation de cet ensemble technique vise à acquérir de nouvelles informations dans le but d'identifier plus efficacement les roches.

Le second aspect est celui de l'institutionnalisation. D'après Lyne Therrien⁹⁷², l'entrée d'une discipline dans une institution engendre un changement de discours à son sujet. La discipline atteint alors le statut d'un savoir. Ainsi, ce nouveau savoir est reconnu de façon publique, tout comme les acteurs y participant. Ce statut confère une certaine autorité et équivaut à une validation scientifique de la nouvelle discipline. Ce processus d'institutionnalisation génère également la création d'une histoire rétrospective, *a posteriori*⁹⁷³ de la discipline. Ainsi, d'après Schlanger⁹⁷⁴, choisir les fondateurs d'une discipline est à la fois un effet d'institution et un enjeu de l'institutionnalisation. Donner une histoire à une discipline, en déterminant les « précurseurs », les « pères fondateurs » et les « suiveurs », vise à la reconstruction d'un passé cohérent et uniforme⁹⁷⁵. C'est également le lieu de jeux de pouvoir où les enjeux politico-scientifiques sont importants entre les différents acteurs. En effet, les querelles de priorités sont alors mises en avant, des tensions entre scientifiques concurrents sont mises en exergue dans la reconnaissance d'un fondateur plutôt qu'un autre. Ecrire l'histoire d'une discipline revient à imposer son point de vue théorique par rapport à celui d'un autre et ainsi obtenir la reconnaissance qui va avec. Cette construction historique permet également la construction d'une identité disciplinaire, avec l'établissement de traditions propres à la discipline, ses canons autorisés, sa propre terminologie et en formulant ses propres questionnements de recherche⁹⁷⁶. Le tout facilite la constitution et la reconnaissance d'une communauté intellectuelle distincte de celle déjà existante. L'institutionnalisation d'une discipline permet alors de clarifier les frontières d'un nouveau de champ de savoir. Ces limites sont elles-mêmes construites par les acteurs de la discipline pour accéder au statut de discipline reconnue par une institution. D'après Kelley⁹⁷⁷, cette construction est uniquement culturelle et sert des besoins spécifiques. L'institutionnalisation permet aussi à la discipline de se préserver et de développer une certaine continuité intellectuelle des contenus de la discipline.

⁹⁷¹ Sébastien GAUTHIER, *La géométrie des nombres comme discipline (1890-1945)*, Thèse de doctorat, Université Paris 6 Pierre et Marie Curie, Paris, 2007, 473 pages.

⁹⁷² Lyne THERRIEN, *L'histoire de l'art en France, Genèse d'une discipline universitaire*, Editions du C.T.H.S., Paris, 1998, 623 pages

⁹⁷³ Jean-Louis FABIANI, « A quoi sert la notion de discipline ? », dans Jean BOUTIER, Jean-Claude PASSERON, Jacques REVEL, *Qu'est-ce qu'une discipline ?* Collection Enquête, Editions de l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Paris 2006, p. 11-34.

⁹⁷⁴ Cité par Jean-Louis FABIANI, « A quoi sert la... » *op.cit.*

⁹⁷⁵ Joseph BEN-DAVID, *Eléments d'une sociologie historique...* *op.cit.*

⁹⁷⁶ Donald R. KELLEY, « Le problème du savoir et le concept de discipline » in Jean BOUTIER, Jean-Claude PASSERON, Jacques REVEL, *Qu'est-ce qu'une discipline ?* Collection Enquête, Editions de l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Paris 2006, p. 97-115.

⁹⁷⁷ Donald R. KELLEY, « Le problème du savoir et le concept ... » *op.cit.*

Ainsi, les réseaux de citation mis en évidence dans le chapitre 9 montrent la constitution de références savantes en pétrographie microscopique dès 1880. Dans un autre registre, l'ouvrage de Archibald Geikie, *The founders of Geology*⁹⁷⁸, est également une publication d'intérêt dans le processus de construction historique de la pétrographie microscopique. En effet, l'auteur traite dans son ouvrage des fondateurs de la géologie, mais il y consacre un chapitre à la constitution de la pétrographie microscopique. Geikie construit son propos en identifiant des figures importantes de l'histoire de la pétrographie microscopique. Il constitue un récit centré sur certains savants, tels que William Nicol, Henry Sorby et Ferdinand Zirkel, qui ont joué un rôle fondateur dans la discipline d'après lui.

Par ailleurs, la pétrographie microscopique est présente dans les publications. Il existe des traités dont l'intitulé comprend le mot, tels que ceux de Zirkel et son *Lehrbuch der petrographie* ou encore celui d'Arnold von Lasaulx et *Précis de Pétrographie, introduction à l'étude des roches*. Il existe des acteurs spécifiques que nous avons identifiés dans notre travail qui participent à la mise en place de la pétrographie dans les pratiques et dont le discours favorise son usage. Il s'agit en France de Ferdinand Fouqué, de Auguste Michel-Lévy, d'Alfred Lacroix, en Angleterre de Archibald Geikie et de David Forbes, en Allemagne de Harry Rosenbusch par exemple et aux Etats-Unis de Georges Williams. Les *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences* également à partir de 1881 mentionne le domaine « Pétrographie microscopique » dans l'identification des articles publiés, témoignant pour la France, de l'existence de cette dernière.

L'enseignement est également un aspect important dans la construction d'une discipline. La mise en place d'enseignements peut être simultanée au processus d'institutionnalisation. En effet, les disciplines enseignées sont très structurées et permettent de délimiter les champs du savoir transmis. Ces enseignements sont édictés de façon très précise par des institutions et permettent la constitution d'un ensemble de connaissances jugé comme essentiel et fondant l'un des aspects de la discipline. Stabiliser ou pérenniser l'existence d'une discipline, peut donc être obtenue parallèlement à une action politico-scientifique avec les institutions, par des processus d'enseignement (des cours, des séminaires, des manuels, etc.). Cette stabilité liée à l'enseignement est d'ailleurs relevée par Jean Louis Fabiani⁹⁷⁹. Il faut donc prendre en compte le fait qu'un enseignement peut-être très local, de même que la reconnaissance institutionnelle peut avoir différentes échelles. Ainsi, l'enseignement d'une discipline constitue, tout comme son institutionnalisation, un enjeu important de reconnaissance et de dominance vis-à-vis d'autres champs de connaissances émergents.

A ce propos, André Chervel dans « L'histoire des disciplines scolaires » édifie quatre constituants pour caractériser une discipline scolaire :

« La discipline scolaire est donc constituée par un assortiment à proportions variables suivant les cas, de plusieurs constituants, un enseignement d'exposition, des exercices, des

⁹⁷⁸ Geikie Archibald, *The Founders of Geology*, MacMillan & co, 1897, Londres, 297 pages.

⁹⁷⁹ Jean-Louis FABIANI, « A quoi sert la notion de discipline ? », dans Jean BOUTIER, Jean-Claude PASSERON, Jacques REVEL, *Qu'est-ce qu'une discipline ?* Collection Enquête, Editions de l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Paris 2006, p. 11-34.

pratiques d'incitation et de motivation et un appareil docimologique, lesquels, dans chaque état de la discipline, fonctionnent évidemment en étroite collaboration »⁹⁸⁰.

L'exercice est alors entendu dans le sens d'exercice d'entraînement et l'appareil docimologique est équivalent à une évaluation des acquis.

Pris au sens strict, les enseignements d'expositions sont les leçons ou cours magistraux donnés par les savants et dont l'objet est la pétrographie microscopique. Ces enseignements sont par exemple ceux de Fouqué au Collège de France, ou encore Rosenbusch à Heidelberg et Williams à l'Université John Hopkins.

Cependant, en nous appuyant sur les propos de Bruno Belhoste dans *Revue d'histoire des mathématiques*, nous pourrions élargir le contenu entendu par « enseignement d'exposition » aux cours magistraux. Ainsi, d'après Bruno Belhoste :

*« En général, l'objectif d'un cours est moins d'exposer des résultats originaux que de donner la meilleure présentation au point de vue didactique de résultats connus. Plutôt qu'à découvrir, le travail créatif consiste ici à mettre en ordre, à clarifier, à simplifier »*⁹⁸¹.

Ainsi, les cours que professe Fouqué au Collège de France à partir de 1877 ainsi que les articles qu'il publie à leur propos sont autant de démarches didactiques que celle de la publication de son traité avec Auguste Michel-Lévy, dans lequel ils exposent l'ensemble des éléments liés à la pratique de la pétrographie microscopique⁹⁸².

Il en est de même pour Williams⁹⁸³ ou encore Forbes qui par exemple publie un article dans lequel il revient en détails sur l'usage du microscope et la manière d'observer les roches au microscope⁹⁸⁴.

Les résultats que nous venons de présenter ne sont pas sans susciter d'autres questions, des pistes de recherche supplémentaires à explorer pour de prochains travaux.

A propos des sections fines, en s'inscrivant dans les travaux de Christine Blondel⁹⁸⁵ à propos de l'étude des instruments du côté du fabricant dans des logiques commerciales voire industrielles, le passage d'une échelle de fabrication individuelle, par les savants ou les fabricants à une mécanisation, voir une industrialisation des procédés peut être une piste

⁹⁸⁰ André CHERVEL, « L'histoire des disciplines scolaires. Réflexions sur un domaine de recherche », *Histoire de l'éducation*, numéro 38, 1988, p.90-100.

⁹⁸¹ Bruno BELHOSTE, « Pour une réévaluation du rôle de l'enseignement dans l'histoire des mathématiques », *Revue d'histoire des mathématiques*, numéro 4, 1998, p.300

⁹⁸² Ferdinand André FOUQUE et Auguste MICHEL-LEVY, *Minéralogie micrographique, roches éruptives françaises*, Imprimerie de A. Quantin, Paris, 1879, 509 pages.

⁹⁸³ Georges Huntington WILLIAMS, *Modern petrography an account of the application of the microscope to the study of geology*, Boston, D. C. Heath & co. publishers, 1886, 42 pages.

⁹⁸⁴ David FORBES, « The microscope in Geology », *The popular science review*, Volume 6, 1867, p.355-368.

⁹⁸⁵ Christine BLONDEL, « Electrical instruments in 19th century France, between makers and users », *History and technology*, vol.13, 1997, p. 157-182.

intéressante de recherche. Dans un autre registre, l'offre et l'usage de dispositifs de polarisation existante dans les années 1840 mérite d'être approfondie également. En effet, en dehors de la forme spécifique du prisme de Nicol-montage de deux héli-rhomboïdes-, il existe d'autres constructions, comme celui de Brewster, issue de l'assemblage d'une lentille et d'un minéral, la tourmaline.

Tout en s'appuyant sur l'approche des lignées techniques de Bertrand Gille, il serait intéressant d'étudier l'ensemble des dispositifs existants à cette époque pour en cartographier les liens, en identifier les usages et les évolutions techniques qu'ils véhiculent.

Par ailleurs, suite à l'identification sur rôle du microscope dans la méthode de Cordier, et à son usage par les savants, une interrogation se pose quant à son lien avec les essais docimastiques et la mise en place d'une méthode nommée « essais microchimique ». Tout comme la pétrographie microscopique est une méthode parmi d'autres pour identifier les roches, il serait intéressant de renverser le sujet et de travailler sur les autres méthodes d'identification des roches qui se mettent en place durant le XIX^e siècle.

Une dernière piste de recherche est relative à la question de sa constitution en discipline. En effet, les quatre constituants de la discipline scolaire émis par André Chervel se retrouvent actuellement dans l'enseignement de pétrographie microscopique dispensé dans les cursus universitaires, ainsi que dans l'enseignement secondaire. Cette existence pose la question de la temporalité à laquelle cette enseignement s'est institué. De plus, les différences constatées, dans l'enseignement, ou bien l'institutionnalisation, entre les trois aires géographiques permettent de questionner la manière dont s'établie la pétrographie microscopique, quelles sont les dynamiques propres à chaque pays mais aussi comment la pétrographie microscopique s'établie de manière différencier dans ces aires géographiques en tant que branche disciplinaire de la pétrologie à partir de 1890.

Annexes

Annexe 1 : Notices de l'Encyclopédie

1.1. Minéraux

« MINÉRAUX, (*Hist. nat.*) [Histoire naturelle] d'Holbach⁹⁸⁶ .

MINÉRAUX, *mineralia*, (*Hist. nat.*) on se sert ordinairement de ce mot pour désigner en général toutes les substances qui se trouvent dans le sein de la terre; alors c'est un synonyme de *fossiles*, voyez FOSSILES. Dans cette signification étendue des *minéraux*, sont renfermés tous les corps non vivans & non organisés qui se trouvent dans l'intérieur de la terre & à sa surface; tels sont les terres, les pierres, les métaux, les demi - métaux, les substances inflammables, les sels & les pétrifications.

Les végétaux vivent & croissent; les animaux croissent, vivent & jouissent outre cela de l'instinct ou du sentiment: mais les *minéraux* sont susceptibles de croissance & d'altération, sans jouir ni de la vie ni du sentiment.

Quelques auteurs prennent le mot *minéraux* dans un sens moins étendu, & ils ne donnent ce nom qu'aux sels, aux substances inflammables, aux métaux & aux demi - métaux, c'est - à - dire, aux seules substances qui entrent dans la composition des mines ou glebes métalliques. Voyez MINES & MINERALISATION. Ils refusent le nom de *minéraux* aux terres, aux pierres, &c. On ne voit point sur quoi cette distinction peut être fondée; elle ne semble venir que de l'envie de multiplier les noms que l'on n'a déjà que trop accumulés dans les différentes branches de l'Histoire naturelle. On doit donc en général comprendre sous les *minéraux* toutes les substances du regne minéral, ou qui appartiennent à la terre. Voyez MINERALOGIE.

Plusieurs naturalistes modernes ont cherché à ranger les *minéraux* dans un ordre systématique, ou suivant une méthode semblable à celle que les Botanistes ont adoptée pour le regne végétal. Le célèbre M. Linnaeus, dans son *Sistema naturae*, divise les substances du regne minéral en trois classes; savoir, 1°. les pierres, 2°. les mines, 3°. les fossiles. Il sous - divise les pierres en vitrifiables, en calcaires & en apyres: il sous - divise les mines en sels, en seufres ou substances inflammables, & en substances mercurielles, ce qui comprend les métaux & les demi - métaux: enfin il sous - divise les fossiles en concrétions, *concreta*, en pétrifications & en terres.

M. Jean Gotschalk Wallerius, de l'académie royale de Suede, & professeur de Chimie à Upsal, publia en langue suédoise en 1747, une *Minéralogie* ou *Distribution méthodique des substances du regne minéral*, accompagnée d'observations & de notes très instructives; c'est l'ouvrage le

⁹⁸⁶ DIDEROT Denis et D'ALEMBERT Jean le Rond, *Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, Paris, 1751-1772, Tome 10, p. 543-544

plus complet que nous ayons en ce genre. L'auteur ne s'est point contenté de donner une simple énumération des *minéraux*, il y a joint des descriptions très - exactes, des analyses chimiques d'après les meilleurs auteurs. Si l'on a quelque chose à reprocher à M. Wallerius, c'est d'avoir peut - être trop multiplié les sous - divisions, & d'avoir souvent fait des genres de ce qui n'auroit dû être regardé que comme espece, & d'avoir fait des especes de ce qui n'étoit que des variétés d'une même espece. Ce savant minéralogiste divise les *fossiles* ou *minéraux* en quatre classes ; savoir, les terres, les pierres, les mines & les pétrifications : il sous - divise ces quatre classes en quinze ordres; savoir, 1°. les terres, en terres détachées, en terres argilleuses, en terres minérales & en sables.

2°. Les pierres sont sous - divisées en pierres calcaires, en pierres vitrifiables, en pierres apyres & en pierres de roches.

3°. Les mines sont sous - divisées en sels, en soufres, en demi - métaux, & en métaux.

4°. Les concrétions se sous - divisent en pores, en corps pétrifiés, en pierres figurées, & en calculs.

Chacun de ces ordres est encore sous - divisé en un grand nombre de genres, d'especes, & de variétés. Au reste, quoique l'on ait beaucoup d'objections à faire contre la distribution générale que M. Wallerius fait des *minéraux*, & quoique souvent il ait placé des substances dans des classes auxquelles elles n'appartiennent point, son travail mérite toute la reconnaissance des Naturalistes, qui sentiront la difficulté qu'il y avoit à mettre dans un ordre méthodique des corps aussi variés & aussi difficiles à connoître que les substances du regne minéral. La traduction françoise de la Minéralogie de Wallerius a été publiée à Paris en 1753.

M. Woltersdorff, dans son *systema minerale*, divise les *minéraux* en six classes : savoir,

1°. Les *terres* ; il les sous - divise en terres, en poussiere, en terres alkalines, en terres gypseuses, en terres vitrifiables.

2°. Les *pierres*, qu'il sous - divise en cinq ordres de même que les terres.

3°. Les *sels*, qu'il sous - divise en acides, en alkalis, & en sels neutres & moyens.

4°. Les *bitumes*, qui sont ou fluides ou solides.

5°. Les *demi - métaux*, qu'il divise aussi en fluides comme le mercure, & en solides.

6°. Les *métaux*, qui sont sous - divisés en parfaits & en imparfaits.

M. Frideric - Auguste Cartheuser, dans ses *elementa Mineralogioe*, divise tous les *minéraux* en sept classes : savoir, 1°. en terres, dont les unes sont solubles dans l'eau, & les autres ne s'y dissolvent point. 2°. En pierres, qu'il sous - divise d'après leur tissu en feuilletées, en filamenteuses ou striées, en continues ou liées, en granulées & en mélangées. 3°. En sels, qui

sont ou acides, ou alcalins, ou neutres, ou styptiques, tels que les vitriols & l'alun. 4°. En substances inflammables, il les sous - divise en naturelles & en bâtardes (*genuina & puria*): les premières sont les bitumes & le soufre; les dernières sont l'*humus* ou la terre végétale. 5°. Les demi-métaux, qu'il divise en solides qui souffrent le marteau, en solides qui ne souffrent point le marteau, & en fluides. 6°. Les métaux, qui sont ou volatils & flexibles, ou volatils & durs, ou fixes au feu. 7°. Les *minéraux* étrangers (*heteromorpha*), qui se divisent en vraies pétrifications, en fausses pétrifications, & en pierres figurées.

M. de Justi a publié en 1757 un ouvrage allemand sous le titre de *plan du regne minéral*, dans lequel il divise les substances fossiles: 1°. en métaux; 2°. en demi métaux; 3°. en substances inflammables; 4°. en sels; 5°. en pétrifications ou fossiles figurés; 6°. en terres & pierres. M. Pott, dans sa *Lithogéognosie*, a cherché à ranger les substances minérales dans un ordre systématique, fondé sur leurs premiers principes que font connoître les analyses de la Chimie. Mais cette voie paroît devoir souvent tromper, parce que la plûpart des substances du regne minéral ne sont point pures, mais mélangées, & donnent en raison de leurs mélanges des résultats différens, sur - tout lorsqu'on les expose à l'action du feu.

Outre ces auteurs, M. Gellert, dans sa *Chimie métallurgique*, a encore donné une distribution méthodique des *minéraux* en terres, en pierres, en sels, en métaux & demi - métaux. C'est aussi ce qu'a fait M. Lehmann dans le premier volume de ses *oeuvres physiques & minéralogiques*.

Parmi les Anglois, le docteur Woodward avoit déjà tenté de ranger les fossiles ou *minéraux* suivant un ordre méthodique; c'est ce qu'il a exécuté dans son ouvrage anglois qui a pour titre, *an attempt towards a natural history of the fossils of England*. Son système n'est fondé que sur la structure, le tissu & le coup - d'oeil extérieur des corps, & par conséquent ne peut suffire pour faire connoître leur nature & les caracteres essentiels qui les distinguent les uns des autres. Depuis lui, M. Hill a publié en anglois, en 1748, une *histoire naturelle générale des fossiles* en un volume *in folio*, dans laquelle il donne une nouvelle division systématique des substances du regne minéral. Il les divise, 1°. en fossiles simples & non - métalliques; 2°. en fossiles composés & non - métalliques; 3°. en fossiles métalliques.

Il sous - divise les fossiles simples, 1°. en ceux qui ne sont ni inflammables, ni solubles dans l'eau; 2°. en solubles dans l'eau & non inflammables; 3°. en inflammables qui ne sont point solubles dans l'eau. Il emploie la même sous - division pour les fossiles composés. Enfin, les fossiles métalliques qui ont de la dureté & une pesanteur remarquable & qui sont fusibles au feu, se sous - divisent en substances métalliques parfaites & en métalliques imparfaites. Il fait ensuite un grand nombre de nouvelles sous - divisions en ordres & en genres, fondés sur des caracteres qui ne sont souvent que purement accidentels à ces corps. Enfin, il finit par donner à ces différentes substances des dénominations dérivées du grec, qui prouvent que l'auteur entend cette langue, mais qui, si on les adoptoit, rendroient l'étude de la Minéralogie beaucoup plus difficile qu'elle n'est, puisque l'on a déjà lieu de se plaindre du grand nombre de dénominations inutiles que les auteurs ont introduites dans cette partie de l'histoire naturelle, & qui ne peuvent servir qu'à mettre de la confusion dans les idées des Naturalistes. Il seroit donc à souhaiter qu'au lieu de multiplier les mots, on cherchât à les simplifier & à bannir ceux qui sont inutiles, afin

de rendre l'étude de la Minéralogie plus facile, & moins l'effet de la mémoire que de connoissances plus solides.

Enfin, M. Emmanuel Mendez d'Acosta, de la *Royal Society of London*, a publié en 1757 un ouvrage en anglois, sous le titre de *natural history of fossils*, dans lequel il donne un nouveau système pour l'arrangement des substances du regne minéral; il a cherché à faire un système nouveau du regne minéral d'après les principes de Woodward & de Wallerius, en tâchant d'éviter les défauts dans lesquels ces deux auteurs sont tombés. M. d'Acosta décrit donc les qualités extérieures des fossiles, sans négliger pour ce a leurs qualités internes que l'on peut découvrir au moyen du feu & des dissolvans de la Chimie. Son ouvrage n'est point encore achevé, mais par ce qui en a paru on voit qu'il ne laisse pas d'y régner beaucoup de confusion, & l'on trouve à côté les unes des autres des substances qui ont des caracteres très - différens.

En général, on peut dire que toutes les divisions systématiques des *minéraux* qui ont patu jusqu'à présent, sont sujettes à un grand nombre de difficultés & d'objections: il est constant que le coup d'oeil extérieur ne suffit point pour nous faire connoître les corps du regne minéral, souvent il peut nous tromper par la ressemblance extérieure que la nature a mise entre des substances qui différent intérieurement par des caracteres essentiels; d'ailleurs cette connoissance superficielle des corps seroit stérile & infructueuse; & comme l'histoire naturelle doit avoir pour objet l'utilité de la société, il faut avoir une connoissance des qualités internes des substances minérales, pour savoir les usages auxquels ils peuvent être employés; & ce n'est que la Chimie qui puisse procurer cette connoissance. Or, il est très difficile de trouver un ordre méthodique qui présente les *minéraux* sous ces différens points de vûe à la fois; il y a même peu d'espérance que l'on puisse jamais concilier ces deux choses. Cependant, il ne paroît point que l'on soit en droit pour cela de rejeter tout ordre systématique, ou toute méthode; cela facilite toûjours, sur tout aux commençans, l'étude d'une partie de l'histoire naturelle, qui ne le cede point aux autres pour la variété de ses productions. *Voyez* MINERALOGIE. (-) »

1.2. Minéralogie

MINÉRALOGIE, (*Hist. nat.*) [Histoire naturelle] d'Holbach⁹⁸⁷.

« MINÉRALOGIE, s. f. (*Hist. nat.*) La *Minéralogie* prise dans toute son étendue, est la partie de l'Histoire naturelle qui s'occupe de la connoissance des substances du regne minéral; c'est - à - dire, des terres, des pierres, des sels, des substances inflammables, des pétrifications, en un mot, des corps inanimés & non pourvus d'organes sensibles qui se trouvent dans le sein de la terre & à sa surface.

Dans un sens moins étendu, par *Minéralogie* l'on entend la suite des travaux que l'on fait pour l'exploitation des mines, & alors on comprend aussi sous ce nom la Métallurgie. *Voyez* METALLURGIE. Cela est fondé sur la liaison intime de ces deux sciences, qui se prêtent des secours mutuels, & qui tendent toutes deux au même but. En effet, il est très - difficile ou même impossible que le métallurgiste ait une connoissance parfaite de son art, s'il n'est aidé des lumieres de la *Minéralogie*, c'est - à - dire, s'il ne connoît parfaitement les substances qu'il doit travailler. Vainement prétendrait - il à l'une ou l'autre de ces connoissances sans le secours de la Chimie, comme nous allons avoir occasion de le prouver.

Sous quelque point de vue que l'on envisage la *Minéralogie*, son objet est très - vaste, & ses branches très - étendues. Elle s'occupe des substances dont est composé le globe que nous habitons; elle considere les différentes révolutions qui lui sont arrivées; elle en suit les traces dans une antiquité souvent si reculée, qu'aucun monument historique ne nous en a conservé le souvenir; elle examine quels ont pu être ces événemens surprenans par lesquels tant de corps appartenant originairement à la mer, ont été transportés dans les entrailles de la terre; elle pese les causes qui ont déplacé tant de corps du regne animal & du regne végétal, pour les donner au regne minéral; elle fournit des raisons sûres & non hasardées de ces embrasemens souterrains, de ces tremblemens sensibles, qui semblent ébranler la terre jusque dans ses fondemens; de ces éruptions des volcans allumés dans presque toutes les parties du monde, dont les effets excitent la terreur & la surprise des hommes: elle médite sur la formation des montagnes, & sur leurs différences; sur la maniere dont se sont produites les couches qui semblent servir d'enveloppe à la terre; sur la génération des roches, des pierres précieuses, des métaux, des sels, &c. *Voyez* FOSSILES, TREMBLEMENT DE TERRE, REVOLUTIONS DE LA TERRE, MONTAGNES, PIERRES, &c.

Les eaux qui se trouvent à la surface de la terre & dans son intérieur, sont aussi du ressort de la *Minéralogie*, en tant qu'elles contribuent à la formation des pierres, par les particules qu'elles ont ou dissoutes, ou détremées, par les couches qu'elles forment sur la terre, par les altérations continuelles qu'elles operent, & par les transpositions qu'elles font des corps qu'elles ont entraînés; en un mot, la *Minéralogie* s'occupe des eaux, en tant qu'elles sont les agens les plus

⁹⁸⁷ DIDEROT Denis et D'ALEMBERT Jean le Rond, *Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, Paris, 1751-1772, Tome 10 p.541-543.

universels dont la nature se serve pour la production des substances minérales, *Voyez PIERRES, PETRIFICATIONS, LIMON, TUF &C.*

Quelque vastes que soient ces objets, quelque grands que soient les phénomènes de la nature qu'elle considère, la *Minéralogie* ne dédaigne point les détails les plus minutieux en apparence, tous les faits deviennent précieux pour elle; elle les recueille avec soin, parce qu'elle sait que les plus petits détails peuvent quelquefois la mener à l'intelligence des plus grands mystères de la nature; c'est toujours le flambeau de l'expérience qui la guide, & elle ne se permet des systèmes que lorsqu'ils sont appuyés sur des observations constantes & répétées, & alors ce sont des enchaînemens de vérités.

Par la grandeur & la multiplicité des objets qu'embrasse la *Minéralogie*, on sent qu'elle ne peut être que très - difficile à acquérir. Les spéculations tranquilles du cabinet, les connoissances acquises dans les livres ne peuvent point former un *minéralogiste*; c'est dans le grand livre de la nature qu'il doit lire; c'est en descendant dans les profondeurs de la terre pour épier ses travaux mystérieux; c'est en gravissant contre le sommet des montagnes escarpées; c'est en parcourant différentes contrées, qu'il parviendra à arracher à la nature quelques - uns des secrets qu'elle dérobe à nos regards. Mais pour atteindre à ces connoissances, il faut des yeux habitués & faits pour voir avec précision; il faut des notions préliminaires; il faut être dégagé des idées systématiques qui ne permettent d'apercevoir que ce qui favorise les préjugés qu'on s'est formés.

Pour reconnoître les différens objets dont s'occupe la *Minéralogie*, il est essentiel de s'être familiarisé avec les substances du regne minéral, il faut avoir accoutumé ses yeux à les distinguer & à reconnoître les signes extérieurs qui les caractérisent; cette connoissance devient difficile par la variété infinie des productions de la nature; elle se plaît sur - tout dans le regne minéral à éluder les règles qu'elle s'étoit imposées; il faut de plus avoir des idées générales de la manière dont ces substances sont arrangées dans le sein de la terre; il faut connoître les signes qui annoncent la présence des mines, les pierres qui les accompagnent le plus communément; il est à propos d'examiner les bords des rivières, & les sables qu'elles charrient; on ne doit point négliger les chemins creux, les ouvertures & les excavations de la terre, les carrières d'où l'on tire des pierres. Toutes ces choses fourniront à un observateur attentif des connoissances assez sûres pour juger avec quelque certitude de ce qu'un terrain renferme. En effet, quoique la nature semble quelquefois déroger aux lois qu'elle s'est prescrites, elle ne laisse pas pour l'ordinaire de suivre une marche uniforme dans les opérations; les observations qui auront été faites dans un pays, pourront être appliquées à d'autres pays où le terrain sera analogue; à force de faire des observations dans ce goût, on pourra à la fin ramasser les matériaux nécessaires pour élever un système général de *Minéralogie*, fondé sur des faits certains & sur des remarques constantes.

Mais ce seroit en vain qu'on se flatteroit que le coup d'oeil extérieur pût donner des connoissances suffisantes en *Minéralogie*; l'on n'auroit que des notions très - imparfaites des corps, si on n'en jugeoit que par leur aspect & par leurs surfaces: aussi la *Minéralogie* ne se contente - t - elle point de ces notions superficielles, que Beccher a comparées à celles que prennent les animaux, *sicut asini & boves*; on ne peut donc point s'en rapporter à la simple vue,

& c'est très - légèrement que quelques auteurs ont avancé que les caracteres extérieurs des fossiles suffiroient pour nous les faire connoître: ce sont les analyses & les expériences de la Chimie qui seules peuvent guider dans ce labyrinthe; c'est faute de l'avoir appelée à leur secours, que les premiers naturalistes ont confondu à tout moment des substances très - différentes, leur ont donné des dénominations impropres, & leur ont souvent assigné des caracteres qui leur sont entierement étrangers. Comment se fera - t - on une idée de la formation des cristaux, si la Chimie n'a point appris comment se fait la cristallisation des sels, qui nous fait connoître par analogie les cristallisations que la nature opere dans son grand laboratoire? Comment concevoir clairement ce qu'on entend par *sucs lapidifiques*, si l'on n'a point des idées nettes de la dissolution des corps, & si on ne la distingue point de leur division mécanique, ou de leur détrempe dans les eaux? Est - il possible sans la Chimie, de se faire des notions distinctes de la minéralisation, c'est - à - dire de l'opération par laquelle la nature masque les métaux sous tant de formes différentes dans les mines? L'analyse & la récomposition ne nous donnent - elles pas sur ce point des lumieres auxquelles il est impossible de se refuser? *Voyez l'article MINERALISATION.* Comment s'assurer de la nature des pierres, si l'on n'a éprouvé leurs effets dans différens degrés du feu, & si l'on ne les a essayées à l'aide des dissolvans que fournit la Chimie? Sans ces précautions, on risquera toujours de confondre des substances, entre lesquelles la Chimie fait trouver les différences les plus frappantes, quoique le coup d'oeil séduit les eût décidées de la même nature. *Voyez MINERAUX.*

C'est sur - tout dans les travaux des mines que la *Minéralogie* a le plus grand besoin des lumieres de la Chimie; dans les autres objets dont elle s'occupe, elle peut errer plus impunément; mais dans cette partie l'on est exposé à donner inconsidérément dans des entreprises ruineuses, si l'on s'en tient à des connoissances superficielles, & si une étude profonde de la Chimie métallurgique ne met en état de s'assurer de ce qu'on peut attendre de ses travaux.

Cela n'est point encore suffisant. Il faut outre cela des connoissances dans la Géométrie souterraine; par son moyen on juge de la direction des couches & des veines métalliques, de leur inclinaison, de leur marche, des endroits où l'on pourra les retrouver lorsque quelque obstacle imprévu aura interrompu leur cours. *Voyez Filons & Géométrie souterraine .* La *Minéralogie* emprunte aussi des secours de la Mécanique & de l'Hydraulique, tant pour le renouvellement de l'air au fond des souterrains, que pour l'épuisement des eaux, & pour élever des poids immenses qu'on a tirés du sein de la terre. Elle a besoin de l'Architecture pour empêcher les éboulemens des terres, & les affaissemens des roches & des montagnes qui ont été excavées. *Voyez MINES.* Toutes ces choses demandent un grand nombre de connoissances, & sur - tout beaucoup d'habitude & d'expérience, sans lesquelles on risque de se jeter. dans des dépenses ruineuses & inutiles.

C'est sur - tout en Allemagne & en Suede que la *Minéralogie* a été cultivée avec le plus de soin. Ceux qui se sont livrés à l'étude de cette science, ont bientôt senti qu'une Physique systématique n'étoit propre qu'à retarder ses progrès; dès - lors ils ont porté leurs vues du côté de la Chimie, de qui seule ils pouvoient attendre les lumieres dont ils avoient besoin. Ils ne furent point trompés dans leurs espérances, & ils ne tarderent point à recueillir les fruits de leurs travaux. Agricola fut un des premiers qui défricha un champ si vaste: le célèbre Beccher, dans sa

Physique souterraine, répandit encore plus de jour sur cette matiere. Henckel nous a donné, dans sa *Pyritologie*, & dans plusieurs autres ouvrages, des idées claires & distinctes de la *Minéralogie*; il a prouvé que cette science avoit besoin à chaque pas des secours de la Chimie. MM. Linnaeus, Wallerius, Woltersdorf, Cartheuser ont tâché de nos jours de donner un ordre systématique aux substances du regne minéral: leurs différentes méthodes sont exposées à l'article Minéraux. Enfin M. Pott & Lehmann, l'un dans sa *Lithogéognosie*, & l'autre dans ses *Oeuvres physiques & minéralogiques*, nous ont donné un grand nombre d'expériences & d'observations propres à répandre de la lumiere sur cette science difficile. (-) »

1.3. Caillou

CAILLOU, silex, (*Hist. nat.*) [Histoire naturelle] d'Holbach⁹⁸⁸.

« CAILLOU, *silex*, (*Hist. nat.*) matiere vitrifiable produite par l'argille & analogue au sable vitrifiable, grès, granit, &c. Il y a des carrieres de *cailloux* où cette matiere est disposée en grandes masses & par couches; il y a aussi dans différens pays des *cailloux* en petite masse & répandus en très - grande quantité, soit à la surface, soit à l'intérieur de la terre. Ainsi la matiere du *caillou* est une de celles qui tombent le plus souvent sous les yeux, & qu'il importe par conséquent de connoître le mieux. Or pour la considerer sous deux aspects; l'un relatif à l'Histoire naturelle, l'autre à la Chimie: nous allons commencer par le premier. Voici comment M. de Buffon explique la formation du *caillou*, *Hist. nat. tome I. p. 259*. « Je conçois, dit - il, que la terre dans le premier état étoit un globe, ou plutôt une sphéroïde de matiere vitrifiée de verre, si l'on veut très - compacte, couverte d'une croûte légère & friable, formée par les scories de la matiere en fusion d'une véritable pierre - ponce: le mouvement & l'agitation des eaux & de l'air briserent bientôt & réduisirent en poussiere cette croûte de verre spongieuse, cette pierre - ponce qui étoit à la surface; de - là les sables qui en s'unissant, produisirent ensuite les grès & le roc vif, ou ce qui est la même chose, les *cailloux* en grande masse, qui doivent aussi - bien que les *cailloux* en petite masse, leur dureté, leur couleur, ou leur transparence, & la variété de leurs accidens, aux différens degrés de pureté & à la finesse des grains de sable qui sont entrés dans leur composition.

Ces mêmes sables dont les parties constituantes, s'unissent par le moyen du feu, s'assimilent & deviennent un corps dur très - dense, & d'autant plus transparent, que le sable est plus homogene; exposés au contraire long - tems à l'air, ils se décomposent par la desunion & l'exfoliation des petites lames dont ils sont formés, ils, commencent à devenir terre; & c'est ainsi qu'ils ont pû former les glaises & les argilles. Cette poussiere, tantôt d'un jaune brillant, tantôt semblable à des paillettes d'argent, dont on se sert pour sécher l'écriture, n'est autre chose qu'un sable très - pur, en quelque façon pourri, presque réduit en ses principes, & qui tend à une décomposition parfaite; avec le tems ces paillettes se seroient atténuées & divisées au point, qu'elles n'auroient plus eu assez d'épaisseur & de surface pour réfléchir la lumiere, & elles auroient acquis toutes les propriétés des glaises. Qu'on regarde au grand jour, un morceau d'argille, on y appercevra une grande quantité de ces paillettes talqueuses, qui n'ont pas encore entierement perdu leur forme. Le sable peut donc avec le tems produire l'argille, & celle - ci en se divisant acquiert de même les propriétés d'un véritable limon, matiere vitrifiable comme l'argille, & qui est du même genre.

Cette théorie est conforme à ce qui se passe tous les jours sous nos yeux; qu'on lave du sable sortant de sa miniere, l'eau se chargera d'une assez grande quantité de terre noire, ductile, grasse,

⁹⁸⁸ DIDEROT Denis et D'ALEMBERT Jean le Rond, *Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, Paris, 1751-1772, Tome 2 p. 533- 536.

de véritable argille. Dans les villes où les rues sont pavées de grès, les boues sont toujours noires & très - grasses; & desséchées, elles forment une terre de la même nature que l'argille. Qu'on détrempe & qu'on lave de même l'argille prise dans un terrain où il n'y a ni grès ni *cailloux*, il se précipitera toujours au fond de l'eau une assez grande quantité de sable vitrifiable.

Mais ce qui prouve parfaitement que le sable, & même le *caillou* & le verre existent dans l'argille, & n'y sont que déguisés, c'est que le feu en réunissant les parties de celle - ci, que l'action de l'air & des autres élémens avoit peut - être divisées, lui rend sa première forme. Qu'on mette de l'argille dans un fourneau de réverbère échauffé au degré de la calcination, elle se couvrira au - dehors d'un émail très - dur; si à l'extérieur elle n'est point encore vitrifiée, elle aura cependant acquis une très grande dureté; elle résistera à la lime & au burin; elle étincellera sous le marteau; elle aura enfin toutes les propriétés du *caillou*: un degré de chaleur de plus la fera couler, & la convertira en un véritable verre.

L'argille & le sable sont donc des matières parfaitement analogues & du même genre. Si l'argille en se condensant peut devenir du *caillou*, du verre, pourquoi le sable en se divisant ne pourroit - il pas devenir de l'argille? le verre paroît être la véritable terre élémentaire, & tous les mixtes un verre déguisé; les métaux, les minéraux, les sels, &c. ne sont qu'une terre vitrescible; la pierre ordinaire, les autres matières qui lui sont analogues, & les coquilles des testacées, des crustacées, &c. sont les seules substances qu'aucun agent connu n'a pu jusqu'à présent vitrifier, & les seules qui semblent faire une classe à part. Le feu en réunissant les parties divisées des premières, en fait une matière homogène, dure, transparente à un certain degré, sans aucune diminution de pesanteur, & à laquelle il n'est plus capable de causer aucune altération; celles - ci au contraire, dans lesquelles il entre une plus grande quantité de principes actifs & volatils, & qui se calcinent, perdent au feu plus du tiers de leur poids, & reprennent simplement la forme de terre, sans autre altération de leurs principes; ces matières exceptées, qui ne sont pas en grand nombre, & dont les combinaisons ne produisent pas de grandes variétés dans la nature, toutes les autres substances, & particulièrement l'argille, peuvent être converties en verre, & ne sont essentiellement par conséquent qu'un verre décomposé. Si le feu fait changer promptement de forme à ces substances, en les vitrifiant, le verre lui - même, soit qu'il ait sa nature de verre, ou bien celle de sable & de *caillou*, se change naturellement en argille, mais par un progrès lent & insensible.

Dans les terrains où le *caillou* est la pierre dominante, les campagnes en sont ordinairement jonchées; & si le lieu est inculte, & que ces *cailloux* aient été long - tems exposés à l'air sans avoir été remués, leur superficie est toujours très - blanche, tandis que le côté opposé qui touche immédiatement la terre, est très - brun & conserve sa couleur naturelle. Si on casse plusieurs de ces *cailloux*, on reconnoîtra que la blancheur n'est pas seulement au dehors, mais qu'elle pénètre dans l'intérieur plus ou moins profondément, & y forme une espèce de bande, qui n'a dans de certains *cailloux* que très - peu d'épaisseur; mais qui dans d'autres occupe presque toute celle du *caillou*. Cette partie blanche est un peu grenue, entièrement opaque, aussi tendre que la pierre; & elle s'attache à la langue comme les bols, tandis que le reste du *caillou* est lisse & poli, qu'il n'a ni fil ni grain, & qu'il a conservé sa couleur naturelle, sa transparence & sa même dureté. Si on met dans un fourneau ce même *caillou* à moitié décomposé, sa partie blanche

deviendra d'un rouge couleur de tuile, & sa partie brune d'un très - beau blanc. Qu'on ne dise point avec un de nos plus célèbres naturalistes, que ces pierres sont des *cailloux* imparfaits de différens âges, qui n'ont point encore acquis leur perfection; car pourquoi seroient - ils tous imparfaits? pourquoi le seroient - ils tous d'un même côté, & du côté qui est exposé à l'air? il me semble qu'il est aisé au contraire de se convaincre que ce sont des *cailloux* altérés, décomposés, qui tendent à reprendre la forme & les propriétés de l'argille & du bol, dont ils ont été formés.

Si c'est conjecturer que de raisonner ainsi, qu'on expose en plein air le *caillou* le plus *caillou* (comme parle ce fameux naturaliste) le plus dur & le plus noir, en moins d'une année il changera de couleur à la surface; & si on a la patience de suivre cette expérience, on lui verra perdre insensiblement & par degrés sa dureté, sa transparence & ses autres caracteres spécifiques, & approcher de plus en plus chaque jour de la nature de l'argille.

Ce qui arrive au *caillou* arrive au sable; chaque grain de sable peut être considéré comme un petit *caillou*, & chaque *caillou* comme un amas de grains de sable extrêmement fins & exactement engrénés. L'exemple du premier degré de décomposition du sable se trouve dans cette poudre brillante, mais opaque, *mica*, dont nous venons de parler, & dont l'argille & l'ardoise sont toujours parsemées; les *cailloux* entierement transparens, les quartz produisent, en se décomposant, des talcs gras & doux au toucher, aussi paitrissables & ductiles que la glaise, & vitrifiables comme elle, tels que ceux de Venise & de Moscovie. Il me paroît que le talc est un terme moyen entre le verre ou le caillou transparent & l'argille; au lieu que le *caillou* grossier & impur, en se décomposant, passe à l'argille sans intermede.

Nous avons dit qu'on pouvoit diviser toutes les matieres en deux grandes classes, & par deux caracteres généraux; les unes sont vitrifiables, les autres sont calcinables; l'argille & le *caillou*, la marne & la pierre, peuvent être regardées comme les deux extrêmes de chacune de ces classes, dont les intervalles sont remplis par la variété presque infinie des mixtes, qui ont toujours pour base l'une ou l'autre de ces matieres.

Les matieres de la premiere classe ne peuvent jamais acquérir la nature & les propriétés de celle de l'autre, la pierre quelqu'ancienne qu'on la suppose, sera toujours aussi éloignée de la nature du *caillou*, que l'argille l'est de la marne: aucun agent connu ne sera jamais capable de les faire sortir du cercle de combinaisons propres à leur nature; les pays où il n'y a que des marbres & de la pierre, aussi certainement que ceux où il n'y a que du grès, du *caillou*, & du roc vif, n'auront jamais de la pierre ou du marbre.

Si l'on veut observer l'ordre & la distribution des matieres dans une colline composée de matieres vitrifiables, comme nous l'avons fait tout à l'heure dans une colline composée de matieres calcinables, on trouvera ordinairement sous la premiere couche de terre végétale un lit de glaise ou d'argille, matiere vitrifiable & analogue au *caillou*, & qui n'est, comme je l'ai dit, que du sable vitrifiable décomposé; ou bien on trouve sous la terre végétale, une couche de sable vitrifiable; ce lit d'argille ou de sable répond au lit de gravier qu'on trouve dans les collines composées de matieres calcinables; après cette couche d'argille ou de sable, on trouve quelques

lits de grès, qui, le plus souvent n'ont pas plus d'un demi pié d'épaisseur, & qui sont divisés en petits morceaux par une infinité de fentes perpendiculaires, comme le moellon du troisieme lit de la colline, composée de matieres calcinables; sous ce lit de grès on en trouve plusieurs autres de la même matiere, & aussi des couches de sable vitrifiable, & le grès devient plus dur, & se trouve en plus gros blocs à mesure que l'on descend. Au - dessous de ces lits de grès, on trouve une matiere très - dure, que j'ai appelée du *roc vif*, ou du *caillou en grande masse*: c'est une matiere très dure, très - dense, & qui résiste à la lime, au burin, à tous les esprits acides, beaucoup plus que n'y résiste le sable vitrifiable, & même le verre en poudre, sur lesquels l'eau - forte paroît avoir quelque prise; cette matiere frappée avec un autre corps dur jette des étincelles, & elle exhale une odeur de soufre très - pénétrante. J'ai crû devoir appeller cette matiere du *caillou en grande masse*; il est ordinairement stratifié sur d'autres lits d'argille, d'ardoise, de charbon de terre, de sable vitrifiable d'une très - grande épaisseur, & ces lits de *cailloux en grande masse*, répondent encore aux couches de matiere dures, & aux marbres qui servent de base aux collines composées de matieres calcinables.

L'eau, en coulant par les fentes perpendiculaires & en pénétrant les couches de ces sables vitrifiables, de ces grès, de ces argilles, de ces ardoises, se charge des parties les plus fines & les plus homogenes de ces matieres, & elle en forme plusieurs concrétions différentes, telles que les talcs, les amiantes, & plusieurs autres matieres, qui ne sont que des productions de ces stillations de matieres vitrifiables.

Le *caillou*, malgré son extrême dureté & sa grande densité, a aussi, comme le marbre ordinaire & comme la pierre dure, ses exudations; d'où résultent des stalactites de différentes especes, dont les variétés dans la transparence des couleurs & la configuration sont relatives à la différente nature du *caillou* qui les produit, & participent aussi des différentes matieres métalliques ou hétérogenes qu'il contient: le crystal de roche, toutes les pierres précieuses, blanches ou colorées, & même le diamant, peuvent être regardées comme des stalactites de cette espece.

Les *cailloux en petite masse*, dont les couches sont ordinairement concentriques, sont aussi des stalactites & des pierres parasites du *caillou en grande masse*, & la plûpart des pierres fines opaques ne sont que des especes de *caillou*. Les matieres du genre vitrifiable produisent, comme l'on voit, une aussi grande variété de concrétions, que celle du genre calcinable; & ces concrecions produites par les *cailloux*, sont presque toutes des pierres dures & précieuses; au lieu que celles de la pierre calcinable ne sont guere que des matieres tendres & qui n'ont aucune valeur ». (I)

Nous allons ajoûter ici plusieurs observations & conjectures sur le *caillou*, qui se trouvent répandues dans les opuscles minéralogiques de M. Henckel, & dans le commentaire de M. Zimmermann sur ces opuscles, ouvrages Allemands, qui n'ont jamais paru en François; laissant au lecteur à decider de ce qu'elles peuvent avoir de favorable au systeme de M. de Buffon.

M. Henckel pense que le *caillou*, dans sa première origine, a été formé par de la marne, fondé sur ce que la marne sans addition a la propriété de se durcir dans le feu, au point de donner des étincelles lorsqu'on la frappe avec l'acier, ce qui fait une des principales propriétés du *caillou*: mais il ne peut pas croire que dans sa formation le feu doive être regardé comme agent extérieur. *Il est vrai*, dit - il, *que le caillou est vitreux, ainsi qu'il est visible quand il a la pureté & la transparence du crystal: mais il ne se trouve point dans les entrailles de la terre un feu assez violent pour vitrifier, à l'exception des volcans qui jettent des flammes, & dont le feu destructif n'est qu'accidentel & incapable de produire aucun être, & que d'ailleurs la nature est lente dans toutes ses opérations*: d'où l'on voit que M. de Buffon & M. Henckel ont été portés l'un & l'autre à croire, par l'inspection du *caillou*, que c'étoit une matière donnée par le feu; mais que M. Henckel ne s'est écarté de cette idée, que parce qu'il ne rencontroit point dans les entrailles de la terre un principe de vitrification, ce que M. de Buffon lui accordera fort volontiers, puisqu'il remonte beaucoup plus loin pour trouver ce principe, & le déduit du système général.

M. Zimmermann dit que si l'on vient à casser un *caillou*, on le trouvera feuilleté & tranchant à l'endroit où il aura été cassé; que les *cailloux* sont toujours plus durs, plus purs, & plus transparens vers le milieu ou le centre, ce qu'il appelle le *grain intérieur*, qu'à l'enveloppe; de manière que ce grain central se distingue toujours des autres parties environnantes, qui sont plus molles & moins compactes; qu'il a rencontré dans plusieurs *cailloux* deux, trois, & même davantage de ces grains ou centres, à côté les uns des autres, & séparés seulement par la partie molle & rare du *caillou*, de sorte qu'un grand *caillou* à plusieurs grains lui parut être un assemblage de *cailloux* petits, fondus ensemble, & réunis de quelque façon que ce fût; que quand on polit les *cailloux*, ils deviennent transparens, mais qu'ils le deviennent encore plus, quand on n'en polit que les grains; que s'étant informé des lapidaires, s'il étoit vrai, ainsi qu'on le disoit & qu'Henckel conseilloit de le rechercher, que le *caillou* contient du crystal, ils avoient varié dans leur rapport, les uns l'assurant, les autres le niant, mais tous convenant de ce qu'il vient de dire sur le grain intérieur, & s'accordant à le regarder comme plus cristallin que le reste du *caillou*; qu'il s'ensuit de - là, que puisque le *caillou* est transparent & pur, il faut qu'il ait été dans son principe sous une forme liquide; car la transparence suppose un ordre, un arrangement, & une sorte de symétrie dans les parties qu'on ne peut trouver que dans un fluide; que le *caillou* étant gersé & plein de crevasses, il est clair que la matière en est aigre, qualité qui vient apparemment d'une condensation subite, comme on le remarque aux larmes de verre qu'on éteint dans l'eau, & à tous les verres qui se refroidissent subitement, ce qui rend en même - tems le grain intérieur plus clair & plus compact que l'enveloppe, parce qu'il n'a pas été saisi ou condensé si promptement; que si les *cailloux* sont si petits, c'est une preuve nouvelle de la promptitude du refroidissement & de la condensation qui a occasionné l'effraction; en un mot, que nous pouvons tenir pour certain, 1°. que le *caillou* a été originairement liquide: 2°. qu'il a été saisi & condensé subitement; d'où il suit, selon lui, que s'il n'eût pas été interrompu dans sa formation, il seroit devenu un corps plus pur & plus parfait; que la cause de ce saisissement & de cette condensation subite a été tout - à - fait accidentelle, hors de l'ordre commun, & extraordinaire; & que c'est là ce qui nous rend obscure la formation des *cailloux*. Ainsi parlent deux grands observateurs de la nature; & quelle preuve M. de Buffon n'en auroit - il pas tirée en faveur de son système du monde, si ces autorités lui avoient été connues?

Voilà ce que les Naturalistes pensent du *caillou*; voici maintenant le sentiment des Chimistes sur la même substance. Le *caillou* est une pierre qui est dans la classe des terres ou pierres vitrifiables, non pas qu'il se vitrifie tout seul & sans addition, mais il faut pour cela qu'il soit mêlé avec suffisante quantité de sel alkali. Voyez l'article CRYSTAL FACTICE. Un des caractères distinctifs du *caillou*, est de faire feu lorsqu'il est frappé avec l'acier; M. Cramer dit que si on regarde avec le microscope les étincelles que l'acier en fait partir, on les trouvera tout - à - fait semblables à des scories de fer mêlées d'un peu de ce métal & de *caillou* vitrifié. On trouve par l'examen du feu de la différence entre les *cailloux*; il y en a qui n'entrent que très - difficilement en fusion au feu de reverbere, tandis que d'autres se fondent assez facilement: mais ce n'est jamais que par l'addition de plus ou de moins de sel alkali. Cependant M. Henckel parle, dans ses opuscles minéralogiques, d'une espèce de *caillou* qui lui fut envoyé, qui entroit en fusion sans aucune addition, & formoit en fondant une masse noire. Il assure la même chose d'une sorte de pierre à fusil qui se trouve, quoique rarement, dans des couches de terre argilleuse près de Waldenburg. Le sable ne doit être regardé que comme un amas de petits *cailloux*, aussi en a - t - il toutes les propriétés. Voyez l'article ACIER.

Les *cailloux* ont bien des formes & couleurs différentes: les blancs sont regardés comme les meilleurs dans l'usage de la verrerie. Les taches ou veines rouges qu'on y remarque, ne sont autre chose que du fer qui s'y est attaché extérieurement; mais lorsqu'en veut les employer dans l'art de la verrerie, il faut avoir soin d'en séparer la partie métallique, de peur qu'elle ne donne une couleur au verre.

M. Henckel dit avoir trouvé des *cailloux* de rivière qui devenoient plus pesans au feu; sur quoi son commentateur remarque que si le fait étoit bien prouvé, ce seroit un triomphe pour ceux qui, comme Boyle, pensent que les particules ignées ont du poids, & doivent par conséquent augmenter celui des corps où elles entrent.

Becher se vante d'avoir réduit les *cailloux* en une substance grasse, huileuse, & mucilagineuse, semblable à de la gélée, & qui pouvoit se pétrir comme de la cire, en les faisant rougir au feu, & en en faisant l'extinction dans l'eau. Le même auteur prétend tirer de cette liqueur un sel verd & une huile rougeâtre, qui a, selon lui, la propriété de précipiter le mercure, & de le fixer en partie beaucoup mieux que ne peut faire l'huile de vitriol. Mais ces grandes promesses ont bien l'air d'être du genre merveilleux de celles que tous les Alchimistes affectent de faire sans jamais les tenir.

Si on mêle deux ou trois parties de sel de tartre avec une partie de *caillou* bien pulvérisé, qu'on mette ce mélange dans une cornue tubulée toute rouge, il se fait une effervescence très - considérable, & il passe à la distillation un esprit acide, d'une odeur sulphureuse; c'est ce qu'on appelle *liquor silicum*, ou *liqueur de caillou*; les Alchimistes lui ont attribué des vertus tout extraordinaires, & l'ont même regardée comme le vrai alkahest ou dissolvant universel. Glauber va plus loin, & dit qu'en y mettant en digestion des métaux dissous, il se formera des végétations métalliques.

M. Lemery donne une autre maniere de faire le *liquor silicum*, c'est de mêler 4 onces de *cailloux* calcinés & réduits en une poudre impalpable, avec 24 onces de cendre gravelée, de vitrifier ce mélange dans un creuset, & lorsque la vitrification est faite, de mettre ce verre à la fraîcheur de la cave où il se résout en eau. Si on mêle à cette eau une dose égale de quelque acide corrosif, il se formera une espece de pierre. (-) »

1.4. Roche

ROCHE, ROC ou ROCHER, (*Gram.*) [Grammaire] inconnu ⁹⁸⁹.

« ROCHE, s. f. ROC ou ROCHER, (*Gram.*) c'est une masse de pierre qui s'élève au - dessus de la surface de la terre ou de la mer, vers les côtes & les îles, & qui cause souvent les naufrages des vaisseaux, ou qui les détourne de leur droite route.

Roches molles, inconnu.

Roches molles, *Voyez* CAYES.

Roche, (*Architect.*) [Architecture] Jaucourt.

Roche, s. f. (*Architect.*) c'est la pierre la plus rustique & la moins propre à être taillée. Il y a de ces *roches* qui tiennent de la nature du caillou, & d'autres qui se délitent par écailles. On appelle *roche vive* la *roche* qui a ses racines fort profondes, qui n'est point mêlée de terre, & qui n'est point par couche comme dans les carrières. (*D. J.*)

Roche, (*Hydr.*) [Hydraulique] d'Argenville.

Roche, s. m. (*Hydr.*) est un monceau de cailloux, de pétrifications, de coquillages de différentes couleurs, élevé & formant un rocher, au haut duquel est un jet qui retombe sur ce cailloutage. Ce peut être encore une fontaine rocaillée, adossée contre un mur, imitant la caverne d'où sortent des bouillons & nappes d'eau. (*K*)

Roche a feu, (*Artificier.*) [Artificier] inconnu.

Roche a feu, (*Artificier.*) les artificiers appellent ainsi un mélange de soufre, de salpêtre & de poudre qui est propre à beaucoup d'artifices. Voici la maniere de le faire.

Prenez du soufre fondu lentement une livre, de salpêtre quatre onces, de poudre quatre onces; jetez le salpêtre dans le soufre en le fondant peu - à - peu & le remuant très - bien, & ensuite la poudre de même; remuez le tout; & lorsque le mélange commencera à se refroidir, vous y ajouterez trois onces de poudre grenée, & remettez le tout ensemble.

Roche, (*Geog. mod.*) [Géographie moderne] Jaucourt.

⁹⁸⁹ DIDEROT Denis et D'ALEMBERT Jean le Rond, *Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, Paris, 1751-1772, Tome 14, p. 311-312.

Roche, *la*, (*Géog. mod.*) en latin du moyen âge, *rupes Ardenuae*; ville des Pays - Bas, au duché de Luxembourg, dans la forêt d'Ardenne, bâtie sur une roche, d'où lui vient son nom, à 12 lieues au nord - ouest de Luxembourg, avec un château fortifié. *Long. 23. 25. lat. 50. 7.*

2°. La *Roche* est le nom d'une autre petite ville de Savoie, dans le Faucigni, assez près de la rivière d'Arve, & sur la Gauche. (*D. J.*)

Roche, (*Hydr.*) [Hydraulique] d'Argenville.

Roche, s. m. (*Hydr.*) est un monceau de cailloux, de pétrifications, de coquillages de différentes couleurs, élevé & formant un rocher, au haut duquel est un jet qui retombe sur ce cailloutage. Ce peut être encore une fontaine rocaillée, adossée contre un mur, imitant la caverne d'où sortent des bouillons & nappes d'eau. (*K*) »

1.5. Pierres

PIERRES lapides, (*Hist. nat. Min.*) [Histoire naturelle, Minéralogie] d'Holbach⁹⁹⁰.

« PIERRES, s. f. pl. (*Hist. nat. Min.*) *lapides*. Ce sont des corps solides & durs, non ductiles, formés par des particules terreuses, qui, en se rapprochant les unes des autres, ont pris différens degrés de liaison. Ces corps varient à l'infini pour la consistance, la couleur, la forme & les autres propriétés.

Il y a des *pierres* si dures, que l'acier le mieux trempé n'a point de prise sur elles: d'autres au contraire ont si peu de liaison, que l'on peut aisément les écraser entre les doigts. Quelques *pierres* ont la transparence de l'eau la plus limpide, tandis que d'autres sont opaques, d'un tissu grossier, & sans nulle transparence. Rien de plus varié que la figure des *pierres*; on en voit qui affectent constamment une figure régulière & déterminée, tandis que d'autres se montrent dans l'état de masses informes & sans nulle régularité. Il y en a qui ne sont qu'un'amas de feuillets ou de lames appliquées les unes sur les autres; d'autres sont composées d'un assemblage de filets semblables à des aiguilles; quelques - unes en se brisant se partagent toujours, soit en cubes, soit en trapézoïdes, soit en pyramides, soit en feuillets, soit en stries ou en aiguilles, &c. d'autres se cassent en éclats & en fragmens informes & irréguliers. Quelques *pierres* ont les couleurs les plus vives & les plus variées; plusieurs de ces couleurs se trouvent souvent réunies dans une même *Pierre*; d'autres n'ont point de couleurs, ou elles en ont de très - grossières. Quelques *pierres* se trouvent en masses détachées; d'autres forment des bancs ou des couches immenses qui occupent des terrains très - considérables; d'autres forment des blocs énormes & des montagnes entières.

Telles sont les propriétés générales que nous présente le coup d'oeil extérieur des *pierres*. Si l'on pousse plus loin l'examen; on trouve que quelques - unes donnent des étincelles, lorsqu'on les frappe avec de l'acier, ce qui tient de la forte liaison de leurs parties, tandis que d'autres ne donnent point d'étincelles de cette manière. Quelques *pierres* se calcinent, & perdent leur liaison par l'action du feu; d'autres exposées au feu s'y durcissent; d'autres y entrent en fusion; d'autres n'y éprouvent aucune altération. Il y en a qui se dissolvent avec effervescence dans les acides, tels que l'eau forte, le vinaigre, &c. quelques - unes ne sont nullement attaquées par ces dissolvans.

Toutes ces différentes qualités que l'on vient de faire remarquer dans les *pierres*, ont déterminé les naturalistes à en faire différentes classes; chacun les a divisées suivant les différens points de vues sous lesquels il les a envisagées; voilà pourquoi les auteurs sont très - peu d'accord sur les divisions méthodiques qu'ils nous ont données de ces substances. Quelques-uns ne consultant que le coup d'oeil extérieur, ont divisé les *pierres* en *opaques* & en *transparentes*;

⁹⁹⁰ DIDEROT Denis et D'ALEMBERT Jean le Rond, *Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, Paris, 1751-1772, Tome 12, p.574- 579.

d'autres ont eu égard aux effets que les *pierres* produisent dans le feu: c'est ainsi que M. Wallerius distingue les *pierres* en quatre ordres ou classes; savoir, 1°. en *pierres calcaires*; ce sont celles que l'action du feu réduit en chaux & prive de leur liaison; telles sont la *Pierre* à chaux, la craie, les marbres, le spath, le gypse, &c. Voyez l'article CALCAIRE. 2°. En *pierres vitrescibles*; ce sont celles que l'action du feu convertit en verre. Dans ce rang il place les ardoises, les grais, le caillou, les agates, les jaspes, le quartz, le crystal de roche, les pierres précieuses. 3°. En *pierres apyres*; ce sont celles sur qui l'action du feu ne produit aucune altération; telles sont le talc, l'amiante, &c. Enfin, 4°. M. Wallerius fait une quatrième classe de *pierres* qu'il nomme *composées*, & qui sont formées par l'assemblage des différentes *pierres* qui précédent, qui dans le sein de la terre se sont réunies pour ne faire qu'une masse.

M. Pott, qui dans sa *Lithogéognosie*, nous a donné un examen chimique de la plupart des *pierres*, les divise, 1°. en *calcaires*, c'est - à - dire, en *pierres* qui se dissolvent dans les acides, & que l'action du feu change en chaux; 2°. en *gypseuses* qui ne se dissolvent point dans les acides, mais que l'action du feu change en plâtre. Cependant aujourd'hui la plupart des Physiciens regardent le gypse ou la *Pierre* à plâtre, comme une *Pierre* calcaire qui est saturée par l'acide vitriolique; 3°. en *argilleuses*, qui ne sont point attaquées par les acides, mais qui ont la propriété de se durcir & de prendre de la liaison dans le feu; 4°. en *apyres* sur lesquelles ni les acides, ni l'action du feu n'ont aucune prise.

M. Frédéric - Auguste Cartheuser dans sa Minéralogie, divise les *pierres* en cinq ordres ou classes; 1°. en *pierres* par lames, *lapides lamellosi*; elles sont composées de feuillets plus ou moins grands. Les différens genres de cette classe sont le spath, le mica, le talc. 2°. Les *pierres* composées de filets, *lapides filamentosi*; de ce nombre sont l'amiante, l'asbeste, le gypse strié. 3°. Les *pierres* solides ou continues, dont les parties ne peuvent être distinguées; de ce nombre sont le caillou, le quartz & les *pierres* précieuses, les pierres à chaux, les pierres à plâtre, le schiste ou l'ardoise, la pierre à pots. 4°. Les *pierres* par grains, *lapides granulati*; telles sont le grais, & suivant lui le jaspé. 5°. Les *pierres* mélangées.

M. de Justi dans son plan du regne minéral, publié en allemand en 1757, divise les *pierres*; 1°. en précieuses, & en communes; 2°. en *pierres* qui résistent au feu; 3°. en *pierres* calcaires; 4°. en *pierres* vitrescibles & fusibles au feu. On voit que cette division est très - fautive, vu que cet auteur considère d'abord les *pierres* relativement au prix que la fantaisie des hommes y attache, & ensuite il les divise relativement aux effets que le feu produit sur elles.

M. de Cronstedt, de l'académie de Stockholm, dans sa Minéralogie publiée en suédois en 1758, comprend les *pierres* & les terres sous une même classe, en quoi il semble être très - fondé, vu que les *pierres* ne sont que des produits des terres, qui ont acquis plus ou moins de consistance & de dureté. Il divise ces terres ou *pierres* en deux genres, la première est des *calcaires*, la seconde est des *pierres* ou terres *silicées*, c'est - à - dire, de la nature du caillou.

Toutes ces différentes divisions que l'on a faites des *pierres* nous prouvent qu'il est difficile de les ranger dans un ordre méthodique qui convienne en même tems à leur aspect extérieur & à leurs propriétés intérieures; au fond ces divisions sont assez arbitraires, & chacun peut en faire

des classes relativement aux différents points de vue sous lesquels il les envisage. Le chimiste qui ne décide rien que d'après l'expérience, considérera les *pierres* relativement à leur analyse, tandis que le physicien superficiel, qui, ne cherchera point à approfondir les choses, se contentera des qualités extérieures, sans s'embarrasser de la combinaison de ces corps; cependant dans l'examen des *pierres*, ainsi que de toutes les substances du règne minéral, on risquera très - souvent de se tromper lorsqu'on ne s'arrêtera qu'aux apparences; un grand nombre de *pierres* qui ont des propriétés fort opposées, se ressemblent beaucoup à l'extérieur, & les sciences ne devant avoir pour but que l'utilité de la société, il est certain que l'analyse nous sera beaucoup mieux connue les usages des substances que ne fera un examen superficiel.

Comme la nature agit toujours d'une façon simple & uniforme, il y a tout lieu de conjecturer que toutes les *pierres* sont essentiellement les mêmes, & qu'elles sont toutes composées de terres, qui ne diffèrent entre elles que par les différentes manières dont elles ont été modifiées, atténuées & élaborées, & combinées par les eaux; nous allons faire voir que l'eau est le seul agent de la formation des *pierres*.

L'expérience prouve que les eaux les plus pures contiennent une portion de terre assez sensible; on peut s'assurer de cette vérité en jettant les yeux sur les dépôts que font dans les vaisseaux les eaux qu'on y fait bouillir, & qu'on y laisse séjourner quelque temps. Si l'on met une goutte d'eau de pluie ou de la neige sur une glace bien nette, elle y formera une tache blanche aussi - tôt que l'eau sera évaporée; cette tache n'est autre chose que de la terre, d'où l'on voit que l'eau tenoit cette terre en dissolution, & qu'elle étoit si intimement combinée avec elle qu'elle ne nuisoit point à sa limpidité. L'eau par elle - même doit avoir la propriété de s'unir & de se combiner avec la terre; c'est de cette combinaison que résulte tout sel; il y a long - temps que la Chimie a démontré que les sels ne sont qu'une combinaison de la terre & de l'eau; c'est de la différente manière dont l'eau se combine avec des terres, diversement atténuées & élaborées, qui produit la variété de ces sels. Ces vérités une fois posées, nous allons tâcher d'examiner les différentes manières dont les *pierres* peuvent se former.

La première de ces manières qui est la plus parfaite, est la cristallisation. On ne peut s'en former d'idée sans supposer que des eaux tenoient en dissolution des molécules terreuses avec lesquelles elles étoient dans une combinaison parfaite. L'eau qui tenoit ces molécules en dissolution venant à s'évaporer peu - à - peu, n'est plus en quantité suffisante pour les tenir en dissolution; alors elles se déposent & se rapprochent les unes des autres; comme elles sont similaires, elles s'attirent réciproquement par la disposition qu'elles ont à s'unir, & de leur réunion il résulte un corps sensible, régulier & transparent, que l'on nomme *crystal*; la régularité & la transparence dépendent de la pureté & de l'homogénéité des molécules terreuses qui étoient en dissolution dans l'eau; ces qualités viennent encore du repos où a été la dissolution, & de la lenteur plus ou moins grande avec laquelle l'évaporation s'est faite; du moins est il certain que c'est de ces circonstances que dépend la perfection des cristaux des sels, qui par leur analogie peuvent nous faire juger de la cristallisation des *pierres*. Ces cristaux varient en raison de la terre qui étoit en dissolution dans l'eau, & qui leur sert de base; si cette terre étoit calcaire, elle formera des cristaux calcaires, tels que ceux du spath, &c. si la terre étoit *silicée*, c'est - à - dire de la nature du caillou ou du quartz, on aura des *pierres* précieuses & du crystal de roche.

Comme les eaux peuvent tenir en même tems en dissolution des terres metalliques diversement colorées, ces couleurs passeront dans les cristaux qui se formeront; de - là les différentes couleurs des cristaux & des *pierres* précieuses; leur dureté variera en raison de l'homogénéité des parties dissoutes, plus elles seront homogenes & pures, plus elles s'uniront fortement, & par conséquent plus elles auront de solidité & de transparence.

Quand même les eaux n'auroient point par elles - mêmes la faculté de dissoudre les molécules terreuses, elles acquerroient cette faculté par le concours des substances salines qui souvent y sont jointes. Personne n'ignore que la terre ne renferme une grande quantité de sels; c'est l'acide vitriolique qui s'y trouve le plus abondamment répandu. L'eau aidée de ces sels peut encore plus fortement dissoudre une grande quantité de molécules terreuses, avec lesquelles elle se combine, & lorsqu'elle vient à s'évaporer, il se forme divers cristaux en raison de la nature de la terre qu'elle tenoit en dissolution, & des sels qui entrent dans la combinaison.

Souvent une même eau peut tenir en dissolution des terres de différente nature, dont les unes demandent plus d'eau pour leur dissolution, tandis que d'autres en exigent beaucoup moins; alors lorsque l'évaporation viendra à se faire, il se formera d'abord des cristaux d'une espece, & ensuite il s'en formera d'autres, cela se fait de la même maniere que des sels de différente nature se cristallisent successivement les uns plutôt, les autres plus tard dans un vaisseau & dans un laboratoire. C'est ainsi que l'on peut expliquer assez naturellement la formation de ces masses que l'on rencontre souvent dans la terre, & qui sont un mélange confus de plusieurs cristaux de différente nature.

Les molécules terreuses qui servent à former les *pierres* ne sont point toujours dans un état de dissolution parfaite dans les eaux, souvent elles y sont en parties grossieres, qui ne sont que détrempées, & elles y demeurent suspendues tant que les eaux sont en mouvement; après avoir été charriées & entraînées pendant quelque tems, ces terres se deposent par leur propre poids, & forment peu - à - peu un corps solide ou une pierre; c'est ainsi que se forment les incrustations, les tufes, les stalactites; en un mot c'est de cette maniere qu'on doit supposer qu'ont été formés les bancs de roches, d'ardoises, de pierres à chaux, &c. qui se trouvent par couches dans le sein de la terre, & qui paroissent des dépôts faits par les eaux de la mer. *Voyez LIMON & TERRE couches de la.*

Les *pierres* ainsi formées n'affectent point de régularité dans leur figure, elles sont composées de tant de molécules grossieres & hétérogenes, que les parties similaires n'ont point pû se rapprocher, & leur continuité a été interrompue par les matieres étrangères & peu analogues qui sont venu se placer entre elles. En effet, il y a lieu de conjecturer que toutes les *pierres*, lorsqu'elles sont pures & lorsqu'elles sont dans un état de dissolution parfaite, doivent former des cristaux transparens & réguliers, c'est - à - dire doivent prendre la figure qui est propre à chaque molécule de la terre qui a été dissoute.

De toutes les *pierres* il n'y en a point dont la formation soit plus difficile à expliquer que celle des *pierres* de la nature du caillou; la plûpart des naturalistes les regardent comme produites par une matiere visqueuse & gélatineuse qui s'est durcie; cependant on voit que la matiere qui

forme le caillou lorsqu'elle est parfaitement pure, affecte une figure régulière; en effet, le crystal de roche ne diffère du caillou, du quartz, des agates, qui sont des *pierres* du même genre, que par sa transparence & sa forme pyramidale & hexagone. Il y a donc lieu de supposer que c'est la partie la plus parfaitement dissoute & la plus pure du caillou ou du quartz, qui forme des cristaux, & que c'est la partie la moins parfaitement dissoute, & qui par sa viscosité & son mélange avec des matières hétérogènes, n'a pu se cristalliser; semblable en cela à la matière grasse & visqueuse qui accompagne les sels qu'on appelle *l'eau mere*, & qui n'est plus propre à se cristalliser.

Peut - être que cette idée pourroit servir à nous faire connoître pourquoi certains cailloux arrondis ont à leur centre des cavités tapissées de cristaux réguliers, semblables en tout à du crystal de roche, tandis que d'autres cailloux, qui sont précisément de la même nature que les premiers, ont leurs cavités garnies de mamellons; on a tout lieu de présumer qu'ils renfermeroient des cristaux comme les premiers, si la cristallisation n'avoit point été embarrassée par des matières étrangères qui l'ont empêché de se faire. *Voyez l'article SILEX.*

Par tout ce qui précède on voit que toutes les *pierres* ont été originairement dans un état de fluidité: indépendamment des cristallisations dont nous venons de parler, nous avons une preuve convaincante de cette vérité dans les *pierres* que nous voyons chargées des empreintes de plantes & de coquilles, qui y sont marquées comme un cachet & sur de la cire d'Espagne; telles sont certaines ardoises ou *pierres* schisteuses qui portent des empreintes de poissons, & celles qu'on voit chargées des empreintes de plantes, qui accompagnent souvent les charbons de terre. On trouve encore fréquemment des cailloux très - durs qui sont venus se mouler dans l'intérieur des coquilles & d'autres corps marins dont ils ont pris la figure. De plus, ces choses nous fournissent des preuves indubitables que les *pierres* se forment journellement: nous voyons cette vérité confirmée par les grottes qui se remplissent peu - à - peu, par les stalactites qui se forment assez promptement, par les cristallisations & les incrustations qui recouvrent des mines dans leurs filons, & sur - tout par les cailloux & les marbres que l'on trouve souvent par petits fragmens, qui ont été liés & comme collés ensemble par un suc pierreux analogue, qui n'en a fait qu'une seule masse. *Voyez TERRE, GLUTEN, INCRUSTATION, PETRIFICATION, &C.*

Ces observations ont dû conduire naturellement à distinguer les *pierres* en *pierres anciennes* & en *pierres récentes*: Par les premières, on entend celles dont la formation a précédé les divers changemens que notre globe a éprouvés, & qui doivent leur existence, pour ainsi dire, au débrouillement du chaos & à la création du monde. Ces sortes de *pierres* ne renferment jamais des substances étrangères au regne minéral, telles que des bois, des coquilles & d'autres corps marins; c'est de *pierres* de cette espèce que sont formées les montagnes primitives. *Voyez MONTAGNES.* Les *pierres récentes* sont celles qui ont été produites postérieurement & qui se forment encore tous les jours. On doit ranger dans cette classe toutes les *pierres* qui sont par lits ou par couches horizontales; elles ont été formées par le dépôt de la vase ou du limon des rivières & des mers qui ont occupé des portions de notre continent qui depuis s'en sont retirées; c'est pour cette raison que l'on trouve dans ces couches de *pierres* des corps entièrement étrangers à la terre, qui y ont été enveloppés & renfermés lorsque la matière molle dans son origine est venu à se durcir. De cette espèce sont les schistes, les ardoises, les pierres à chaux,

les grais, les marbres, &c. Parmi ces *pierres récentes* il y en a qui ont été produites ou mises dans l'état où la nature nous les présente, par les embrasemens de la terre; de cette espece sont la lave, la pierre ponce, &c. On doit aussi placer au rang des *pierres récentes* les veines de quartz & de spath, qui sont venus quelquefois reboucher les fentes des montagnes & des rochers, qui avoient été faites antérieurement par les tremblemens & les assaissemens de la terre; il est aisé de concevoir que les *pierres* qui remplissent ces intervalles, sont d'une formation postérieure à celle des *pierres* qu'elles ont, pour ainsi dire, resoudées. (-) »

Annexe 2: Traduction de l'article de William Nicol sur le prisme à simple vue (1829)⁹⁹¹

On a Method of so far increasing the Divergency of the two Rays in Calcareous-spar, that only one Image may be seen at a time. By WILLIAM NICOL, Esq. Lecturer on Natural Philosophy. Communicated by the Author.

THE following simple method of constructing a prism of calcareous-spar, so that only one image may be seen at a time, will, perhaps, prove interesting to those who are in the habit of examining the optical properties of crystallised bodies by polarised light.

Let a rhomboid of calcareous-spar one inch long be reduced in breadth and thickness to three-tenths of an inch; let the obliquity of its terminal planes be increased about three degrees; or, in other words, let the angles formed by the terminal planes, and the adjoining obtuse lateral edges, be made equal to 66° , by operating on the terminal planes: these planes may now be polished. The rhomboid is then to be divided into two equal portions, by a plane passing through the acute lateral edges, and nearly touching the two obtuse solid angles. The sectional plane of each of the two halves must now be made to form exactly an angle of 90° with the terminal plane, and then carefully polished. The two portions are now to be firmly cemented together by means of Canada balsam, so as to form a rhomboid similar to what it was before its division.

If a ray of common light fall on the end of such a rhomboid in a direction parallel to the lateral edges, the two rays into which it is divided, in passing through the spar, will deviate so far from each other, that only the ordinary image will be seen. That image, too, will appear exactly in its true position, and free from colour. The range of the ordinary ray will be found considerably greater than the whole field-of vision, as may easily be seen by making the rhomboid revolve on an axis parallel to the longer diagonal of the terminal planes. There is a tinge of blue where the ordinary ray vanishes on one side, and a tinge of orange, ac-

» 2

⁹⁹¹ William NICOL, «On a method of so far increasing the divergency of the two rays in Calcareous-spar, that only one image may be seen at a time », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Volume 6, Octobre 1828- Mars 1829, 1829, p. 83-84.

accompanied by a number of extremely minute obscurely coloured fringes, where it terminates on the other. If the rhomboid revolve beyond the fringes, the ordinary image will disappear, and the extraordinary image come into view. The latter, however, from the great obliquity of the incident light, occupies a smaller range, and is less distinct than the other. The ordinary ray passing out of the rhomboid in a direction parallel to its lateral edges, is therefore the best adapted for analytical purposes; and as calcareous-spar, when pure, and free from flaws, is not only transparent, but perfectly colourless, a rhomboid of that substance, of the above construction, develops the coloured rings of crystallized bodies with a degree of brilliancy not to be equalled by a plate of tourmaline, or perhaps by any other substance.

With the view of rendering the structure of the analyzing rhomboid more easily understood, I have supposed a piece of the spar to be divided into two equal portions. Such a division, however, would be a difficult task; but if two similar pieces of spar be taken, it will be found a very easy matter to remove one-half of each of them, either by grinding, or by the action of a file. The pieces of spar should not be much less than an inch long, and they need not be longer than 1.4 inch. If the latter dimension be adopted, the breadth and thickness will require to be about .48 of an inch.

In cementing the two pieces together, it will be proper to let the pointed end of the one project a little over the terminal plane of the other. By so doing, a more firm contact is obtained at the edges; and when the cement is sufficiently indurated, the whole of the projecting parts may easily be removed, according to their cleavages. The lateral planes should be left quite rough, to prevent the reflection of extraneous light.

Sur le moyen de tant faire augmenter la divergence des deux rayons du spath calcaire, qu'une seule image serait visible à la fois. Par William Nicol, Esq⁹⁹². Conférencier en Philosophie Naturelle. Transmis par l'auteur.

Voici une méthode simple pour construire un prisme de spath calcaire, de manière à ce qu'une seule image soit perçue à la fois. Elle pourrait intéresser ceux qui ont l'habitude d'examiner les propriétés optiques des corps cristallins avec de la lumière polarisée.

Prenons un spath calcaire de forme rhomboïde, d'un pouce de long, dont la largeur et l'épaisseur ne dépassant pas les $3/10^{\circ}$ de pouce. Faisons augmenter l'obliquité de ses faces terminales de trois degrés supplémentaires, c'est à dire, pour le formuler autrement, travaillons sur les angles terminaux, pour que les angles issus des faces terminales et de leurs faces jointives forment des angles latéraux obtus égaux à 68° . Ces faces peuvent maintenant être polies. Par la suite, ce rhomboïde doit être divisé en deux portions égales par un plan passant par les angles aigus latéraux et qui touche presque les deux angles solides obtus. La section du plan de chaque moitié doit alors être retravaillée afin de former un angle de 90° avec la face terminale puis être précautionneusement polie. Une fois cela réalisé, les deux moitiés doivent être cimentées solidement à l'aide de baume de Canada, afin de reformer un rhomboïde similaire à celui qui existait avant la séparation.

Si un rayon de lumière ordinaire vient à passer sur le sommet d'un tel rhomboïde, parallèlement à l'une des arêtes latérales, il se divise en deux en passant à travers le spath. Ces rayons s'écartent tellement l'un de l'autre que seule l'image ordinaire est visible. De plus, cette image apparaît dans sa position exacte et libre de couleurs. On notera que l'étendue du rayon ordinaire en est considérablement augmentée et dépasse largement le champ de vision. Ceci peut être assez simplement observé en faisant tourner le rhomboïde sur un axe parallèle à la diagonale la plus longue de ses faces terminales. Là où le rayon sort, on peut constater d'un côté une légère teinte bleue et de l'autre une tonalité orangée, accompagnée par de nombreuses franges colorées de très petite taille. Si le rhomboïde est tourné au-delà des franges, l'image ordinaire disparaît et c'est l'image extraordinaire qui apparaît. Toutefois cette dernière, en raison de la grande obliquité du rayon incident, occupe une petite place et elle est moins distincte que l'autre. Le rayon ordinaire qui traverse le rhomboïde parallèlement à l'une de ses arêtes latérales est donc le plus adapté pour des travaux d'analyse. En effet, le spath calcaire lorsqu'il est dépourvu d'impuretés et défauts est non seulement transparent, mais parfaitement incolore. Ainsi, un rhomboïde de cette substance, construit comme décrit ci-dessus, permet d'observer des anneaux colorés issus des corps cristallins avec un degré de brillance qui ne peut être égalé par aucune plaque de tourmaline, et peut-être même par aucun autre matériau.

Dans le but de faciliter la compréhension de la structure de ce rhomboïde analyseur, j'ai pris l'hypothèse d'une seule pièce de spath qui serait divisée en deux parts égales. Une telle division est cependant délicate, mais si deux pièces similaires de spath sont utilisées, il est alors plus facile d'en retirer la moitié de chaque pièce, soit par broyage ou bien par l'action d'un fil. La longueur de ces pièces de spath doit être comprise entre un peu moins d'un pouce et 1,4 pouce

⁹⁹² Abréviation de « esquire ». Titre britannique non officiel montrant le respect à des personnes appartenant à un milieu social aisé.

au maximum. Si on s'en tient à une longueur proche de 1,4 pouces, alors la largeur et l'épaisseur doivent être d'environ 0,48 pouce.

Lorsque vous collez les deux pièces ensemble, il est plus approprié de laisser l'extrémité d'une des moitiés dépasser un peu sur la face terminale de l'autre moitié. De cette façon, les extrémités adhèrent plus solidement et lorsque le ciment a suffisamment durci, l'ensemble des parties saillantes pourra être facilement enlevé, en suivant les clivages. Les faces latérales seront laissées très rugueuses, afin de prévenir les phénomènes de réflexion des lumières extérieures.

Annexe 3 : Traduction d'un extrait de l'article de William Nicol « Observations on the structure of recent and fossil conifers »⁹⁹³

« The method of investigating the structure of Coniferae by the characters displayed in the longitudinal sections, has been much vaunted in the second edition of the " Observations on Fossil Vegetables" as a new and important discovery. This method I had often employed, but I must say that it was Professor Lindley who first published the advantages resulting from it. There is another circumstance which I certainly should not have thought it worth while to notice, had it not found its way into several scientific works in this country and abroad, which is the prevalence of an opinion that my method of preparing thin slices of fossil wood for microscopic observations, is also the contrivance of Mr Witham. This opinion has chiefly arisen from the repeated assertions of the joint Editor of a work on Fossil Plants, in spite of what is stated by Mr Witham himself, who says in the first edition of the " Observations on Fossil Vegetables," viz. that he is indebted to me for the process. Not only my method of preparing thin slices, but that of examining the organic structure of fossil woods, by reducing them to thin translucent slices, has been ascribed by some unwise friends to Mr Witham, although that gentleman has no more claim to the latter than I have. It was first employed in this quarter by Mr Sanderson, the lapidary*.

The manner in which he (Mr Sanderson) prepared his sections was attended both with difficulty and uncertainty, and was inapplicable to the making of large sections of fragile fossils. He first ground a surface flat, and then with lapidary's cement fixed that surface to a block of wood. The fossil was afterwards ground down until it was thought thin enough. When that was done it was difficult to detach it from the block and remove the cement without breaking it; and whether too thick or too thin, it must remain as it was, it being impossible to alter it. When I first began to prepare such sections, I had recourse to a process I had practised upwards of fifteen years ago, in preparing thin slices of the most fragile substances, as calcareous spar, in order to examine their effects on polarised light. My process was simple and of easy execution, and consisted of cementing with duly concentrated Canada balsam, the flattened surface to a piece of plate glass, and then grinding down with emery on a plate of copper. The glass and cement being both transparent, I could, with certainty, determine when I had arrived at the proper degree of thinness, and, when that was attained, nothing more was requisite than to polish the surface. At Mr Witham's request, I wrote a full account of all the manipulations requisite in my method of preparing thin fossil sections, which is printed towards the end of that gentleman's work. »

* This mode of shewing the structure of fossil woods has been long known; and for years I have been in the practice of recommending it to the attention of geologists—Edit.

⁹⁹³ William NICOL, « Observations on the structure of recent and fossil conifers », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Volume 16, Octobre 1833-Avril 1834, 1834, p. 137-158 et planches.

« Observations sur la structure des conifères récents et fossilisés. »

« La méthode d'étude de la structure des conifères d'après les caractéristiques observées dans les sections longitudinales a été particulièrement encensée dans la seconde édition de l'ouvrage « Observation des végétaux fossiles », comme une nouvelle et importante découverte. J'ai moi-même souvent employé cette méthode, mais je dois préciser que c'est le Professeur Lindley qui a écrit en premier sur les avantages qu'elle confère. Je souhaiterais par ailleurs éclaircir un autre point, qui ne mériterait pas d'être mentionné, s'il n'avait pas été repris dans de nombreux traités scientifiques nationaux et étrangers. Il s'agit d'une erreur très répandue qui consiste à attribuer ma méthode de préparation des fines sections de bois fossiles pour l'observation microscopique, à Monsieur Witham. Cette idée est de toute évidence issue de la reprise par des tiers des commentaires du co-éditeur des travaux sur les végétaux fossiles, en dépit du fait que Mr Witham lui-même, dans la première édition de son « Observations des végétaux fossiles », fasse part de sa reconnaissance à mon égard pour la création de ce procédé. Par ailleurs, outre ma méthode de préparation de sections de bois fines, la technique permettant d'examiner les structures organiques des bois fossiles par leur réduction en de fines tranches translucides, a également été attribuée à Monsieur Witham par quelque ami peu judicieux. Et ce, bien que ce Monsieur n'y puisse pas plus prétendre que moi à la chose. En effet, ces techniques ont été décrites pour la première fois, dans ce trimestriel, par Mr Sanderson, le lapidaire*.

La façon dont il (Mr Sanderson) préparait ses sections, combinait incertitude et difficulté et était inapplicable à l'obtention de grandes sections de fossiles fragiles. Tout d'abord, il ponçait le fossile pour obtenir une surface plane, qu'il fixait sur un morceau de bois à l'aide de ciment lapidaire. Le fossile était ensuite poncé jusqu'à être considéré suffisamment fin. Lorsque ce travail était terminé, il était difficile de détacher le bois et d'enlever le ciment sans casser le fossile. De plus, si le fossile s'avérait trop épais ou trop fin rien ne pouvait être fait, toute altération était impossible. Lorsque j'ai commencé à préparer de telles sections, j'ai eu recours à un procédé que j'utilise depuis 15 ans, pour la préparation de fines sections des matériaux les plus fragiles, tels le spath calcaire, afin d'examiner leurs effets sur la lumière polarisée. Mon procédé est simple et facile d'exécution. Il s'agit d'appliquer du baume du Canada dûment concentré sur une surface préalablement poncée pour le coller sur un morceau de verre. Ensuite, il faut procéder au ponçage avec de l'émeri sur une feuille de cuivre. Le verre et le ciment étant tous deux transparents, je peux, avec certitude, déterminer quand j'arrive au bon degré d'épaisseur, et lorsqu'il est atteint, il ne reste plus qu'à polir la surface. A la demande de Mr Witham, j'ai écrit un compte rendu détaillé des manipulations nécessaires à l'utilisation de ma méthode de préparation de fines sections de fossiles, qui est publié à la fin de l'ouvrage de ce Monsieur. »

*Ce mode d'exposition de la structure des bois fossiles est depuis longtemps connu. Cela fait d'ailleurs des années que je m'évertue à attirer l'attention des géologues sur cette technique. - edit.

Annexe 4 : Traduction d'un extrait de l'article de Henry Clifton Sorby, « On the microscopical structure of crystals indicating the origin of minerals and rocks »⁹⁹⁴

« Although with a firstrate microscope, having an achromatic condenser, the structure of such crystals and sections of rocks and minerals as I have prepared for myself with very great care can be seen by good day-light as distinctly as if visible to the naked eye, still some geologists, only accustomed to examine large masses in the field, may perhaps be disposed to question the value of the facts I have described, and to

think the objects so minute as to be quite beneath their notice, and that all attempts at accurate calculations from such small data are quite inadmissible. What other science, however, has prospered by adopting such a creed 1 What physiologist would think of ignoring all the invaluable discoveries that have been made in his science with the microscope, merely because the objects are minute? What would become of astronomy if everything was stripped from it that could not be deduced by rough calculation from observations made without telescopes? With such striking examples before us, shall we physical geologists maintain that only rough and imperfect methods of research are applicable to our own science? Against such an opinion I certainly must protest; and I argue that there is no necessary connexion between the size of an object and the value of a fact, and that, though the objects I have described are minute, the conclusions to be derived from the facts are great.⁹⁹⁵ »

⁹⁹⁴ Henry Clifton SORBY, « On the microscopical structure of crystals indicating the origin of minerals and rocks », The Quarterly Journal of the Geological Society of London, Vol. 14, 1858, p. 500.

⁹⁹⁵ Henry Clifton Sorby, « On the microscopical structure of crystals indicating the origin of minerals and rocks », The Quarterly Journal of the Geological Society of London, Vol. 14, 1858, p. 500.

Extrait de « Au sujet de la structure microscopique des cristaux comme indicateur de l'origine des minéraux et des roches »

« Avec un excellent microscope, doté un condenseur achromatique, la structure des cristaux, sections de roches et minéraux que j'ai préparées pour moi-même avec le plus grand soin, peut être parfaitement observée à la lumière du jour, de façon aussi distincte que si elle était visible à l'œil nu. Cependant certains géologues, habitués uniquement aux examens de larges spécimens sur le terrain, pourraient être enclins à remettre en question la validité des faits que j'ai décrits, et considérer que des objets si petits qu'ils sont presque négligeables à leurs yeux et les tentatives de calculs précis basés sur de si petites sources, sont irrecevables. Mais quelle science a prospéré en adoptant un tel credo ? Quel physiologiste se passerait de toutes les indispensables découvertes que le microscope a permis de réaliser dans leur domaine, sous prétexte que cela concerne de trop petits objets ? Que deviendrait l'astronomie si on devait la dépouiller de tout ce qui ne peut pas être déduit des grossiers calculs issus des observations réalisées sans l'aide du télescope ? Et face à des exemples aussi parlants, comment nous autres, géologues physiques, pouvons soutenir que seules des méthodes de recherche grossières et imparfaites sont applicables à notre science ? Je ne peux que m'insurger contre de telles opinions. Et j'ajouterai qu'il n'existe aucun lien entre la taille d'un objet et la valeur d'un fait, et que par conséquent, même si les objets que je décris sont de petite taille, les conclusions qui découlent des faits observés n'en sont pas moins grandes. »

Annexe 5 : Un essai de mécanisation de la production de sections fines

D'après Alexander Bryson (1816-1866) les techniques manuelles de production des sections fines (voir Encart 24, p.195) sont dépassées. Il propose dans son article ⁹⁹⁶ une manière alternative de produire des sections fines grâce à une machine. Cette dernière est censée faciliter la préparation de section fine.

La construction de la machine s'inspire du procédé de mécanisation qu'il a observé chez Gavin Young, fabricant de sections fines à Edimbourg. Une « plaque à fendre ⁹⁹⁷ » utilisée afin de découper les tranches des spécimens, est fixée sur un tour classique qui lui transmet le mouvement nécessaire à la découpe. L'échantillon est amené par un bras, selon un plan parallèle jusqu'à la « plaque à fendre », l'ensemble est ajustable d'après l'auteur afin que la section produite soit très fine et parfaitement parallèle.

Comment est fixé l'échantillon sur le bras mobile ? Bryson répond à cette contrainte en utilisant alors un dispositif pneumatique, à l'extrémité duquel le vide se fait afin de plaquer l'échantillon et de le maintenir le plus solidement possible. Une fois que celui-ci est découpé, la « plaque à fendre » est détachée et remplacée par un tour en plomb plat et le bras contenant l'échantillon est renversé afin d'être poncé par celui-ci. Une fois cela terminé, l'étape du polissage commence.

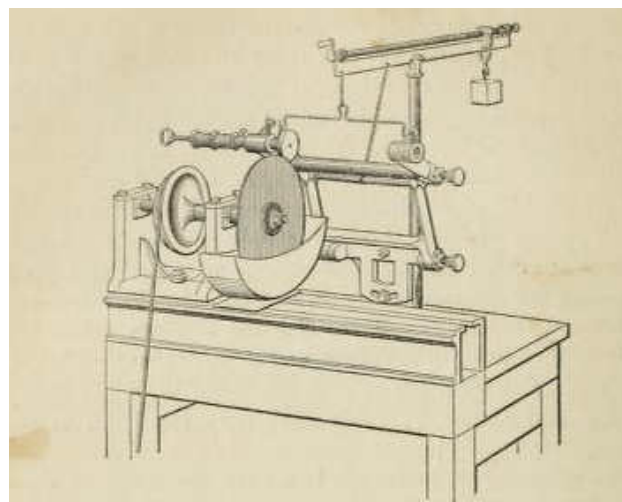


Figure 75 : Illustration de l'invention de Alexander Bryson⁹⁹⁸.

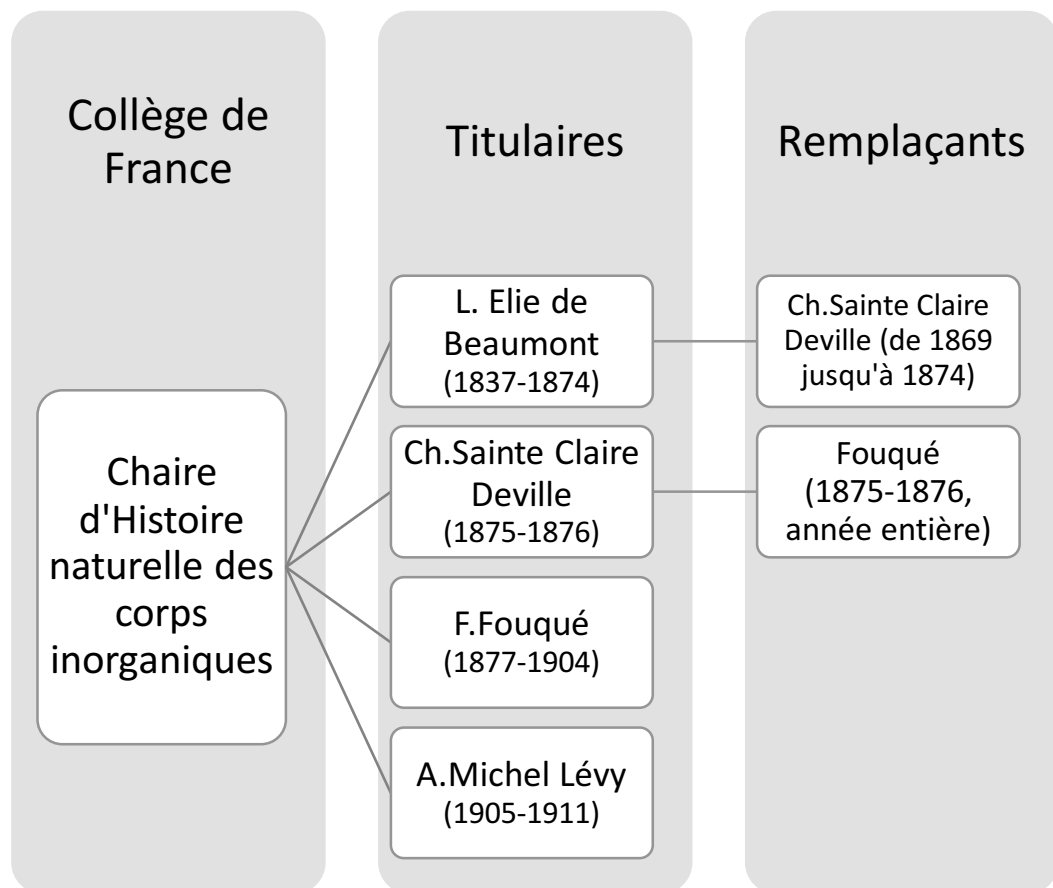
⁹⁹⁶ Alexander BRYSON, « On an improved method of preparing siliceous and other fossils for microscopic investigation, with a description of a new pneumatic chuck », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, série 2, Volume 3, 1856, p. 297-304.

⁹⁹⁷ Bryson parle de « slitting plate », qui ici a été traduit en plaque à fendre. L'auteur ne précise pas son origine, ni le matériau dont elle est constituée.

⁹⁹⁸ Extrait de Alexander BRYSON, « On an improved method of preparing siliceous and other fossils for microscopic investigation, with a description of a new pneumatic chuck », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, série 2, Volume 3, 1856, p. 304.

Annexe 6 : Ferdinand Fouqué au Collège de France

Arrêtés de nominations



Intitulés des cours professés à la chaire d'Histoire naturelle des corps inorganiques par F. Fouqué

Années	Intitulés du cours.
1874	Nommé préparateur de la chaire.
1875-1876	Remplaçant de Charles Sainte Claire Deville. : L'étude microscopique de roches.
1877	Professeur titulaire.
1877	La détermination des minéraux microscopiques.
1877-1878	Exposé et discussion de faits consignés dans la nouvelle pétrographie de Rosenbusch.
1878-1879	Les reproductions artificielles des minéraux et des roches cristallines.
1879-1880	Les reproductions artificielles des minéraux et des roches cristallines.
1880-1881	Les roches volcaniques au point de vue de leur âge.
1881-1882	Les roches volcaniques au point de vue de leur âge.
1882-1883	Les roches volcaniques au point de vue de leur âge.
1883-1884	Les roches volcaniques au point de vue de leur âge.
1884-1885	Les roches volcaniques au point de vue de leur âge.
1885-1886	Examen critique de l'ouvrage de Suess, Das Antlitz der Erde.
1886-1887	Les tremblements de terre.
1887-1888	Etat actuel des études pétrographiques.
1888-1889	Etat actuel des études pétrographiques.
1889-1890	Examen des principaux types de roches microlithiques.
1890-1891	Commentaires de la British petrography de Harris Teall

1891-1892	Exposition et commentaire de l'ouvrage de Richthofen sur la Géologie de la Chine.
1892-1893	Exposé et commentaire des principaux ouvrages récents américains.
1893-1894	Méthode nouvelle de détermination spécifique des feldspaths dans les roches.
1894-1895	Méthode nouvelle de détermination spécifique des feldspaths dans les roches.
1895-1896	Les volcans paléozoïques.
1896-1897	Les volcans paléozoïques.
1897-1898	Analyses et commentaires des principaux mémoires de Brögger.
1898-1899	Les Doctrines pétrogéniques nouvelles.
1899-1900	Les « Eléments de Pétrographie » du Pr Rosenbusch.
1900-1901	Examen des nouveaux types pétrographiques décrits dans la dernière période décennale.
1901-1902	Exposé et discussion de la théorie de la différenciation des magmas silicatés fondus.
1902-1903	Etude des volcans de l'Amérique centrale.
1903-1904	Etude des types pétrographiques nouveaux et discussion de théorie qui s'y rattachent.

Notices biographiques

Otto Hermann Wilhelm Von Abich (1806-1886)

Fils d'un employé du département des mines, son intérêt pour les sciences naturelles lui vient de son père. Il entre à la faculté de loi de l'Université de Heidelberg mais change rapidement en faveur du département de physique et mathématiques de l'Université de Berlin. Il obtient son diplôme en 1831. Ses professeurs sont notamment Hegel, Humboldt et Von Buch. Sous les conseils de ce dernier, Abich voyage en Italie et s'intéresse particulièrement aux volcans. Il déménage en Russie en 1843 et 10 ans plus tard en 1853, il devient membre de l'Académie des sciences de Saint-Petersbourg.

Samuel Allport (1816-1897)

Né à Birmingham, il a été éduqué à la King Edward's School de la ville. Il travaille pendant quelques années dans le privé, notamment pour l'entreprise des Frères Rabone. A la suite d'un voyage en Amérique du Sud, il revient en Angleterre et partage son temps entre activités savantes et la gestion d'une entreprise à Snow Hill. Allport publie en 1860 dans le *The Quarterly Journal of The Geological Society* un article sur sa découverte de restes fossiles à Bahia. Il utilise également la méthode d'observation des roches de Sorby et prépare lui-même ses sections fines. Il constitue une collection remarquable qu'il vend en 1880 au *British Museum*. Il finit sa carrière, en raison de problème financier, en tant bibliothécaire au *Mason College*.

Giovani Battista Amici (1786-1863)

Amici obtient en 1808 un diplôme d'ingénieur en architecture à l'Université de Bologne. Entre 1811 et 1825, il est professeur de mathématique au lycée puis à l'Université de Modène. Il fabrique également des microscopes et contribue à l'amélioration des microscopes achromatiques. Amici travaille aussi sur d'autres instruments optiques tels que les télescopes, les micromètres et la camera lucida. Il introduit par exemple la technique d'immersion dans l'eau en 1847 et dans différents types d'huile à partir de 1855. Entre 1857 et 1860, il a inventé un prisme de vision directe, éponyme. Ce prisme continue d'être utilisé dans la spectroscopie. Amici pour vérifier la qualité de ces instruments effectue également des observations astronomiques et naturalistes. Il participe également, en qualité de fabricant à l'Exposition Universelle de Paris de 1855.

James Apjohn (1795-1886)

Apjohn entre au *Trinity College* de Dublin en 1815 et obtient son M.D. en 1837. Entre 1830 et 1850, il devient correspondant au *Trinity College*, au sein duquel il enseigne la chimie appliquée entre 1844 et 1881. Apjohn est très orienté vers la chimie et la physique Il est également professeur de Géologie à partir de 1841. Apjohn devient correspondant de la *Royal*

Society en 1855 et vice-président de la *Royal Irish Academy* en 1845. Il écrit notamment un ouvrage qui s'intitule *Manuel of Metalloids*.

François Arago (1786-1853)

Arago entre en 1803 à l'Ecole Polytechnique en travaillant notamment les travaux de Euler, Lagrange et Laplace. Deux ans plus tard, il est nommé secrétaire du Bureau des longitudes et part avec Biot en expédition en Espagne. A son retour en 1809, Arago rejoint la Société d'Arcueil. La même année, il est nommé à la suite de Monge, professeur de géométrie descriptive à l'Ecole Polytechnique. Il devient également le directeur de l'Observatoire de Paris et donne des cours d'astronomie entre 1813 et 1846. Arago est élu secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences en 1830.

Jean François d'Aubuisson de Voisins (1769-1841)

D'Aubuisson de Voisin est élève à l'Ecole royale et militaire de Sorèze jusqu'en 1786. Il intègre l'armée de Condé et devient officier d'artillerie. Il suit notamment, lors d'un séjour en Allemagne (entre 1797 et 1802), les cours de Werner à Freiberg. Il parcourt également la Saxe et donne des leçons de géologie durant cette période. D'Aubuisson de Voisin rentre en France en 1805. Il est nommé conservateur des collections de l'Ecole des mines et en l'absence d'élève en 1807, il est nommé directement Ingénieur des mines à Toulouse. D'Aubuisson de Voisin publie régulièrement dans le journal de l'Ecole. Il publie en 1819 *Traité de Géognosie* en deux volumes. Il publie également divers mémoires géologiques et il est membre et secrétaire perpétuel de l'Académie de sciences de Toulouse. Il publie un *Traité d'Hydraulique* en 1834.

Jacques Babinet (1794-1872)

Babinet est envoyé par son père à Paris en 1811 pour préparer le concours d'entrée à Polytechnique. Il est ensuite envoyé en 1813 à l'Ecole d'application de Metz et défend la ville en 1814. Babinet est nommé en 1816 régent de mathématiques au Lycée de Fontenay-le Comte et publie des articles dans les *Annales de Physique et de chimie*. Il est nommé professeur de physique au lycée de Poitier après avoir obtenu son examen de bachelier es lettres en 1817. Trois ans plus tard, Babinet enseigne au Collège royal Saint Louis, nouvellement fondé. Il épouse la fille de Laugier (professeur de Chimie générale au *Muséum d'histoire naturelle*) et se met à rencontrer et côtoyer les physiciens parisiens de l'époque. En 1831, il entre dans le corps enseignant de l'Ecole Polytechnique en tant qu'examineur des élèves. Babinet intègre l'*Académie des sciences* en 1840. Il a publié de nombreux travaux en optique et sur les phénomènes météorologiques. Il supplée notamment Ampère au Collège de France en 1832. Il est aussi nommé astronome-adjoint au bureau des Longitudes en 1854 et entretient entre 1829 et 1869 une correspondance assidue avec John Herschel.

Erasmus Bertelsen dit Bartholin (1625-1698)

Fils d'un anatomiste et théologien de l'Université de Copenhague, Bartholin débute des études de médecine en 1644. Il effectue un voyage dans toute l'Europe en 1646 grâce auquel il établit des contacts avec de nombreux savants. Bartholin passe par l'Université de Leyde, où il rencontre notamment Christiaan Huygens. Gradué en médecine à l'Université de Padoue en

1654, il revient à l'Université de Copenhague comme professeur de mathématiques en 1656. Il obtient une chaire extraordinaire de médecine en 1657 et une chaire ordinaire dans le même domaine en 1671. Il devient en 1680 le doyen de la Faculté de médecine de la ville. Bartholin travaille dans de nombreux domaines tels que les mathématiques, l'astronomie et la physique et publie de nombreux ouvrages.

Alexandre Edouard Baudrimont (1806-1880)

Baudrimont effectue à Paris des études de médecine et de pharmacie. Il obtient en 1831 un diplôme de médecine et trois ans plus tard en pharmacie. Il exerce la médecine à Valenciennes tout en essayant d'obtenir un poste à Paris. En 1847, Baudrimont devient assistant de la chaire de chimie organique de l'Université de Bordeaux dont il devient titulaire en 1849. Il occupe ce poste jusqu'en 1878. Hors de son travail en chimie, Baudrimont publie également des ouvrages sur l'histoire des basques et leur langue.

Antoine-César Becquerel (1788-1878)

Antoine entre à l'Ecole Polytechnique en 1806. En 1813, il est nommé sous inspecteur de l'Ecole Polytechnique et en 1829 il entre à l'Académie des sciences. Il obtient la médaille Copley de la *Royal Society of London* en 1837. Un an plus tard, il est le premier occupant de la chaire de physique du Muséum d'Histoire Naturelle. Il étudie notamment avec Brongniart l'électricité des minéraux. Il publie *Traité expérimental de l'électricité et du magnétisme et de leur rapport avec les phénomènes naturels*, en 7 volumes entre 1834 et 1840.

Alexandre Edmond Becquerel (1820-1891)

Edmond est le second fils d'Antoine Becquerel. Il est admis à l'Ecole polytechnique à 18 ans, ainsi qu'à l'Ecole Normale Supérieure. Il n'entre dans aucune des deux institutions et devient l'assistant de son père au Muséum d'Histoire Naturelle. Edmond obtient le grade de docteur en Science de l'Université de Paris en 1840 où il est assistant. Il obtient également en 1852 la chaire de physique au Conservatoire des Arts et métiers. Entre 1860 et 1863, il enseigne la chimie à la Société chimique de Paris. En 1878, il devient directeur du Muséum d'Histoire Naturelle. Le savant est élu à l'Académie des sciences en 1863. Edmond publie notamment *Traité d'électricité et de magnétisme, leurs applications aux sciences physiques, aux arts et à l'industrie*, en 3 volumes entre 1855-56.

Pierre Eugène Marcelin Berthelot (1827-1907)

Berthelot obtient son baccalauréat en 1846 et reçoit la même année le prix d'honneur en philosophie et le premier prix d'histoire naturelle du Concours général. Il passe le baccalauréat en science deux ans plus tard. Berthelot s'inscrit en Faculté de médecine et prépare en parallèle une licence ès science, qu'il obtient en 1850. Il entre au Collège de France en 1851 comme préparateur d'Antoine Joseph Balard. Berthelot soutient sa thèse en 1854 et en 1859, il obtient la chaire de chimie organique de l'Ecole de pharmacie. Il est chargé de cours au Collège de France en 1863 et professeur en 1864. Il est élu en 1873 à l'*Académie des sciences*. Il est ensuite nommé secrétaire perpétuel de l'*Académie des sciences* en 1889.

Jöns Jacob Berzelius (1779-1848)

Berzelius étudie la médecine à l'Université d'Uppsala entre 1796 et 1802. Il devient ensuite professeur de médecine et pharmacie au Karolinska Institutet entre 1807 et 1832. En 1808, il devient membre de l'Académie Royale suédoise et dix ans plus tard il est nommé secrétaire perpétuel. Son usage de l'analyse chimique lui permet de découvrir de nouveaux éléments, comme par exemple le cérium en 1803. Il effectue de nombreux voyages en Europe et visite notamment en 1812 à Londres Davy et Wollaston et à Paris en 1818-19 Berthollet et Gay-Lussac. Berzelius publie par exemple un *Traité de chimie minérale, végétale et animale*, en nombreux volumes entre 1808 et 1830. Il va également publier de 1822 jusqu'à sa mort le *Compte rendu annuel des progrès de la chimie et la minéralogie*.

François Sulpice Beudant (1787-1850)

Beudant est très influencé par son tuteur François Pierre Nicolas Gillet de Laumont (1747- ?) qui possède un attrait très important pour la minéralogie. Beudant suit les cours de Haüy à l'École impériale des Mines. Il devient professeur de mathématiques au lycée d'Avignon, puis Marseille. Il publie en 1818 un *Traité de minéralogie*. La même année, il effectue un voyage minéralogique en Hongrie, dont un ouvrage est publié en 1822 qui s'intitule *Voyage minéralogique en Hongrie*. Entre 1822 et 1839, Beudant succède à Haüy à la Sorbonne et en 1839 il est nommé inspecteur général des études. Il est élu membre de l'*Académie des sciences* en 1824.

Jean-Baptiste Biot (1774-1862)

Biot quitte le Collège Louis le Grand à Paris en 1791 pour prendre des cours privés de mathématiques. Il entre à l'École des Ponts et Chaussées trois ans plus tard. Après la fondation de l'École Polytechnique, il y est transféré. Il devient professeur de l'École centrale de Beauvais et à partir de 1799 examinateur au concours d'entrée de l'École Polytechnique. Un an plus tard, Biot est nommé professeur de physique mathématique au Collège de France. En 1803, il est élu membre de la section mathématique de l'Académie des sciences. Il est également professeur d'astronomie à la Faculté des sciences de Paris à partir de 1808, dont il devient le doyen entre 1840 et 1848.

Gustave Marie Bleicher (1838-1901)

Bleicher, en tant qu'élève militaire, sort diplômé de médecine et de pharmacie à la Faculté de médecine de Strasbourg en 1862. Il devient ensuite répétiteur à l'École impériale du service de santé militaire dans cette même ville. Bleicher soutient sa thèse de doctorat ès sciences naturelles à Montpellier en 1870. Par l'intermédiaire de ses différents déplacements, Bleicher se met à étudier les terrains qu'il traverse. En 1876, il quitte l'armée et est nommé professeur d'histoire naturelle à l'École Supérieure de pharmacie de Nancy. Il en devient le directeur en 1900. Bleicher est membre de la *Société Géologique de France* de 1864-1897 ainsi que membre de différentes académies, comme l'Académie des sciences de Lorraine dont il a été président. Il est correspondant l'Académie nationale de médecine à partir de 1895.

Ami Boué (1794-1881)

Boué étudie la médecine à Edimbourg et il y suit les cours de géologie et de minéralogie de Robert Jameson. Il voyage dans le pays et en étudie la géologie. Il soutient sa thèse en 1817 et s'installe à Paris. Boué publie en 1820 *Essai géologique sur l'Ecosse*. Il voyage également à travers l'Europe (Italie, Croatie, Hongrie ou encore Allemagne) et publie en 1829 un livre sur la constitution géognostique de l'Allemagne. Boué participe à la fondation de la *Société Géologique de France* en 1830, il la préside d'ailleurs en 1835. Boué étudie, en outre, la région des Balkans pendant deux ans à partir de 1836 et publie ses conclusions dans un ouvrage en quatre volumes *La Turquie d'Europe*. En 1841, il s'installe à Vienne et prend la nationalité autrichienne. Il publie de nombreux articles à l'Académie impériale des sciences de Vienne. Il reçoit la médaille Wollaston en 1847. Une médaille à son effigie est créée par la *Société géologie de France* en son honneur.

David Brewster (1781-1868)

Brewster entre à l'université d'Edimbourg en 1794 et obtient une licence en 1804. En même temps, il travaille avec James Veitch sur différents instruments tels que les microscopes ou bien encore les télescopes. Sous les conseils de Henry Brougham, Brewster commence ses recherches expérimentales sur la lumière à partir de 1798. Son intérêt pour les instruments reste important, puisqu'il publie en 1813 *A treatise on new philosophical instruments*. Il fonde d'ailleurs avec Robert Jameson *The Edinburgh Philosophical Journal* en 1819 et bien d'autres journaux scientifiques entre 1802 et 1830 afin de promouvoir l'éducation des sciences. Brewster contribue à la création de nombreuses sociétés savantes, telles que la *Edinburgh School of Art* en 1821 et la *British Association for advancement of science* en 1831. Il appartient également à la *Royal Society of Edinburgh* en 1808 et il est membre étranger associé de l'Institut de France en 1848. C'est un savant dont les travaux sur la lumière sont considérables, tout comme la caractérisation de certaines propriétés optiques des minéraux.

Adolphe Brongniart (1801-1876)

Brongniart est le fils du naturaliste Alexandre Brongniart. Il fait des études en médecine et participe à la fondation des *Annales des sciences naturelles* avec Jean Victoire Audouin et Jean Baptiste Dumas. Il obtient son doctorat en médecine en 1826 et publie la même année un mémoire sur le développement de l'embryon végétal. Brongniart obtient en 1833 la chaire de botanique que *Muséum National d'Histoire Naturelle* et en 1857, cette chaire est transformée en chaire de botanique et physiologie végétale. Brongniart est élu membre de l'*Académie des sciences* en 1834. En 1841 il reçoit la médaille Wollaston et devient le président de l'*Académie des sciences* en 1847. Il est l'un des membres fondateurs de la *Société botanique de France* en 1854 qu'il préside en 1861. Brongniart publie notamment *Sur la classification et la distribution des végétaux fossiles* en 1822 ainsi que *Prodrome d'une histoire des végétaux fossiles* en 1828.

Alexandre Brongniart. (1770-1847)

Brongniart, en 1788, participe à la fondation de la *Société philomathique de Paris*. Il effectue en 1790 un voyage minéralogique en Angleterre et s'intéresse également aux techniques

développées dans le pays. A son retour, il est attaché au Jardin des Plantes comme préparateur de chimie. Brongniart est nommé ingénieur des Mines en 1794 et devient trois ans plus tard professeur d'histoire naturelle à l'Ecole Centrale des Quatre-Nations. Il est nommé en 1800 grâce à Claude Berthollet, directeur de la Manufacture de porcelaine de Sèvres de 1800 à 1847). Brongniart obtient le diplôme de docteur ès science en 1809 et devient membre de l'*Académie des sciences* en 1815. Il est nommé professeur de minéralogie au Muséum d'Histoire Naturelle de Paris en 1822. En outre, Brongniart est membre d'autres sociétés savantes, comme les sociétés royales de Londres, Stockholm, Naples. Brongniart publie en 1807 son *Traité élémentaire de minéralogie*, mais également en collaboration avec G. Cuvier *Description géologique des environs de Paris*.

Alexander Bryson (1816-1866)

Bryson est le fils d'un fabricant de montre qui entre après sa scolarité en apprentissage afin de reprendre l'entreprise familiale. Il est membre de plusieurs sociétés savantes, dont la *Botanical Society of Edinburg* et la *Edinburg Geological Society*. Bryson est élu à la *Royal Society of Edinburgh* en 1858. Alexander est nommé président de la *Royal Scottish Society of Arts* pour l'année 1860-61. Il est également président de la *Royal Physical Society of Edinburgh* en 1863. Il publie par exemple en 1856 *On a improved method of preparing siliceous and other fossils for microscopic investigation*.

Mathieu Jean Joseph Vincent Cacarié (1816- ?)

Cacarié entre à l'Ecole Polytechnique (promotion 1835) puis à l'Ecole des Mines de Paris. Il est chargé de la carte géologique des Deux-Sèvres en 1840. Cacarié est promu ingénieur ordinaire en 1844. Trois ans plus tard, il est chargé du sous arrondissement de Montpellier et de Carcassonne ainsi que du contrôle de l'exploitation du chemin de fer qui relie Montpellier à Nîmes. Cacarié est nommé directeur de l'Ecole des mines de Saint Etienne de 1868 à 1873. En 1873, Cacarié dirige le contrôle des chemins de Fer de l'Ouest et un an plus tard ceux de Paris à Lyon et à la Méditerranée.

Lucien Cayeux (1864-1944)

Cayeux est issu d'une famille d'agriculteurs et entre l'Ecole Normale d'instituteurs de Douai. Il prépare ensuite une licence ès sciences à la faculté des sciences de Lille. Il devient préparateur de Jules Grosselet puis il est recruté à l'Ecole des Mines de Paris en 1891 en tant que préparateur de la Collection de géologie. Il présente sa thèse à Lille et obtient son diplôme de docteur ès science en 1897. Il devient en 1902 chef de travaux de géologie à l'Ecole des Mines ainsi que professeur de géologie appliquée à l'agriculture à l'Institut National Agronomique. En 1904, il est nommé professeur-suppléant de Marcel Bertrand et lui succède à la chaire de géologie de l'Ecole des mines en 1907. Il est également professeur au Collège de France en 1912 sur la nouvelle chaire de Géologie. Cayeux publie notamment *Introduction à l'Etude pétrographique des roches sédimentaires*. Il est élu membre de l'*Académie des sciences* en 1928.

Henri Coquand (1813-1881)

Coquand devient docteur ès science en 1841. Il est nommé en tant professeur de géologie dans les universités de Besançon, Poitiers et Marseille. Coquand participe à la fondation du Muséum d'Histoire Naturelle d'Aix-en-Provence. Il effectue également des missions scientifiques en Espagne, en Algérie et au Maroc. Coquand occupe aussi une fonction de conseiller municipal de Marseille entre 1871 et 1881. Il publie de nombreuses descriptions géologiques du Var, de la Charente et en 1856, Coquand publie *Traité des roches*.

Pierre Louis-Antoine Cordier (1777-1861)

Après des études classiques, Cordier est reçu au concours en janvier 1795 et devient élève à l'Ecole des Mines de Paris. Les années suivantes, il voyage très régulièrement et explore de nombreuses régions françaises. En 1797, il devient ingénieur surnuméraire et accompagne Déodat Dolomieu dans les Alpes, puis en Egypte. Cordier est libéré au bout de deux mois d'incarcération et repart en France pour continuer ces études. Il participe notamment en 1800 aux illustrations des planches l'ouvrage de cristallographie de l'abbé Haüy. C'est en juin 1801 qu'il est nommé ingénieur des Mines. Cordier est nommé en 1832 inspecteur général pour le sud-ouest de la France et continue tout au long de sa carrière de faire de nombreux voyages géologiques, en France, mais aussi à l'étranger. Nommé correspondant de l'Institut en 1808, il occupe la chaire de géologie au *Muséum d'Histoire naturelle* en 1819. Quelques années plus tard, il occupera les postes de secrétaire, puis de directeur à de nombreuses reprises. En 1821, élu membre étranger de la *Société géologique de Londres*, il est nommé à la section de minéralogie de l'*Académie des sciences* le 8 juillet 1822, à la place de Haüy. Cordier est également l'un des fondateurs de la *Société géologique de France* et son premier président élu en 1830. En disciple de Haüy, il est fortement intéressé par la minéralogie et refuse de la voir être réduite à la chimie minérale. Par ailleurs, Cordier s'intéresse aussi à la géologie générale, particulièrement à la composition et classification des roches, ainsi que la chaleur centrale du globe terrestre. Ces nombreuses expéditions sur le terrain sont aussi pour lui l'occasion d'exposer des travaux sur la géologie locale et d'apporter des descriptions précises de certaines formations géologiques.

Carl Hermann Credner (1841-1913)

Credner fait ses études à Breslau et Gottingen et obtient son doctorat à Breslau en 1864. Entre 1864 et 1868, il effectue un voyage géologique en Amérique du nord et en Amérique centrale dont les observations sont publiées dans les journaux *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft* et *Neues Jahrbuch für Mineralogie*. Il est ensuite nommé professeur de géologie à l'Université de Leipzig. Deux ans plus tard en 1870, il devient le directeur de la Geological Survey de Saxe. Il publie *Element der Geologie* en 1872 en deux volumes, qui sont réédités régulièrement depuis.

Alexis Damour (1808-1902)

Damour effectue ses études au collège de Juilly en Seine et Marne. Il entre au ministère des Affaires étrangères et il est titularisé au service du chiffre en 1829. En 1853, alors sous-directeur, il décide de prendre sa retraite et se consacre à sa passion, la minéralogie. Damour a notamment

suivi les cours d'Alexandre Brongniart au Muséum d'Histoire Naturelle. Il étudie les minéraux qu'il collectionne et en fait de nombreuses analyses chimiques. Il collabore d'ailleurs régulièrement avec Alfred Des Cloizeaux. Damour est membre libre de l'*Académie des sciences* en 1878 et président de la *Société géologique de France* en 1857.

Louis Jean-Marie Daubenton (1716-1799)

Né dans la même ville que Buffon, Daubenton et ce dernier se lient d'amitié. Il fait ses études de médecine et d'anatomie et obtient son diplôme en 1791. Daubenton obtient une place de garde et démonstrateur au Cabinet d'histoire naturelle en 1745. Il y travaille pendant près de 50ans. Il écrit de nombreux articles d'histoire naturelle dans l'*Encyclopédie*. Louis devient professeur d'histoire naturelle au Collège de France en 1778, puis dix ans plus tard, il est nommé professeur de minéralogie au Muséum d'Histoire Naturelle. Daubenton publie en 1784 *Tableau méthodique des minéraux*. Il est élu membre de la Royal Society en 1755 et membre de la section anatomie et zoologie de l'*Académie des sciences* en 1795.

Gabriel Auguste Daubrée (1814-1896)

Daubrée sort diplômé de l'Ecole Polytechnique en 1832 et devient Ingénieur des mines en 1834. Il est ensuite assigné à la direction des mines du Haut Rhin en 1838. Daubrée est nommé professeur de minéralogie et de géologie à la Faculté des sciences de Strasbourg. Il est ensuite titulaire de la chaire de géologie du Muséum d'histoire naturelle de Paris en 1861. Il effectue des travaux sur la géologie du Bas-Rhin et les gisements de métaux qui y sont présent. Daubrée enseigne à l'Ecole des Mines de Paris à partir de 1862 et il en est le directeur entre 1872 et 1884. Daubrée obtient la médaille Wollaston en 1880 de la *Geological Society of London*, il est aussi nommé membre étranger de la *Royal Society* en 1881.

Humphry Davy (1778-1829)

Davy entre en apprentissage en 1795 chez Bingham Borlase, un chirurgien apothicaire, pour ensuite devenir surintendant de la *Thomas Beddoes' Pneumatic Institution* à Clifton en 1798. Il étudie la chimie à partir du traité de William Nicholson et d'Antoine Lavoisier. Ses premières recherches concernent le rôle de la lumière. Davy gagne en 1805 la médaille Copley pour certains de ces articles. Il est élu membre de la *Royal Society of London* en 1803 et président de celle-ci entre 1820 et 1827, il est également membre de la *Royal Society of Edinburgh* en 1808. C'est aussi un correspondant étranger de nombreuses autres sociétés savantes au-delà de l'Angleterre et il entretient des contacts également avec des savants du continent. Après quelques conférences sur l'agriculture chimique, Davy s'oriente à nouveau vers l'électrochimie. Après sa première attaque, il développe un intérêt pour la géologie et promeut le développement de la *Geological Society*.

François René André Dubuisson (1793-1836)

Dubuisson ouvre un cabinet d'histoire naturelle à Nantes. Il réunit ses collections personnelles et celles qu'il obtient d'autres collectionneurs. Il initie la mise en place du Muséum d'Histoire Naturelle de Nantes qui voit le jour en 1810. Il publie aussi un traité *Essai d'une méthode géologique, ou Traité abrégé des roches*, sur les roches.

Félix Dujardin (1801-1860)

Dujardin vient d'une famille de fabricant de montre lilloise. Il échoue à l'entrée de l'Ecole Polytechnique mais continue à s'intéresser aux sciences. En 1826, il enseigne la géométrie à Tours. Près de trois ans plus tard, il s'occupe de l'enseignement de la chimie et peut monter un laboratoire. Dujardin effectue des recherches en optique et en cristallographie notamment. Par la suite, il se spécialise, sous les conseils de Dutrochet en zoologie. Il obtient en 1839 la chaire de géologie et de minéralogie de la Faculté des sciences de Toulouse. Un an plus tard, Dujardin est sollicité pour être professeur de zoologie, de botanique ainsi que le doyen de la nouvelle Faculté des sciences de Rennes.

André Delebecque (1861- 1947)

Delebecque obtient à 17 ans son baccalauréat ès sciences et ès lettres au Lycée Condorcet. Il sort major de promotion en 1881 de l'Ecole Polytechnique et poursuit à l'Ecole des Ponts et Chaussées pendant deux ans. Delebecque voyage plusieurs années en Russie et en Scandinavie grâce à l'argent familial. Il est nommé Ingénieur des Ponts et Chaussées à la pisciculture de Thonon-les-Bains en 1887. Sous l'impulsion de Louis Duparc, en 1888 il reprend ses études universitaires à Genève en physique, chimie et géologie dans le but d'étudier les lacs. Delebecque travaille également avec Joseph Vallot sur la glaciologie. Il est chargé par le ministère en 1892 d'étudier la catastrophe de Saint Gervais. En cause, une poche d'eau interglaciaire qui déclenche une coulée de boue tuant 175 personnes. A la suite, il étudie de nombreuses régions karstiques avec Edouard Martel. Il part pour Paris en 1912 et devient helléniste.

Achille Delesse (1817-1881)

Delesse est admis à l'Ecole Polytechnique en 1837, puis devient par la suite élève ingénieur à l'Ecole des Mines. Il a comme mission de classer les collections de la carte géologique. En 1844, il obtient son doctorat ès science. Delesse est alors chargé de cours à la Faculté des sciences de Besançon et se consacre à l'étude des roches. Il étudie notamment en 1847 les porphyres des Vosges. En 1858, il construit une classification des roches en roches ignées ou volcaniques, mixtes et plutoniques. Delesse est chargé de l'inspection des carrières de la Seine et établie des cartes géologiques de Paris, de la Seine et de la Seine et Marne. Il publie également en 1872 *Lithologie du fond des mers*. Delesse est également maître de conférences à L'Ecole Normale supérieure. Delesse est élu président en 1862 de la *Société Géologique de France* et élu membre de l'*Académie des sciences* en 1879.

Paul Gervais de Rouville (1823-1907)

De Rouville suit les enseignements de Marcel de Serres à la faculté des sciences de Montpellier et y prépare une thèse qu'il obtient en 1853. Il lui succède à la chaire de géologie en 1864. Il devient le doyen de la Faculté des sciences entre 1879 et 1891. Il produit de nombreuses cartes géologiques de la région, comme par exemple en 1876, *Esquisse d'une Carte Géologique de l'Hérault*, ainsi qu'un travail sur la géologie de l'Hérault en 1896, *L'Hérault géologique en trois volumes*.

Alfred Louis Olivier Legrand Des Cloizeaux (1817-1897)

Des Cloizeaux obtient son baccalauréat ès lettres en 1835. Il poursuit des études à Paris au lycée Charlemagne où il suit en 1836 les cours de mathématiques spéciales. Il assiste également aux cours de Dufrénoy à l'École des Mines ainsi que ceux de Brongniart au Muséum. Des Cloizeaux travaille au sein du laboratoire de Biot au Collège de France. Il est missionné en Islande en 1845. En 1857, il obtient son doctorat ès sciences physiques. Des Cloizeaux voyage également dans le Tyrol avec Marignac en 1848. Il devient répétiteur à l'École centrale en 1843. Des Cloizeaux est ensuite membre du jury pour les chaires de chimie, physique, minéralogie et géologie appliquées dans les Ecoles régionales d'agriculture en 1850. Il est nommé maître de conférences à l'École Normale Supérieure en 1857. Des Cloizeaux est le suppléant de Delafosse à la Sorbonne entre 1873 et 1876. Il lui succède comme titulaire au Muséum à la chaire de minéralogie et il quitte son poste en 1893. En 1869, il est élu à l'Académie des sciences. En 1889, il est président de l'Académie et de l'Institut. Des Cloizeaux obtient également la médaille Rumford en 1870 de la *Royal Society of London* et en 1886 la médaille Wollaston de la *Société géologique de Londres*.

Heinrich Wilhelm Dove (1803-1879)

Dove étudie à l'Université de Breslau à partir de 1821 et présente une thèse en 1826 à l'Université de Königsberg. Il devient professeur à l'Université de Berlin en 1844. C'est un physicien expérimental qui travaille notamment sur le magnétisme la polarisation ou encore sur les propriétés optiques des roches cristallines. Dove est élu trois fois vice chancelier de l'Université de Berlin et reçoit en 1853 la médaille Copley de la *Royal Society of London*.

Ours-Pierre-Armand Dufrénoy (1792-1857)

Dufrénoy fait ses classes au lycée de Rouen, puis à Louis-le-Grand à Paris. Il entre en 1811 à Polytechniques puis en 1813 à l'*École des Mines*, localisée en Savoie à cette époque. Trois ans plus tard, il revient à Paris. En 1818, il est nommé ingénieur des mines et se trouve à la tête des collections de l'École. Il est alors sélectionné par Brochant de Villiers avec Elie de Beaumont pour préparer la carte géologique de France. Dufrénoy part ainsi en 1822 en Angleterre, rencontrer Greenough le directeur de la carte géologique anglaise, ceci afin d'apprendre de lui ses techniques. Entre 1827 et 1835 il est l'assistant du professeur de minéralogie à l'*École des Mines* et de 1835 à 48, il est professeur. En 1840, il devient membre de l'*Académie des sciences* et trois ans plus tard avec Elie de Beaumont, ils obtiennent la médaille Wollaston de la *Société géologique de Londres*. Dufrénoy entre au conseil des mines en 1846 et un an plus tard, il devient professeur de minéralogie au Muséum d'Histoire Naturelle.

Louis Duparc (1866-1932)

Duparc est diplômé docteur ès sciences physiques en 1887 à l'Université de Genève. Il voyage à Paris et entre en contact avec Fouqué et Michel-Lévy. Duparc est chargé de cours de minéralogie en 1888. Il est nommé professeur extraordinaire en 1889. Il est aussi nommé professeur ordinaire de minéralogie et de pétrographie, suppléant pour la géologie en 1892 à l'Université de Genève. Il devient professeur ordinaire de géologie et de paléontologie en 1895.

Puis en 1900, il est professeur ordinaire de chimie analytique et directeur des laboratoires d'analyse, toujours à l'Université de Genève. Il collabore en qualité d'auxiliaire au service de la Carte géologique de France. Il effectue de nombreux travaux en pétrographie microscopique.

Jean Baptiste Armand Louis Léonce Elie de Beaumont (1798-1874)

Elie de Beaumont sort de l'École Polytechnique en 1817 pour ensuite intégrer l'École des Mines de Paris en 1819. Dès 1822, il est choisi par Brochant de Villier avec Dufrénoy pour dresser la carte géologique de France. Elie de Beaumont voyage aussi en Angleterre et à partir de 1825 jusqu'en 1836 s'attèle au projet. En 1827, il remplace Brochant de Villier à la chaire de géologie de l'École des mines et il en devient le titulaire à partir de 1835. Dès 1860, il est suppléé par de Chancourtois. En 1840, la carte est publiée avec un texte *Explication de la carte géologique*. Elie de Beaumont publie en parallèle de nombreux mémoires géologiques. Il formule également sa théorie du réseau pentagonal. Elie de Beaumont publie *Leçons de Géologie pratique*, qui sont une reproduction de ses cours au Collège de France, dont il est professeur depuis 1832. Il est nommé à l'Académie des Sciences en 1835, puis secrétaire perpétuel en 1853.

Christian Gottfried Ehrenberg (1795-1876)

À 14 ans, Ehrenberg intègre une école protestante à haut niveau à Schulpforta. En 1815, il passe son examen final et à la demande de son père étudie la théologie à Leipzig. Il change pour étudier la médecine. Deux ans plus tard, il continue ses études à l'Université de Berlin et passe son examen en 1818. Il est fortement influencé par Heinrich Link et développe en conséquence un intérêt important pour les techniques d'observation microscopique. Ehrenberg effectue de nombreuses recherches sur les champignons et part entre 1820 et 1825 en expédition archéologique en Égypte. En 1827, il est élu membre de l'Académie des sciences de Berlin et devient assistant professeur à l'Université de Berlin, grâce notamment au support de A. Von Humboldt. En 1829, Ehrenberg accompagne G. Rose et Humboldt lors d'une expédition en Sibérie. Il épouse en 1831 la nièce de Gustav Rose et est élu à l'Académie des sciences de Paris en 1841.

Barthélémy Faujas de Saint Fond (1741-1819)

Faujas de Saint Fond fait des études pour devenir avocat au parlement et obtient son diplôme en 1762. Il est nommé trois ans plus tard président de la cour du sénéchal à Montélimar. Faujas de Saint Fond effectue de nombreuses randonnées dans les Alpes et le Massif Central et en 1776, il prend contact avec Buffon. Il est ensuite nommé aide naturaliste au Jardin du Roi. Faujas de Saint Fond y prépare notamment la réédition des *Œuvres* de Bernard de Palissy et fait des recherches sur les volcans du Velay et du Vivarais qui sont publiées en 1778. Faujas de Saint Fond voyage en Angleterre, en Écosse et dans les Hébrides. Il publie *Minéralogie des volcans* en 1784. Il est également nommé professeur titulaire de la chaire de géologie au Muséum d'Histoire Naturelle en 1793 et se retire en 1818. Faujas de Saint Fond publie entre 1803 et 1809 *Essai de Géologie*.

Leopold Heinrich Fischer (1817-1886)

Fischer fait des études de médecine à Fribourg-en-Brigau. Dès 1845, il enseigne la zoologie et la minéralogie en tant qu'assistant, puis il est nommé professeur en 1859. Fischer publie notamment *Chronologischer Überblick über die allmalige Einführung der Mikroskopie in das Studium der Mineralogie, Petrographie und Paläontologie* en 1868 et *Kritische mikroskopie Studien* successivement en 1869 puis en 1871-1873.

Louis Benjamin Fleuriau de Bellevue (1761-1852)

Fleuriau de Bellevue fait ses études à l'Académie de Genève en Suisse et a notamment comme professeur de sciences naturelles Horace Benedict de Saussure (1740-1799). Ce dernier met en contact Fleuriau de Bellevue avec Déodat Dolomieu. Les deux réalisent en 1787 un voyage naturaliste en Europe qui dure cinq ans. Le père de Fleuriau de Bellevue est également un ami de Charles Marie Dessalines d'Orbigny qui contribue à l'introduction de Louis à l'Académie des Sciences, Arts et Belles Lettres de La Rochelle. Fleuriau de Bellevue travaille avec Nicolas de Saussure sur la dolomie, qu'il dédie à Dolomieu. Il occupe également divers postes administratifs à La Rochelle, tels que conseiller municipal, général ou bien encore député. Il échange également avec de nombreux contemporains comme G.Cuvier ou A.Von Humboldt.

Ferdinand André Fouqué (1828-1904)

Fouqué obtient son baccalauréat en 1848 et entre en octobre 1849 à l'Ecole Normale Supérieure dont il sort diplômé trois ans plus tard. Il est ensuite l'assistant de laboratoire de Henri Sainte Claire Deville. Il assiste en parallèle aux cours de médecine et devient docteur en médecine en 1858. Fouqué prend un poste de professeur suppléant en physique et chimie au lycée Condorcet de Paris. Henri Sainte Claire Deville lui propose une mission de deux mois avec son frère Charles pour travailler sur le Vésuve en Italie. Fouqué effectue ensuite de nombreuses missions en Italie. Il obtient sa thèse pour le grade de docteur ès sciences en 1866 à la Faculté des sciences de Paris. En 1869, Fouqué est promu pour diriger les travaux du laboratoire de géologie de l'Ecole des hautes Etude de Géologie du Collège de France. Il est le suppléant de Elie de Beaumont en 1873 et 1874 au Collège de France à la chaire d'histoire naturelle des corps inorganiques. Les deux années suivantes, il occupe le même poste en remplacement cette fois de Charles Sainte Claire Deville. En 1877, Fouqué devient professeur titulaire de cette chaire. Il obtient le prix Cuvier de *l'Académie des sciences*.

Fouqué est élu à l'Académie des sciences en 1881, dans la section minéralogie. En 1900, il est élu vice-président de la section minéralogique de l'Académie des sciences et un an plus tard, il en devient le président.

Augustin Fresnel (1788-1827)

D'un père architecte, Fresnel entame ses études à l'Ecole Centrale de Caen. Il entre à l'Ecole Polytechnique en 1804 et en sort deux ans plus tard dans le corps des Ponts et Chaussées. Il est par la suite envoyé en mission en Vendée puis dans la Drôme. Intéressé par les théories de la lumière, le savant écrit en 1814 un premier mémoire, *Réveries sur la propagation de la lumière*,

qu'il fait transmettre par l'intermédiaire de son oncle à André-Marie Ampère, dont il n'obtient aucune réponse. Fresnel reprend ses expériences en 1815 et transmet ces résultats à Arago, qui devient son protecteur lorsqu'il décide en 1816 de présenter sa théorie devant les académiciens. En 1821, il est examinateur puis répétiteur de physique et de géométrie à l'Ecole polytechnique. Un an plus tard, il découvre les lois générales de la double réfraction prédites par sa théorie ondulatoire. Le 18 mai 1823, Fresnel est élu membre de l'*Académie des sciences*, en 1825 il devient membre étranger de la Royal Society of London et en 1827 il obtient la médaille Rumford de cette même académie pour récompenser son travail dans le domaine de l'optique.

Charles Friedel (1832-1899)

Friedel obtient une licence ès mathématique et ès science physique. Son grand-père maternel Duvernoy, professeur au Collège de France et membre de l'*Académie des sciences* le fait venir à Paris en 1852. C'est lui qui l'initie à la minéralogie. Friedel est nommé conservateur de la collection de l'Ecole des Mines et publie une thèse sur la pyroélectricité dans les cristaux conducteurs. Il publie également de nombreux mémoires ou articles en lien avec la minéralogie. Friedel suit les cours de chimie de Pasteur à Strasbourg et il entre à Paris dans le laboratoire de Würtz. Il n'a pas appartenu au corps des mines et il a en tant que conservateur des collections un petit laboratoire jusqu'en 1880. Il est nommé professeur de chimie à la Sorbonne et élu membre de l'*Académie des sciences* en 1878. Friedel succède à Gabriel Delafosse à la chaire de minéralogie de la *Faculté des sciences* de Paris en 1876 jusqu'en 1885. Friedel participe à la fondation de l'Ecole alsacienne en 1874 ainsi que de l'Ecole nationale supérieure de chimie de Paris en 1896. Il est le père de Georges Friedel (1865-1933) et le grand père d'Edmond Friedel (1895-1972).

Charles Louis Frossard (1827-1902)

Frossard est un théologien. Il est pasteur à Lille mais aussi archiviste du Synode général de l'Eglise réformée de France entre 1872-1873. Il enseigne l'hébreu à l'Ecole préparatoire de théologie des Batignolles. En outre, Frossard est l'un des membres fondateurs de la Société Ramond pour l'exploration et l'étude des Pyrénées en 1865. Il est enfin pasteur à Orthez, puis à Bagnères en 1868.

Archibald Geikie (1835-1924)

Geikie entre à l'Université d'Edimbourg en 1854 mais doit la quitter pour des raisons financières. Sur les recommandations de Miller et Ramsay il est engagé auprès de Roderick Murchison comme assistant à la *Geological Survey*. Geikie voyage au travers de l'Europe et des îles britanniques en plus de son travail. En 1867, il est nommé directeur de la nouvelle branche de la *Scottish Geological Survey*. En 1870, l'Université d'Edimbourg crée une chaire de géologie et Geikie est nommé professeur un an plus tard. Il écrit des ouvrages biographiques sur Murchison en 1875, Ramsay en 1895 et Forbes en 1861. Geikie est élu fellow à la *Royal Society d'Edimbourg* en 1861 et en 1865 à celle de Londres. Il est président de la *Geological Society* en 1890. Geikie publie également *Founders of Geology* en 1897. Il succède à Ramsay à la tête de la Geological Survey de Grande-Bretagne en 1881 et s'en retire en 1901.

Louis Gentil (1828-1925)

Gentil est recruté par le service de la carte géologique de l'Algérie. Il devient par la suite préparateur au Collège de France. Il entre en 1899 à la Sorbonne et soutient un doctorat à Alger en 1902 qui s'intitule *Esquisse stratigraphique et pétrographique du bassin de la Tafna, Algérie*. Gentil devient maître de conférences en 1905. En 1912, il est nommé professeur adjoint à la Sorbonne. Gentil propose en 1913 la création d'un Institut scientifique chérifien dans le but de créer une carte géologique du Maroc et y repérer les ressources en eau. L'institut est créé en 1920. En 1923, Gentil est élu membre de l'*Académie des sciences*, dans la section Géographie et navigation. Il poursuit ses explorations de l'Atlas marocain par la suite.

Jean Pierre Louis Girardin (1803-1884)

Ancien interne des Hôpitaux de Paris, Girardin complète ses études au laboratoire du Collège de France dirigé alors par Thénard. Il obtient en 1828 le poste de professeur de chimie appliquée à Rouen. Par la suite, Girardin devient doyen de la faculté de Rouen puis recteur de l'académie de Clermont-Ferrand. Entre 1873 et 1882, Girardin est nommé directeur de l'Ecole préparatoire à l'enseignement supérieur de Rouen.

Ferdinand Pierre Joseph Gonnard (1838-1923)

Gonnard entre au lycée de Clermont-Ferrand, puis au Collège Chaptal à Paris. Il entre à l'Ecole centrale de Paris puis effectue l'Ecole des Arts et Manufactures. Gonnard est initié à la géologie par Lecoq, professeur de géologie à Clermont. Il est nommé professeur à l'Ecole centrale de 1866 à 1874, puis devient ingénieur des Hospices en 1875. Gonnard collabore notamment avec Lacroix et Des Cloizeaux. Il est membre correspondant de l'*Académie des sciences* de Mâcon, de Clermont-Ferrand. Il fait partie de nombreuses sociétés, comme la *Société d'agriculture* de Lyon, la *Société d'étude scientifique* de Lyon dont il est membre honoraire en 1878. Gonnard est l'un des fondateurs de la *Société française de minéralogie et de cristallographie*.

Ladislas Xavier Gorecki (?- ?)

Gorecki obtient une thèse en 1872. C'est un médecin, professeur libre d'ophtalmologie. En 1879, il est membre de la *Société d'anthropologie* de Paris. Il publie *Minéralogie micrographique* qui a attiré à la pétrographie microscopique. Il y décrit les méthodes et les caractères à noter pour effectuer des observations microscopiques de roches

Richard John Griffith (1784-1878)

Griffith est destiné à devenir un ingénieur des mines selon son père, qui l'envoie à Londres sous le patronage de William Nicholson étudier la minéralogie et la chimie. Il visite d'ailleurs de nombreux sites miniers en Angleterre mais aussi en Ecosse où il suit les cours de Robert Jameson en histoire naturelle et de Thomas Hope en chimie. En 1807, Griffith est membre honoraire de la *Royal Society of Edinburgh* et un an plus tard de la *Geological Society of London*. Il devient en 1812 inspecteur général des mines royale en Irlande ainsi qu'ingénieur minier pour la *Royal Dublin Society*. Son ami G.B. Greenough lui suggère de réaliser une carte

géologique de l'Irlande. Griffith obtient en 1854 la médaille Wollaston de la *Geological Society of London*.

René Just Haüy (1743-1822)

Haüy reçoit une éducation classique et théologique au Collège de Navarre à Paris. Il est ordonné prêtre en 1770 et devient enseignant au Collège Cardinal Lemoine. Il suit les cours de Daubenton au Jardin du Roi. Haüy publie en 1781 un article dans les *Compte-rendu de l'Académie* sur la forme des cristaux et en 1784 il publie *Essais d'une théorie sur la structure des cristaux*. Haüy laisse son poste d'enseignant dans le but de se consacrer uniquement à ses travaux cristallographiques. En 1792 il est arrêté puis relâché grâce à son élève E. Geoffroy Saint Hilaire. Il devient secrétaire de la Commission des poids et mesure. Trois ans plus tard, il donne des cours de physique et de minéralogie à l'Ecole des mines. En 1801, Haüy publie son *Traité de minéralogie* dans lequel il présente en détail sa théorie sur les formes cristallines. Un an plus tard, à la mort de Dolomieu, il est nommé professeur de Minéralogie au *Muséum d'Histoire Naturelle*. Il occupe également en 1809 la nouvelle chaire de minéralogie de la Sorbonne.

Jean Henri Hassenfratz (1755-1827)

Hassenfratz est charpentier et étudie par la suite l'art des mines et la chimie. Il devient préparateur dans le laboratoire de Lavoisier, puis est nommé sous inspecteur des Mines en 1783. Hassenfratz publie en 1787 une nouvelle nomenclature avec Odet. Il devient en 1794 Inspecteur du nouveau Corps des Mines et professeur de minéralogie de 1794 à 1795 à l'*Ecole des mines*. Il est par la suite enseignant à l'Ecole Polytechnique et donne des cours de physique et de physique céleste. A l'Ecole des mines, Hassenfratz enseigne la minéralogie, puis la métallurgie jusqu'en 1822. Il publie d'ailleurs *Cours de Minéralogie* en 1796.

Jean Jacques Nicolas Huot (1790-1845)

Huot fait des études en minéralogie et en numismatique. Lorsqu'il arrive à Paris en 1809, il continue à suivre des enseignements en minéralogie. Il est nommé en 1811 entreposeur des tabacs à Versailles. Il participe en 1815 à la fondation de la *Société de la Morale chrétienne* et en 1830 à la *Société Géologique de France* en 1830. Il professe des cours de géologie et de minéralogie à la Société des sciences naturelles de Versailles. En 1837, il prend part à l'expédition pour explorer la Russie méridionale et la Crimée. Il participe à l'*Encyclopédie Méthodique*. Huot publie également *Manuel de Géologie*.

William Hutton (1797-1860)

Hutton est nommé membre de la *Société Géologique de Londres* en 1828. Hutton est également l'un des membres fondateur, co-secrétaire et conservateur honoraire de la *Society of Northumberland, Durham and Newcastle upon Tyne*. Il participe avec John Lindley à la publication d'une flore en trois volumes sur les végétaux fossiles de Grande Bretagne.

Alexander Alexandrovitch Inostranzeff (1843-1919)

Inostranzeff termine ses études à l'Université de Pétersbourg en 1867. A partir de 1869, il est conférencier privé. Inostranzeff travaille à l'exploration géologique du nord de la Russie. Il applique dès 1867 la méthode microscopique d'observation des roches. Inostranzeff est d'ailleurs l'initiateur du *Musée géologique* et du cabinet géologique de l'Université de Saint Pétersbourg. A partir de 1877, il est le président de la *Société russe de géologie*. Inostranzeff est aussi président en 1888 de la *Société d'anthropologie russe*. C'est aussi un membre correspondant de l'Académie des sciences de Saint Pétersbourg depuis 1901. Il publie notamment *Géologie, Un cours général* en deux volumes entre 1885 et 1887.

Pierre Michel Edouard Jannettaz (1832-1899)

Jannettaz obtient une licence en sciences naturelles ainsi qu'un doctorat en sciences physiques. Il est aide-naturaliste au Muséum d'Histoire Naturelle, ainsi que préparateur à la Faculté des sciences de Paris. Il est chargé des conférences de minéralogie à l'Ecole pratique des hautes études. Jannettaz fait aussi partie de la Société Géologique de France ainsi que de la Société chimique de Paris.

Robert Jameson (1774-1854)

Dès son plus jeune âge, Jameson collectionne les coquillages et les insectes. Sous l'insistance paternelle, il commence un apprentissage de chirurgie, chez John Cheyne et assiste également aux classes de médecines, de botanique, de chimie et d'histoire Naturelle à l'Université d'Edimbourg. Sous l'enseignement de John Walker, Jameson, son élève favori, obtient un emploi dans le muséum de l'université. Il réalise de nombreux voyages géologiques entre les années 1793 et 99, dont il tire un ouvrage en 1800 *Mineralogy of the Scottish Isles*. La même année, il part étudier à la *Bergakademie* et étudie sous la tutelle de Abraham Werner, dont il est un fervent adepte. A la mort de Walker, Jameson est élue à la chaire d'Histoire Naturelle de l'Université d'Edimbourg. Il prend également la direction du Muséum de l'université. En 1819, Robert et David Brewster fonde un journal *The Edinburgh Philosophical Journal*. La ville d'Edimbourg est très attractive et les classes de Robert entre 1800 et 1820 comptent entre 50 et 100 étudiants. Jameson est élu membre de la *Royal Society of Edinburgh* en 1799 et il est le fondateur de la *Wernerian Natural History Society* en 1808.

Jules Jamin (1818-1886)

Jamin est un élève de l'Ecole Normale Supérieure et agrégé es-sciences physique en 1841. Six ans plus tard, il soutient une thèse en physique sur la réflexion de la lumière à la surface des métaux. Il est nommé professeur de physique à l'Ecole Polytechnique entre 1852 et 1881. Jamin obtient la médaille Rumford en 1858 pour ses travaux sur la lumière. Il est professeur titulaire de la chaire de physique à la faculté des sciences de Paris entre 1863 et 1881. Il est également élu membre de l'Académie des sciences dans la section physique générale en 1868 et il en est nommé président en 1882 et secrétaire perpétuel en 1884.

Wilfrid Kilian (1862-1925)

Kilian fait ses études au Gymnase protestant de Strasbourg, puis à l'Ecole alsacienne à partir de 1871. Il passe une licence de géologie à la Sorbonne, où il est en contact avec Hébert et Munier-Chalmas. Il suit d'ailleurs les cours à l'Ecole des mines de M. Bertrand. Kilian devient chef de travaux et effectue avec Marcel Bertrand, un voyage dans le Jura. En 1884 il voyage en Andalousie en mission géologie pour l'*Académie des sciences*. Il soutient une thèse en géologie en 1888, puis occupe la chaire de géologie de l'Université de Grenoble à partir de 1892. Il est nommé membre de l'*Académie des sciences* en 1919.

Clarence King (1842-1901)

King fait ses études à Yale et entre ensuite dans la nouvelle école *Sheffield Scientific School*. Il suit les enseignements de Georges Brush et James D. Dana. King est diplômé en 1862. Il assiste également aux conférences de Louis Agassiz sur la glaciologie à Harvard. Il effectue un voyage en 1863 dans le cadre de l'exploration géologique de Josiah Whitney. Il convainc le congrès de l'intérêt de la cartographie géologique et prend en charge l'organisation de *Geological Exploration of the Forthieth Parallel*, qui débute en 1867. Elle se termine en 1872. Elle donne comme résultat une publication de sept volumes. King est nommé en 1879 directeur de la *U.S. Geological Survey*. Il démissionne très rapidement et nomme John W. Powell comme successeur.

François Antoine Alfred Lacroix (1863-1948)

Le grand père de Lacroix, Tony Lacroix, est préparateur de Nicolas Vauquelin au Muséum d'Histoire Naturelle autour de 1826. Lacroix fait un stage de pharmacie entre 1881 et 1883 à Mâcon. Il suit les cours de l'Ecole de pharmacie de Paris dont il sort diplômé en 1877. Lacroix rencontre Des Cloizeaux qui lui ouvre son laboratoire. Il l'invite également à suivre des cours au Muséum pour la cristallographie, ceux de Fouqué au Collège de France, ceux de Charles Friedel à la Sorbonne et ceux de Mallard à l'Ecole des mines. Sitôt son diplôme obtenu, Lacroix devient préparateur au Collège de France en 1887 à 1893. Il travaille sous la direction de Fouqué et Michel-Lévy. Il obtient son doctorat ès science en 1889 et épouse Catherine Fouqué, fille de Fouqué. Lacroix succède à Des Cloizeaux à la chaire de minéralogie au Muséum d'Histoire Naturelle. Lacroix est secrétaire perpétuel de l'Académie française pendant 34 ans. Lacroix devient membre de la Société Géologique de France en 1886. Il est chargé après l'éruption de 1902 du Mont Pelé par l'*Académie des sciences* et par le gouvernement d'étudier l'éruptions. Il y retourne en 1903 en raison d'une seconde éruption. Lacroix visite par la suite d'autres régions volcaniques dans le monde. Lacroix est élu membre de l'Académie des sciences en 1904

Arnold Constantin Peter Franz von Lasaulx (1839-1886)

Von Lasaulx étudie la géologie et la minéralogie à Bonn, puis à Berlin. Il effectue des recherches sur les volcans du Vésuve de l'Etna entre autres. Il voyage en Irlande, Ecosse et en Silésie également. Von Lasaulx obtient son doctorat à l'Université de Berlin en 1868. En 1871, il devient professeur associé de Minéralogie à l'Université de Breslau et en 1880 professeur de

minéralogie et de géologie à l'Université de Bonn. Von Lasaulx publie *Element der petrographie* en 1875 et *Précis de pétrographie* en 1887.

Félix Leblanc (1813-1886)

Leblanc est un élève de l'Ecole des mines de Paris, dont il sort diplômé en 1833, il fait partie des élèves du chimiste J.B. Dumas. Leblanc est, par la suite, répétiteur de chimie à l'Ecole polytechnique, puis il est élu vice-président de la *Société chimique* ainsi que vice-président de la *Société d'encouragement pour l'industrie nationale*. Leblanc occupe une chaire de chimie analytique à l'Ecole centrale des Arts et Manufactures.

Henri Lecoq (1802-1871)

Lecoq fait ses études de pharmacie en 1817 à Paris. Par la suite, il obtient en 1827 les chaires de minéralogie et de botanique ainsi que le poste de conservateur et directeur du cabinet de minéralogie et du jardin botanique à Clermont-Ferrand. Lecoq est admis à l'Académie des sciences et Belles lettres et arts de la ville. En 1846, Lecoq est élu président de la chambre de commerce de Clermont-Ferrand. C'est un savant à rencontrer pour tout naturaliste voyageant en Auvergne.

M.S.Legg (?)

Microscopiste qui publie en 1846 un article, *On the application of polarized light in microscopic investigations microform*, dans lequel il utilise la lumière polarisée combinée au microscope.

Johann Gottlob Lehmann (1719-1767)

Lehmann obtient son doctorat en 1741 à l'Université de Wittenberg. Il est médecin et s'établit à Dresde. Il publie un article sur les dépôts et la composition chimique dans les mines et gagne en 1750 le droit par l'Académie royale des sciences de Prusse d'étudier les procédures minières dans les provinces prussiennes. En 1761 Lehmann devient professeur de chimie à l'Université de Saint-Petersbourg ainsi que directeur de la collection d'histoire naturelle de l'Académie impériale des sciences de Saint-Petersbourg.

Urbain Jean Joseph Le Verrier (1811-1877)

Le Verrier entre à l'Ecole Polytechnique en 1831. Il effectue quelques recherches publiées dans les *Annales de physique et de chimie*. Il est nommé en 1837 répétiteur du cours de géodésie et de machine à l'Ecole Polytechnique et en 1839, il remplace le titulaire Savary. Arago le pousse à poursuivre ses observations astronomiques. Il participe d'ailleurs à l'observation de la planète Neptune. Le Verrier entre à l'*Académie des sciences* en 1846. En 1853, à la mort d'Arago, il est nommé directeur de l'Observatoire de Paris. Il a fondé en 1804 l'*Association scientifique de France* qui fusionne avec l'*Association pour l'Avancement des Sciences*.

Alexandre Félix Gustave Achille Leymerie (1801-1878)

Leymerie est un ancien élève de l'École Polytechnique. Il enseigne à Troyes la géographie et la mécanique appliquée aux arts. Puis, il est nommé professeur à l'École industrielle de la Martinière de Lyon et en devient le directeur en 1833. Leymerie est également professeur de géologie et de minéralogie en 1841 à la Faculté des sciences de Toulouse. Il devient titulaire en 1846 et occupe ce poste jusqu'à sa mort. Leymerie participe au développement des collections de géologie et de paléontologie. Il est membre correspondant de l'*Académie des sciences*. Leymerie publie en deux volumes un *Cours de minéralogie* en 1857-1859.

John Lindley (1799-1865)

Scolarisé dans une bonne école jusqu'à ces seize ans, Lindley ne poursuit pas d'études universitaires. A partir de 1818-19, il est employé par Sir Joseph Banks comme assistant dans une bibliothèque et un herbarium. En 1820, il est commissionné par la Société d'Horticulture de Londres afin de réaliser des dessins. Ses connections établies durant son emploi dans la bibliothèque, lui permettent de publier régulièrement. En 1828, il est élu membre de la *Royal Society of London* et obtient un poste de professeur de botanique dans la nouvelle université de Londres. En 1827 il devient l'assistant du secrétaire général de la Société d'Horticulture, pour être nommé secrétaire en 1852. Lindley collabore avec William Hutton entre 1831 et 37 pour produire un ouvrage en trois volumes : *Fossil flora of Great Britain*.

James MacCullagh (1809-1847)

MacCullagh entre comme pensionnaire au *Trinity College* de Dublin en 1824 et s'inscrit dans une filière classique et scientifique. En 1833, il est professeur de mathématiques dans cette même université. Il succède à Humphry Lloyd en 1842 comme professeur de philosophie naturelle et contribue à développer l'école initié par Lloyd en physique mathématique. MacCullagh devient correspondant de la *Royal Irish Academy* en 1833 et obtient en 1838 la première médaille d'or de l'académie, ainsi que la médaille Copley de la *Royal society of London* en 1842. Il devient correspondant de cette dernière un an plus tard. Il produit de nombreux écrits en géométrie et donne des cours en physique mathématique. MacCullagh publie en 1837 *On the Laws of crystalline reflexion and refraction* ainsi qu'en 1839 une théorie sur l'optique physique et sa théorie dynamique.

William MacGillivray (1796-1852)

MacGillivray étudie à l'Université d'Aberdeen Il obtient son diplôme au King's Collège en 1815. En 1819, il visite l'ensemble des muséums de Londres dont il tient une trace écrite de toute ces visites. Il devient en 1821 l'assistant du professeur Robert Jameson ainsi que responsable de la collection d'histoire naturelle. MacGillivray est ensuite nommé conservateur du *Museum du Royal College of Surgeons* en 1831. En 1841, il retourne à Aberdeen en tant que professeur d'histoire naturelle et civile au *Marischal College*. Il fonde le Museum de zoologie de l'Université d'Aberdeen.

François Ernest Mallard. (1833-1894)

Mallard entre à l'École Polytechnique en 1851, puis à l'École des Mines de Paris en 1853. En 1859 il est nommé professeur à l'École des Mines de Saint Etienne où il enseigne, de 1859 à 1872, la géologie, la minéralogie la physique et l'exploitation des mines. Mallard passe ses étés à faire des cartes géologiques au 1/80 000^e des départements de la Haute-Vienne et de la Creuse. En 1870 il visite avec Edmonds Fuchs des gîtes minéraux au Chili et rapporte de nombreux échantillons. Mallard dirige l'École des Mines en 1872. Il publie en 1876 un mémoire de cristallographie. Il découvre notamment la théorie physique de la polarisation rotatoire cristalline en 1881. Pierre Termier est l'un de ses disciples. Mallard publie en 1893 un *Cours de minéralogie*.

Etienne Louis Malus (1775-1812)

Malus entre à l'école du Génie de Mézières en 1793 mais il est très rapidement suspendu. Il est ensuite envoyé à l'École centrale des travaux publics où il est élève de 1794 à 95. Il y rencontre notamment Monge, qu'il remplace pour son cours de géométrie analytique. En 1796 il enseigne les mathématiques et la stéréotomie à l'École de Metz. Affecté dans l'armée, Malus part en Egypte. Il va être un membre actif de l'Institut d'Egypte et regagne en 1801 la France. Il devient président de la Société d'amateurs des sciences et des arts de la ville de Lille en 1804. A partir de 1805, il est examinateur à l'École polytechnique, ce qui entraîne de long séjour à Paris. Malus présente en 1807 son traité d'optique devant l'Institut de France. Il est également membre de la Société d'Arcueil. Elu en 1810 à l'Institut dans la section physique, Malus devient un an plus tard le directeur des études de l'École polytechnique. La même année, il gagne la médaille d'or Rumford de la *Royal Society of London*.

Charles Frédéric Martins (1806-1889)

Martins est interne des hôpitaux de Paris en 1829 et obtient un doctorat en médecine à Paris en 1834. Par la suite, il obtient un poste d'aide-naturaliste à la Faculté de médecine de Paris. En 1846, il est nommé professeur agrégé de sciences naturelles à l'Université de Montpellier. Il accède à la chaire de botanique médicale en 1851 à Montpellier et il est nommé la même année, directeur du jardin des plantes de Montpellier. En 1860 il fait construire une grande serre dans l'université. Martins est membre correspondant de la *Société géologique de Londres*.

Augustus Matthiessen (1831-1870)

Matthiessen étudie à l'Université de Giessen la chimie expérimentale à partir de 1852. Il sort diplômé en 1853 et passe près de 5 ans à Heidelberg sous la tutelle de Bunsen et Kirchoff. En 1857, il étudie ensuite à Londres avec August Wilhelm von Hofmann au *Royal College of Chemistry*. Il crée également son propre laboratoire de recherche. Matthiessen est élu Fellow à la *Royal Society* en 1861. Il effectue des conférences entre 1862 et 1868 au *Saint Bartolomew's Hospital*. Matthiessen obtient la médaille royale de la *Royal Society* en 1869 pour son travail sur les métaux.

Etienne Stanislas Meunier (1843-1925)

Meunier est docteur ès science en 1869. Il est professeur de géologie au Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris à partir de 1892 ainsi que professeur à l'Ecole nationale d'agriculture de Grignon. Meunier est élu en 1909 à l'Académie des sciences, belles-lettres et arts de Savoie. Il est l'aide naturaliste d'Auguste Daubrée.

Auguste Michel-Lévy (1844-1911)

Michel-Lévy est élève de l'Ecole Polytechnique en 1862 puis entre ensuite à l'Ecole des Mines. Il débute sa carrière comme secrétaire du Conseil général des mines en 1867. En 1870, il est enrôlé dans le bataillon des mineurs auxiliaires du génie sous l'autorité de Jacquot. Michel-Lévy est attaché au service des topographies souterraines et en 1876 à celui de la Carte géologique de France. Il succède à Fouqué à la chaire de géologie de *Collège de France* et élu membre de l'*Académie des sciences* en 1896. Michel-Lévy publie en 1879 avec Fouqué *Minéralogie micrographique* et participe par ses travaux et ses publications au développement de la pétrographie microscopique française.

Eilhard Mitscherlich (1794-1863)

Mitscherlich entre en 1811 à l'Université de Heidelberg où il étudie les langues orientales. Il complète sa formation en apprenant le perse à l'Université de Paris deux ans plus tard. Lorsqu'il suit les enseignements de F. Strohmeyer il s'intéresse alors à la chimie. En 1818, il va à Berlin travailler dans le laboratoire de H. Link. Mitscherlich étudie également la cristallographie avec Gustav Rose et rencontre Jöns Berzelius en 1819. En 1822, après deux années passées à Stockholm au sein du laboratoire du chimiste, Mitscherlich devient professeur-assistant de chimie à l'Université de Berlin. Trois ans plus tard, Mitscherlich obtient le poste. Entre 1823 et 1824, le savant voyage et rencontre notamment Thenard, Davy, Faraday ou encore Wollaston. Il publie en 1829 *Lehrbuch der chemie* et en 1847 quatre nouvelles éditions allemandes du livre et deux éditions françaises sont publiées.

Henry Moyes (1749/50-1807)

Aveugle en raison de la variole, Moyes ne peut devenir médecin. Il s'oriente vers une autre carrière et obtient alors un doctorat en physique. Il devient conférencier itinérant en histoire naturelle. Sa cécité nécessite l'utilisation d'un assistant-démonstrateur qui le suit lors de ses différentes conférences. Moyes parcourt une grande partie de l'Angleterre à partir de 1779 et va également aux Etats Unis entre 1784 et 1786, où il effectue des conférences à Boston, Philadelphia ou encore Princeton. Intéressé par des domaines assez variés tels que la chimie, l'optique, la géométrie ou même l'algèbre, Moyes est loué par ses contemporains pour la clarté de ses propos.

Ludovic Mrazec (1867-1944)

Mrazec obtient en 1889 sa licence de pharmacie et se spécialise en minéralogie. Il se rend à Genève et y rencontre Louis Duparc qui l'initie aux méthodes minéralogiques. Il obtient en 1891 un doctorat avec une thèse ayant pour titre *La protogine du Mont Blanc et les roches*

éruptives qui l'accompagnent. En 1894 Mrazec est nommé professeur de cristallographie, de minéralogie et de pétrographie à l'Université de Bucarest. Il devient chef de département de minéralogie entre 1894 et 1937. Mrazec enseigne également à la Faculté de pharmacie et à la Faculté de chimie industrielle. Il est nommé membre correspondant de l'Académie roumaine en 1901 et élu membre permanent en 1905. Il dirige l'Institut géologique de Roumanie entre 1906 et 1928. En 1907, Mrazec est élu président du Congrès international du pétrole. Il occupe en 1927 le poste de ministre du Commerce et de l'Industrie et il est élu président de la Société géologique roumaine en 1930. Entre 1932 et 35, il est président de l'Académie Roumaine.

Charles Philippe Ernest Munier Chalmas (1843-1903)

Munier Chalmas a de nombreux emplois. Il travaille au service de minéralogie du Muséum d'Histoire Naturelle de Paris, dirigé alors par Delafosse. Munier Chalmas est aussi employé pour l'aménagement des collections de la Faculté des sciences et il accompagne également Hébert dans ses excursions. En 1870, il est nommé sous-directeur du laboratoire des recherches géologiques à la Sorbonne. Munier Chalmas devient un an plus tard l'assistant de Delesse pour exercer les fonctions de directions des exercices pratiques de l'Ecole Normale Supérieure. Il devient maître de conférences après l'obtention de son doctorat en 1891. Il est alors nommé professeur de géologie à la Faculté des sciences.

Sir Roderick Impey Murchison (1792-1871)

Murchison rejoint la *Geological Society of London* en 1825 et passe les cinq années suivantes à explorer l'Ecosse, la France et les Alpes. Il collabore notamment avec Adam Sedgwick et Charles Lyell. En 1831, Murchison est élu président de la *Geological Society* au sein de laquelle il a été secrétaire pendant 5 ans. Il publie *The Silurian System* en 1839. Avec Sedgwick il pose les fondations du système dévonien. Il est adoubé en 1846 et en 1855 il est nommé directeur général de *Geological Survey of Great Britain* ainsi que directeur de la *Royal School of Mines* et du *Museum of practical geology de Londres*.

William Nicol (1770-1851)

Assistant de Henry Moyes à partir de 15 ans, Nicol le suit dans ses circuits de conférences scientifiques jusqu'à sa mort. Par la suite, il reprend le même circuit jusqu'en 1830. Le savant s'installe ensuite à Edimbourg où il travaille sur de nombreux sujets touchant principalement au domaine de la géologie et de la paléobotanique. Ami du professeur Jameson, Nicol est élu à la *Royal Society of Edinburgh* en 1838 et également membre de la *Edinburgh-based Society of Arts* à partir de 1826. Il présente certains de ses travaux devant la *Wernerian Natural History Society*. Nicol est particulièrement connu pour avoir inventé le prisme polarisateur de lumière éponyme dès 1820 ainsi que pour avoir amélioré une technique d'observation en section fine, à partir des années 15.

Jean Baptiste Nicolas Augustin Edmond Nivoit (1839-1920)

Nivoit est élève polytechnicien en 1859 puis intègre l'Ecole des mines de Paris pour en sortir diplômé en 1865 en tant qu'ingénieur du corps des mines. Il est alors chargé du sous-arrondissement de Mézières. Nivoit devient par la suite ingénieur du contrôle du réseau de l'Est

(chemin de fer). Il est rappelé à Paris en 1880 pour être chargé de la chaire de minéralogie et de géologie de l'Ecole des Ponts et chaussées. Il occupe ce poste jusqu'en 1907, où il est nommé directeur de l'Ecole des mines. Nivoit est membre en 1897 de l'*Académie d'Agriculture*.

Nils Gustaf Nordenskiöld (1792-1866)

Nordenskiöld étudie la minéralogie en Finlande et en Suède. Il est nommé inspecteur des mines de Finlande. En 1819, Nordenskiöld est élu membre de l'*Académie des sciences de Russie* en 1819. Il publie en 1820 un guide des minerais de Finlande. Nordenskiöld devient en 1828 surintendant du Conseil des Mines à Helsingfors (Helsinki). En 1853, il est nommé membre étranger de l'Académie Royale des sciences de Suède. Il étudie notamment les météorites en les observant au microscope.

Pierre Joseph Odolant Desnos (1722-1801)

Odolant Desnos est formé au collège des Jésuites ainsi qu'à la Sorbonne. Il est docteur en médecine et ensuite exerce comme médecin à l'hôtel Dieu. Odolant Desnos est membre de sociétés savantes comme l'*Académie des sciences, arts et belles lettres de Caen, de Rouen* et membre correspondant de l'*Académie nationale de médecine*.

Alcide Charles Victor Marie Dessalines d'Orbigny (1802-1857)

D'Orbigny, en 1824, suit les enseignements au *Muséum d'Histoire Naturelle* de Cuvier, de Geoffroy Saint Hilaire ou encore de Cordier. Il voyage dans de nombreux pays d'Amérique du Sud à partir de 1831 et revient en 1834 où il présente devant l'*Académie des sciences* les espèces qu'il a recueillies durant son périple. D'Orbigny obtient son doctorat ès sciences naturelles en 1846. Il occupe la chaire de paléontologie du Muséum en 1853. Il n'est jamais élu à l'*Académie* malgré huit candidatures. D'Orbigny intègre cependant la *Société philomathique de Paris* en 1837 et reçoit le prix annuel de la *Société de Géographie* en 1834. D'Orbigny reçoit également à deux reprises la médaille Wollaston de la *Geological Society of London*.

Adolph Friedrich Oschatz (1812-1857)

Oschatz étudie les sciences naturelles, les mathématiques, la philosophie et la géographie à l'Université de Berlin. Il enseigne les mathématiques et les sciences naturelles à l'école de Eutin. Entre 1841 et 1843, il est l'assistant de Purkinje à l'Institut de physiologie de Wroclaw. A partir de 1843, il devient professeur privé et préparateur de sections fines. Il fournit pour des écoles et des universités des préparations histologiques et des sections fines de roches ou de minéraux.

John Phillips (1800-1874)

Orphelin très rapidement, Phillips est mis sous la tutelle de son oncle géologue William Smith. Il est éduqué à la maison, par le Révérend Benjamin Richardson jusqu'à ses quinze ans. Phillips devient l'assistant de son oncle pour classer et préparer des catalogues à destination du *British Museum*. En 1824 il est invité à faire une conférence à la *Yorkshire Philosophical Society*, qui l'engage ensuite pour ranger les collections du muséum de York. Il professe dans

de nombreuses villes du nord de l'Angleterre. En 1834 Phillips est élu membre de la *Royal Society of London* et devient professeur de géologie au *King's College*. Il quitte ce poste en 1840, lorsqu'il rejoint la *Geological Survey*. Quatre ans plus tard, Phillips devient professeur de géologie au *Trinity College* et à la mort de William Buckland occupe son poste de professeur de géologie à Oxford en 1856.

Johann Christian Poggendorff (1796-1877)

Poggendorff entre à 15 ans comme apprenti dans une boutique d'apothicaire à Hambourg. Il est très intéressé par la chimie et la physique et sous les conseils de F.F. Runge, il part à Berlin étudier les sciences. En 1823, Poggendorff est commissionné par l'*Académie de Berlin* pour réaliser des observations météorologiques. Un an plus tard, il reprend le poste d'éditeur du journal *Annalen der Physik und Chemie*. En 1839, Poggendorff est nommé membre de l'*Académie des sciences prussienne*. Poggendorff édite également un dictionnaire biographique de savants.

Louis Constant Prévost (1787-1856)

Prévost suit les cours de l'Ecole centrale du Panthéon où enseigne Cuvier, puis en 1802, il suit les cours de l'Ecole centrale des Quatre Nations dans laquelle Alexandre Brongniart professe. A partir de 1807, Prévost accompagne Brongniart dans ses voyages. Il va notamment à Freiberg –ville de Werner- en 1812. Il étudie ensuite la médecine et suit également des cours au Collège de France. En 1821, il enseigne la géologie à l'Athénée et en 1829 il enseigne la minéralogie et la géologie à l'*Ecole des Arts et Manufactures*. Prévost est par la suite nommé en 1830 à la chaire de géologie de la Sorbonne. Il est président de la *Société Géologique de France* à trois reprises (1834, 1838 et 1851) et entre en 1848 à l'*Académie des sciences*.

Jean Louis Armand de Quatrefages de Bréau (1810-1892)

Entre 1822 et 26 Quatrefages fait ses études au Collège Royal de Tournon, pour ensuite étudier la médecine à l'Université de Strasbourg. Il obtient son diplôme de doctorat ès sciences en soutenant deux thèses différentes en 1829 et 1830. En 1830, Quatrefages devient assistant en chimie et physique à la faculté de médecine de Strasbourg. Près de six ans plus tard, il fonde le *Journal de médecine et de chirurgie* de Toulouse. Il obtient provisoirement la chaire de zoologie de la faculté des sciences de Toulouse. En 1840, il quitte Toulouse pour Paris. Quatrefages obtient un troisième doctorat, en sciences naturelles cette fois-ci. Sous les conseils de Milne-Edwards, Quatrefages étudie alors les invertébrés. En 1852, il devient membre de l'*Académie des sciences*, section anatomie et zoologie. Près de trois ans plus tard, il obtient la chaire d'histoire naturelle de l'homme au Muséum d'Histoire Naturelle de Paris. Il publie à la suite d'une mission zoologique sur les côtes siciliennes *Souvenirs d'un naturaliste* en 1854. C'est également l'un des fondateurs de la *Société française pour l'avancement des sciences*.

John Thomas Quekett (1815-1861)

Quekett étudie la médecine au *London Hospital* en 1831. En 1840, il devient membre de la *The Apothecaries' Company* ainsi que du *Royal College of Surgeons*. Quekett fonde en 1839 la *Royal Microscopical Society* et en 1843, il devient l'assistant du conservateur du *Hunterian*

Museum. En 1856, Quekett est nommé conservateur du muséum et professeur d'histologie. Son frère, Edwin John Quekett (1808-1847) s'intéresse également aux mêmes objets d'études que lui. Il constitue une très grande collection de préparations microscopiques et en 1846 cette collection est achetée par le *Royal College of Surgeons*. En 1841, il devient le secrétaire de la *Microscopical Society* un poste qu'il garde jusqu'en 1860.

Gerhard vom Rath (1830-1888)

Vom Rath est formé à l'université de Bonn. Il obtient son doctorat à Berlin en 1853. Il devient ensuite, en 1856, l'assistant de Johann Jakob Nöggerath au Musée minéralogique de Bonn. Vom Rath en prend la direction en 1872. Il est aussi nommé professeur extraordinaire de géologie en 1863 puis en 1872, il devient professeur titulaire de géologie et de minéralogie à l'Université de Bonn. Vom Rath effectue de nombreux voyages dans le sud de l'Europe, en Palestine mais aussi aux Etats-Unis.

Alexis-Marie Rochon (1741-1817)

Rochon, étudiant de Saint Sulpice à Paris, devient en 1758 clerc tonsuré. Un an plus tard, il s'émancipe et grâce à des appuis hauts placés, il reçoit la prébende simple de l'abbaye de Saint Martin la Garenne. L'importance de ses revenus, lui permet de se consacrer pleinement à la science. En 1765, il obtient la place de garde des instruments et de la bibliothèque de la Marine à Brest et deux ans plus tard, il reçoit une mission afin de tester les instruments qu'il a fabriqué. Rochon est également nommé correspondant de Cassini à l'*Académie des sciences*. En 1775, il obtient le brevet de garde et démonstrateur du cabinet de physique et d'optique du roi, titre qu'on lui retire en 1793, ainsi que tous les autres. Rochon intègre à nouveau en octobre 1793 l'*Institut* au sein de la première classe des sciences physiques et mathématiques. Il est également l'inventeur du micromètre prismatique.

Jean Baptiste Louis de Romé de L'Isle (1736-1790)

C'est autour de 1742 que la famille de Romé de L'Isle retourne à Paris. Il fait alors ses humanités au Collège Sainte Barbe et il est engagé en 1757 comme secrétaire d'un détachement d'artilleurs et ingénieurs au Corps royal de l'artillerie et du génie. Il embarque alors dans un vaisseau de ligne comme élève-enseigne en partance pour l'Inde. En 1757, alors que le navire accoste à Rio, Romé de L'Isle récolte un mica jaune dont il fera l'étude par la suite. Fait prisonnier par les anglais, il ne revient en France qu'en 1764. Après une prise de contact avec Sage, il suit ses conseils et s'intéresse alors aux sciences. Pour des raisons financières, il rédige de nombreux catalogues et publie, en 1772, *Essai de cristallographie*. Cependant un différend avec Buffon lui ferme définitivement les portes de l'*Académie des sciences*.

Gustav Rose (1798-1873)

Rose effectue un apprentissage dans les mines de Silésie qui s'arrête en raison d'une maladie. Il étudie alors la minéralogie, sous la direction de C.S. Weiss. En 1820, il publie *De sphenis algue titanitae systematae crystallino*. Il passe également de nombreuses années dans le laboratoire de Berzélius à Stockholm. Il devient alors professeur *ordentlicher* en 1839 et devient à la suite de Weiss directeur du Muséum de Minéralogie en 1856. Il accompagne Humboldt et

Ehrenberg dans un voyage scientifique en 1829 en Sibérie. Rose fonde en 1848 avec notamment Humboldt et Mitscherlich le *Deutsche Geologische Gesellschaft*. En 1852, lors d'une réunion de la société, il présente près de 50 sections fines de roche. La même année, il publie *Mineralssystem*. puis aussi *Elemente der krystallographie*.

Karl Heinrich Ferdinand dit Harry Rosenbusch (1836-1914).

Rosenbusch étudie la philosophie à Göttingen puis les sciences à Fribourg et à Heidelberg. Il obtient son doctorat en 1869. Il est successivement professeur de pétrographie à Strasbourg en 1873 puis de minéralogie à Heidelberg en 1878. Il publie en 1873 *Mikroskopische physiographie der petrographisch*. En 1877, il publie un autre ouvrage, *Mikroskopische physiographie der massigen Gesteine*. Rosenbusch publie une seconde édition de *Mikroskopische physiographie* en 1885, une troisième entre 1893 et 1896 ainsi qu'une quatrième à l'aide d'un étudiant E.A. Wülfig, en deux volumes. Rosenbusch devient ensuite directeur de l'Institut minéralogique d'Oslo. Entre 1888 et 1907, il est aussi le directeur de la Commission géologique de Baden. A titre posthume, une cinquième édition de *Mikroskopische physiographie* est publiée en 1927 par Wülfig et un autre étudiant O. Mügge.

Balthazar Georges Sage (1740-1824)

Sage occupe en 1778 la chaire de minéralogie docimastique de l'Ecole publique installée à la Monnaie de Paris. Il y enseigne la minéralogie et la docimastie de 1783 à 1790. Commissaire aux essais à la Monnaie, il obtient à l'Hôtel des Monnaies la création d'une école publique et gratuite de minéralogie. A la suite, l'Ecole des Mines se constitue mais la collection qu'a constitué Sage reste à l'Hôtel des Monnaies jusqu'à sa mort. En 1770, il est membre de l'*Académie des sciences*. Il publie notamment en 1773 *Mémoire de chimie*.

Charles Sainte Claire Deville (1814-1877)

C'est le frère de Henri Sainte Claire Deville. Né aux Antilles, Sainte Claire Deville revient en France en 1824. Il entre à l'Ecole des Mines en tant qu'élève externe où il suit les cours de Dufrénoy et Elie de Beaumont. Il effectue un voyage en Auvergne en 1839. En 1841, Sainte Claire Deville voyage dans les Antilles et dresse notamment une carte de la Guadeloupe et de la région de Basse Terre au 1/160000. Il rentre en France en 1843 assez malade. Après sa guérison, il travaille au sein du laboratoire de Dumas en minéralogie chimique. Sainte Claire Deville est choisi pour être le suppléant de Elie de Beaumont au Collège de France à la chaire d'histoire naturelle des corps inorganiques. Il n'est titularisé qu'en 1875 alors qu'il y a professé pendant près de 23 ans. Il réalise des analyses de fumerolles en collaboration avec Felix le Blanc puis Fouqué au sein du laboratoire du *Collège de France*. En 1852, il fonde avec Bravais et Antoine D'Abbadie la *Société météorologique de France*, dont il est le premier secrétaire. Sainte Claire Deville obtient le siège de Dufrénoy au sein de la section de minéralogie de l'*Académie des sciences*.

Henri Sainte Claire Deville (1818-1881)

C'est le frère de Charles Sainte Claire Deville. Né aux Antilles, Sainte Claire Deville revient en France en 1824 et effectue en partie ses études au Collège Sainte Barbe. Il obtient son baccalauréat ès lettres en 1835 et s'oriente vers des études de médecine. Par la suite, il se

réoriente vers la chimie et obtient le grade de docteur ès sciences physiques en 1841. La même année, il soutient sa thèse de médecine et une licence de mathématiques. Sainte Claire Deville est nommé professeur de chimie et doyen de la faculté des sciences de Besançon en 1845. Il y reste six ans et revient à Paris en tant que maître de conférences à *l'Ecole Normale Supérieure*. Puis, Sainte Claire Deville devient professeur de chimie à la Sorbonne en 1852 et titulaire de la chaire en 1867. Le laboratoire de chimie à *l'Ecole Normale Supérieure* sous son patronnage devient très important. Il travaille notamment sur l'industrialisation du procédé de préparation de l'aluminium. Sainte Claire Deville appartient à la *Société chimique de Paris* dont il est le vice-président en 1861 et le président en 1863. Il est aussi élu membre à *l'Académie des sciences* en 1861.

Edward Sang (1805-1890)

Sang est le fils de E. Sang et de Jean Nicol la cousine de William Nicol. Il suit des enseignements, notamment de W. Wallace en mathématiques à l'Université d'Edimbourg entre 1818 et 1824. A partir de 1841 et pour deux ans, Sang est professeur de sciences mécaniques au *Manchester New College*. Par la suite, il va à Constantinople et donne des cours à la *Imperial School*. En 1854, il revient en Ecosse pour étudier les mathématiques. Il est élu à la *Royal Society of Edinburgh* en 1836.

Horace-Bénédict de Saussure (1740-1799)

Grâce à l'influence de son oncle maternel Charles Bonnet Saussure s'intéresse aux sciences. Il effectue un premier voyage dans les Alpes en 1779 et un an plus tard, il se trouve à Chamonix pour la première fois. En 1782, Saussure obtient la chaire de philosophie à l'Université de Genève. Cinq ans plus tard, il atteint le sommet du Mont Blanc. C'est également l'inventeur de l'hygromètre à cheveu.

François Clément Sauvage (1814-1872)

Sauvage est promu polytechnicien en 1831 et entre ensuite à *l'Ecole des Mines*. Il intègre le service des chemins de fer en 1846. Sauvage voyage en Espagne et en Grèce notamment et publie en conséquence des mémoires sur les régions visitées. Sauvage est, en 1847, Ingénieur en chef du matériel de la Compagnie de Paris à Lyon et, en 1852, Ingénieur en chef du matériel et de la traction de la Compagnie de l'Est. Il en prend la direction en 1861 pour la garder jusqu'à sa mort en 1872. Lorsqu'en 1856 un plan de construction est conçu dans ce pays par une réunion des principaux financiers de France, d'Angleterre, de Hollande et de Russie, Sauvage est appelé. Il est alors chargé d'étudier et de discuter les conditions de la concession d'un réseau de 4000 kilomètres traçant deux immenses diagonales à travers la Russie, l'une de la mer Noire à la mer Baltique, l'autre de la Vistule au Volga et à Saint-Petersbourg.

Henry Clifton Sorby (1826-1908)

Sorby fait ses études au *Sheffield Collegiate School* et s'intéresse particulièrement aux sciences naturelles. En 1847, son père meurt, lui laissant une somme confortable pour vivre. Il rencontre en 1842 Williamson dans le train et ce dernier lui parle de la technique de préparations des sections. Il se forme auprès de lui entre 1842 et 1849. Il publie en 1858 *On the microscopical*

structure of crystals. Il obtient la médaille Wollaston de la *Geological Society of London* en 1869. Il en devient le président entre 1878 et 1880. Il travaille également sur l'étude des métaux en y appliquant la technique microscopique. Il est élu en 1882, président du Firth College, de Sheffield. Il participe également à la mise en place de l'Université de Sheffield en 1905.

Patrick William Stuart-Menteath (1845-1925)

Stuart-Menteath obtient un diplôme à l'Université d'Edimbourg en chimie. Il poursuit ses études à l'*Ecole des Mines* de Londres et suit des stages de perfectionnement à l'*Ecole des mines* de Clausthal en Allemagne. En 1866, l'une de ses notes est publiée par la société Ramond. Il entre à la *Société Géologique de France* la même année. Stuart-Menteath envoie, en 1881, au *Bulletin de Société Géologique de France* une note, accompagnée d'une carte des Pyrénées basque au 1/200 000. Il complète cet envoi par une note en 1886. Entre 1905 et 1913, Stuart-Menteath utilise le bulletin de la *Biarritz Association* pour y publier des articles comme celui-ci, *Sur les gisements métallifères des Pyrénées occidentales*.

William Henry Fox Talbot (1800-1877)

Mathématicien de formation, il est orienté par J. Herschel (1824) vers des recherches sur la lumière et les phénomènes optiques. Il s'intéresse par la suite à la photographie et rencontre D. Brewster en 1826 qui devient rapidement son ami.

Jethor Justinian Harris Teall (1849-1924)

Teall étudie au collège Saint John's à Cambridge. Il est élu membre de la *Royal Society* en 1890. Il publie *British Petrography* en 1888. Entre 1900 et 1902, il préside la *Geological Society of London*. Teall gagne la médaille Wollaston en 1905. Il devient en 1901, le directeur de la *Geological Survey*.

Pierre Marie Termier (1859-1930)

Termier entre à l'Ecole polytechnique et en sort premier en 1880. Il poursuit sa formation à l'*Ecole des Mines* de Paris. Il entre dans le service ordinaire des mines pendant deux et en 1885, Termier prend un poste de professeur à l'*Ecole des Mines* de Saint-Etienne. En 1894, il est nommé professeur de minéralogie à l'*Ecole des Mines* de Paris jusqu'à 1930. Entre 1894 et 1912, Termier est également adjoint du directeur de la Carte géologique et de la topographie souterraine. Il est nommé en 1911 directeur de la *Carte Géologique de France* et un an plus tard, il est professeur titulaire de géologie générale. Termier est membre de l'*Académie des sciences* en 1909 dont il devient le vice-président en 1930.

Gustav Tschermak vo Seyssenegg (1836-1927)

Tschermak étudie à l'Université de Vienne les mathématiques et la chimie. Il complète son cursus en suivant des cours de minéralogie à l'Université de Heidelberg et Tübingen. Il obtient un doctorat, puis revient à Vienne et devient professeur particulier en minéralogie et chimie. En 1862, Tschermak est nommé second vice conservateur du Cabinet Minéralogique Impérial. En 1867, il devient le premier vice conservateur et en 1868, Tschermak prend la tête du cabinet.

En 1873, il est nommé professeur de minéralogie et de pétrographie à l'Université de Vienne. En 1875, il est élu membre de l'*Académie impériale des sciences* de Vienne. Il quitte la direction du cabinet impérial de minéralogie en 1877 en raison de ses activités universitaires. Tschermak est le premier président de la *Société minéralogique viennoise*, fondée en 1901. Il publie notamment un *Lehrbuch der Mineralogie* en 1884 et travaille également sur l'étude des météorites.

Joseph Vallot (1854-1925)

Vallot gravit le Mont Blanc en 1881 et y effectue des observations météorologiques et géologiques. Il est le fondateur d'un refuge d'observation sur le Mont Blanc. Il entreprend avec son cousin Henri Vallot la carte du Mont Blanc au 1:20 000^e publiée entre 1925 et 1940.

Jacques Christophe Valmont de Bomare (1731-1807)

C'est à partir des lectures de Pline et d'Aristote que Valmont de Bomare s'oriente vers les sciences. Il obtient d'ailleurs de Voyer d'Argenson, ministre de la guerre, l'autorisation de voyager dans toute l'Europe. Son voyage dure près de 12 ans et il étudie la géologie et la minéralogie de nombreux pays. Valmont de Bomare publie en 1762 *Minéralogie ou nouvelle exposition du règne minéral* en deux volumes et deux ans plus tard *Dictionnaire raisonné universel d'histoire naturelle* en 5 volumes. Ce dernier est d'ailleurs réédité à de nombreuses reprises. Valmont de Bomare est nommé professeur d'histoire naturelle à l'Ecole centrale en 1796 et reste en poste jusqu'en 1806. Il est également membre associé de l'*Académie des sciences*, section minéralogie.

Louis Nicolas Vauquelin (1763-1829)

Vauquelin est membre de l'*Académie Royale des sciences* en 1793. Il est également professeur adjoint à l'Ecole polytechnique en 1794. En 1795, Vauquelin est maître en pharmacie, puis nommé membre de l'*Institut de France* en 1796. Vauquelin professe au Collège de France en 1801 et participe à la fondation de la *Société de pharmacie de Paris* en 1803. Il est également professeur à la faculté de médecine de Paris et membre de l'*Académie de médecine* en 1820.

Charles Vélain (1845-1925)

Fils de pharmacien, Vélain effectue des études de pharmacie et son internat à l'hôpital Necker de Paris. Il entre ensuite à la Faculté des sciences de Paris comme préparateur de géologie, puis il devient maître de conférences en 1877 et professeur suppléant en 1888. Vélain participe à la *Carte Géologique de la France* au 1 :80 000^e pour laquelle, il est chargé de la région du Morvan, puis des Vosges. Il voyage également en Afrique -Maroc et Tunisie - entre 1872 et 1873, mais aussi sur l'île de Pâques. Vélain est le titulaire d'une nouvelle chaire d'enseignement, la géographie physique en 1892. Il est également membre de la *Société de géographie* et de la *Société d'anthropologie de Paris*. Vélain publie les *Tremblement de terre* en 1887 ainsi que *Conférences de pétrologie* en 1889.

Alexandre Vézian (1821-1903)

Vézian est titulaire d'un doctorat ès sciences à Montpellier en 1856 en géologie et en paléontologie. En 1857, il est chargé du cours de physique à Bourg. Il est le suppléant de Lecoq en histoire naturelle à Clermont-Ferrand entre 1858-1859, puis le suppléant de Durocher en minéralogie à Rennes. Vézian est chargé de cours en remplacement de Coquand en géologie et minéralogie entre 1859 et 1862 à Besançon, puis il est nommé professeur de géologie et de minéralogie entre 1862 et 1879 dans cette même faculté pour ensuite être le doyen entre 1878 et 1891. Il publie notamment *Considérations générales sur la géologie du massif jurassien* en 1893 et *Prodrome de Géologie* entre 1861 et 1862.

Hermann Vogelsang (1838-1874)

Etudiant au gymnasium de Bonn, il obtient son « Abitur » en 1856. Il choisit alors de faire carrière dans les mines et devient alors Bergbeflissen et il est promu en 1857 Bergexpectant. Il visite un grand nombre de mines en Saxe et à Freiberg. En 1858, il entre dans l'armée et il est stationné à Bonn, après deux ans de service, il prépare une thèse. Il Effectue un voyage, notamment en Corse pour étudier la diorite orbiculaire, autrement nommée Napoléonite. Il passe par la capitale où il rencontre Elie de Beaumont. En 1862, il devient un proche ami de Zirkel, dont il épouse la sœur. En 1863, il obtient sa thèse. Il est également professeur de minéralogie et de pétrologie à l'Ecole Polytechnique de Delf et publie en 1867 *Philosophie der Geologie und mikroskopische Gesteinsstudien* et *Die Kristalliten* en 1874.

Philippe Louis Voltz (1785-1840)

Voltz étudie à l'Ecole Polytechnique en 1803 et entre en 1805 à l'Ecole des Mines de Paris. Il travaille d'abord en Belgique, puis à la frontière du Rhin. Il participe notamment à la réorganisation de la collection d'histoire naturelle de l'Académie de Strasbourg et aide Dufrénoy dans l'organisation de la collection paléontologique de l'Ecole des mines de Paris.

Frédéric Auguste Félix Wallerant (1858-1936)

Wallerant est maître auxiliaire au lycée de Lille entre 1879 et 1880. Il entre à l'Ecole Normale Supérieure en 1880 et obtient un an plus tard une licence en sciences mathématiques, en 1882 une licence en sciences physiques et en 1883 en sciences naturelles. Entre 1883 et 1887 Wallerant est chargé de cours puis professeur d'histoire naturelle au lycée de Marseille. En 1884 il est agrégé de sciences naturelles et entre 1884 et 1886 il est chargé de conférences en minéralogie à la Faculté des sciences de Marseille. Il obtient son doctorat ès sciences en 1889 sur la géologie des Maures et pendant trois ans il est professeur de géologie et de minéralogie à la Faculté des sciences de Rennes. Wallerant est ensuite nommé maître de conférences en géologie à l'Ecole Normale Supérieure entre 1891 et 1903 puis professeur de minéralogie à la Sorbonne jusqu'en 1933. Il publie un traité de minéralogie en 1891 notamment. Wallerant est élu membre de l'*Académie des sciences* en 1907 au sein de la section de minéralogie. Il est aussi membre de la *Société française de minéralogie et de cristallographie*, dont il a été président.

James Clifton Ward (1843-1880)

Ward intègre l'*Ecole royale des Mines* en 1861 et trois ans plus tard gagne la médaille Edward Forbes. Il intègre la *Geological survey* en 1865, puis il est envoyé dans le Yorkshire. Ward publie un article à ce propos dans la revue de la *Geological society* en 1869. Il s'intéresse aussi aux pratiques d'observations microscopiques et examine des roches de Lake District, dont il publie les résultats entre 1875 et 1876. En 1878, il entre dans les ordres. Il est nommé Vicaire de Rydal en 1880.

Abraham Gottlob Werner (1750-1817)

Werner fait partie d'une famille de mineur de fer et travaille avec son père à Wehrau pendant près de cinq ans. En 1775, il devient inspecteur et professeur l'Ecole des Mines de Freiberg et garde son poste pendant près de 40 ans. Il publie notamment en 1774 *Vonden äusserlichen kennzeichen der fossilien*. Il est élu en 1812 membre étranger à l'*Académie des sciences*. Werner est considéré comme le fondateur de l'école neptuniste et l'inventeur de géognosie.

William Crawford Williamson (1816-1895)

Le père de Williamson, John Williamson est jardinier et botaniste, ainsi que conservateur du muséum de Scarborough. Celui-ci est assez proche des géologues John Phillips et William Smith, qui apporte leur patronage à son fils. Le grand-père maternel de Williamson, bijoutier lapidaire de Scarborough, lui apprend à tailler et polir les pierres, capacité qu'il mettra plus tard à profil pour ses propres recherches en géologie. Il participe aux illustrations de l'ouvrage de Lindley et Hutton *Fossil Flora of great Britain* (1831-33). A partir de 1840, alors qu'il entre à l'*University College* de Londres, Williamson assiste aux réunions de la *Société Géologique de Londres* où il croise notamment Allan Sedgwick, Roderick Murchison et Basil Hall. Il rencontre également Charles Lyell et William Buckland. En 1851, il devient le premier professeur d'histoire naturelle et de géologie du *Owens College* de Manchester, dans lequel il enseigne durant dix-neuf ans. Elu membre de la *Royal Society* en 1854, il reçoit également en 1890 la médaille Wollaston de la *Geological Society*, récompensant ainsi ses travaux dans le domaine.

Henry Thomas Maire Witham of Lartington (1779-1844)

C'est lors de son mariage en 1800 avec Eliza Witham de Headlam, que Thomas Maire prend le patronyme de Witham. Il fonde, en 1829, la *Natural History Society of Northimberland, Duham and Newcastle upon Tyne*, dont il devient le vice-président. Il est également membre de la *Wernerian Natural History Society* ainsi que de la *Royal Society of Edinburgh* (1827). Witham est particulièrement intéressé par la paléobotanique et dédicace notamment son ouvrage *Observation on fossil* à James Hutton. Witham contribue par sa publication à développer l'étude des végétaux fossiles en sections fines.

William Hyde Wollaston (1766-1828)

Wollaston devient membre associé de la *Royal Society of London* en 1793. Près de 4 ans plus tard, il déménage à Londres. Il n'obtient pas le poste qu'il convoite au *Saint George's Hospital*. Cependant, en 1802, il gagne la médaille Copley de la *Royal Society of London* et

deux ans plus tard en devient le secrétaire. En 1802, il introduit une méthode pour déterminer l'indice de réfraction pour une réflexion interne totale. Wollaston invente en 1809 un nouveau goniomètre. Il entretient notamment des liens avec William Phillips à qui il apprend à se servir de son instrument. Entre 1818 et 1828, il s'implique dans le *Bureau des longitudes* et s'intéresse particulièrement aux instruments nautiques. De plus, en 1823, il est élu comme membre associé étranger à l'*Académie des sciences* de Paris.

Grégoire Wyrouboff (1843-1913)

Wyrouboff effectue des études de médecine et de philosophie à l'Université de Moscou. A partir de 1865, il suit en France les cours d'Auguste Comte et fonde la revue *La philosophie positive* en 1867. Wyrouboff étudie également les formes cristallines des cristaux et leurs structures ainsi que les liens entre compositions chimiques et formes cristallines. Il travaille également sur l'isomorphisme et sur la polarisation rotatoire de la lumière. Wyrouboff obtient la nationalité française en 1889 et publie la même année *Manuel pratique de cristallographie*. Il est également professeur au *Collège de France* à la chaire d'histoire générale des sciences en 1903. Il est membre de la *Société d'anthropologie de Paris* en 1873.

Ferdinand Zirkel (1838-1912)

Zirkel obtient son doctorat à Bonn en 1861. Il est ensuite nommé professeur de minéralogie à l'Université de Lemberg en 1863. Il publie une première édition de *Lehrbuch der Petrographie*, en 1866. Zirkel accepte la chaire de minéralogie de l'Université de Leipzig en 1870 et continue à travailler sur les observations microscopiques des roches. Il collabore avec Clarence King dès 1870 pour l'expédition du 40^{ème} parallèle aux Etats Unis et publie en 1876 le résultat de ses recherches sur la pétrographie microscopique, dans le volume 4. Il réécrit également son manuel qui paraît en 1894 en trois volumes. Il est nommé membre étranger de la *Royal Society of London* en 1897. Zirkel participe par ses recherches et ses publications à la mise en place d'une pratique de pétrographie microscopique.

Jovan M. Žujović (1856-1936)

Žujović établit une carte géologique de Serbie en 1886. Il intègre l'*Académie Royale* de Serbie en 1893. Il en devient le président entre 1915 et 1921. Il publie de nombreux ouvrages sur la géologie de la Serbie, dont *Sur les roches éruptives de la Serbie* et en 1893 *The Stone Age*, un ouvrage anthropologique. Žujović se consacre par la suite à la politique.

Fabricants

Firme R&J Beck, Fabricant.

Le commerce commence dans un premier temps par l'association de Richard Beck avec James Smith. J. Smith ouvre son propre magasin en 1837. R. Beck est le neveu de J. Lister et ce dernier s'arrange pour que R. Beck entre en apprentissage chez Smith, dès 1843. En 1847, les deux hommes entrent en partenariat et la compagnie est alors nommée Smith & Beck. Ils produisent des instruments d'optiques comme des microscope ou bien encore des télescopes. La firme obtient par exemple en 1851 la *Councils médal* pour les optiques des microscopes et en 1855 le prix microscopique de l'*Exposition de Paris*. En 1854, Joseph Beck, employé dans l'entreprise depuis près de trois ans, entre alors dans le capital. La firme est renommée Smith, Beck & Beck. J. Smith quitte l'entreprise en 1865 et cette dernière est alors renommée R & J Beck.

James William Bond (1803-1887), Fabricant.

Bond est un fabricant de sections fines de roches et de lames minces et qu'il vend autour des années 1830. Il est notamment recommandé par Quekett dans son ouvrage. Il est hypothétiquement le premier à utiliser du baume du Canada pour faire des montages de lames minces. Bond publie également quelques articles en 1833 dans le *Entomological magazine*.

Arnould Carangeot (1742-1806), Cristallographie, entomologie. Français.

Eduqué dans un petit séminaire, Carangeot migre à Paris à 20 ans. Il est alors le gestionnaire de plusieurs portefeuilles. Au contact de ses clients, il développe un intérêt pour les sciences naturelles. Il étudie alors la botanique, la minéralogie et l'entomologie. L'un des professeurs de Carangeot s'avère être Romé de L'Isle et en raison de demande particulière lié à la mesure des angles du quartz, Carangeot construit un instrument. Il s'agit du goniomètre inventé autour des années 1780.

Jean Gabriel Auguste Chevallier (1778-1848), Fabricant d'instruments, français.

Chevallier est un ingénieur en optique. Il est notamment membre de l'*Académie des sciences* de la ville d'Amiens. Il a contribué à l'amélioration de la construction de baromètres et de verres optiques. Il a par exemple publié *Instructions sur l'usage des cadrans solaires et universels* en 1806 ou bien encore en 1819 *Essai sur l'art de l'ingénieur en instruments de physique expérimentales en verre*.

William Hill Darker, Fabricant.

Darker est un fabricant de lames minces et de sections fines de roches et des fossiles. Il est présent sur le marché à partir des années 1830.

Jean-Adrien Deleuil, *Fabricant d'instruments.*

Deleuil est le fils de Louis-Joseph Deleuil (1795-1862). C'est un fabricant d'instruments qui est notamment le fournisseur des Facultés, des Ecoles Normales ainsi que de l'Observatoire de Paris.

C.R. Goring (1792-1840), *Microscopiste.*

Docteur en médecine et amateur en microscopie, Goring travaille en association avec A. Pritchard. Il publie de nombreux ouvrages avec le fabricant et participe au développement de l'usage du microscope pour conduire des observations d'objets en sections fines dans les années 1830. Goring serait à l'origine des illustrations présentées dans *Microscopic illustrations*.

Joseph Jackson Lister (1786-1869), *Fabricant*

Lister est le fils d'un marchand de vin et rejoint à 14 ans l'entreprise familiale. Il travaille également en parallèle à des expériences optiques et sur des microscopes notamment au 5 Tokenhouse Yard jusqu'en 1822. C'est avec le fils de sa sœur, Richard Low Beck qu'il fonde un commerce, spécialisé dans la fabrication et la vente d'instruments optiques. Elle porte le nom de R & J Beck Ltd. Lister s'intéresse également aux observations microscopiques et publie d'ailleurs avec Thomas Hodgkin un article sur les globules rouges.

Maison Nacet, *Fabricant de microscopes.*

Le fondateur de la maison est Camille Nacet (1801-1884). Il travaille chez Charles Chevalier en 1828 et se met à son compte en 1839. Il propose à la vente des doublets achromatiques. Le fils, Alfred Nacet (1831-1908) s'associe à son père en 1847 et travaille à améliorer les microscopes produits. L'entreprise prend le nom de Nacet et fils. Ils proposent à la vente des microscopes binoculaires et des microscopes à plusieurs oculaires pour effectuer des travaux en chimie, biologie mais aussi en cristallographie et pétrographie dès 1877. La maison Nacet absorbe la maison Hartnack et Prazmowski, en 1896.

John Thomas Norman (1807-1893), *Fabricant d'instruments et de préparations microscopiques.*

Norman ouvre un premier commerce en 1846 et celui-ci reste ouvert pendant près de 90 à la suite de sa reprise par ses fils Alfred et Edwin. Norman est considéré comme un préparateur de spécimen pour microscope. Il est notamment cité pour ses lames minces dans un ouvrage *Descriptive catalogue of fossil organic remains* issue du *The Royal College of Surgeons*. D'ailleurs, dans sa seconde édition de son ouvrage J. Quekett le mentionne également. A partir de la seconde moitié du XIX^e siècle, Norman fabrique aussi des microscopes.

Pixii, père et fils, *Fabricant d'instruments.*

Fabricant d'instruments localisé à Paris, Pixii père et fils sont les successeurs de Dumotiez. Leur commerce sera ensuite repris par Fabre et Kunemann. Ils fournissent en instrument l'Ecole Polytechnique, le Collège de France, la Faculté des sciences de Paris ainsi que d'autres institutions comme des collèges et des séminaires.

Cornelius H. Poulton (1814-1854), *Fabricant, opticien.*

Poulton est un préparateur d'objets pour microscope. Il est cité dans l'ouvrage de J. Quekett et prépare notamment des lames minces pour le musée du *Royal College of Surgeons*. Cornelius participe à la *Grande Exposition de Londres* de 1851 et y expose des objets préparés pour des observations microscopiques.

Andrew Pritchard (1804-1882), *Microscopiste, fabricant d'instrument.*

Pritchard fonde son commerce à partir de 1820. Il est à la fois fabricant d'instruments, opticien ainsi que microscopiste. Il écrit de nombreux ouvrages sur les observations microscopiques. Il aurait engagé les services de Darker, Topping et Bond avant que ceux-ci ne fonde leur propre commerce. Il est l'un des premiers à utiliser de la cire rouge pour colmater les extrémités des lames en verres et ainsi les rendre étanche.

Andrew Ross (1798-1859), *Fabricant d'instrument optique.*

Ross est l'apprenti de John Corless au sein de la *Joiners' Company* à partir de 1813. Il crée son propre commerce d'instruments optiques en 1830. Il collabore avec J. Lister entre 1837 et 1841, pour travailler sur des lentilles achromatiques pour microscopes. Ross est membre de la *Microscopical Society of London* et il reçoit de nombreuses récompenses pour ses instruments, dont la *Gold Isis Medal* de la *Society of Arts*.

Heinrich Daniel Ruhmkorff (1803-1877), *Fabricant.*

Ruhmkorff entre en apprentissage chez le mécanicien Wellhausen à Hannover et y reste jusqu'à ses 18 ans. Il passe ensuite près d'un an et demi à Paris où il assiste à des cours de physique. En 1824, Ruhmkorff va en Angleterre afin d'obtenir un poste dans l'atelier de l'inventeur de la presse hydraulique, Joseph Bramah. Puis, il revient ensuite en France où il travaille dans de nombreuses boutiques. Ruhmkorff trouve un emploi chez Charles Chevallier. En 1855, il fonde sa propre boutique.

Marc Secrétan (1804-1867), *Fabricant d'instruments optiques.*

Secrétan effectue des études de droit et de mathématiques à l'Académie de Lausanne et obtient une licence en droit en 1827. Il devient avocat puis juge au tribunal entre 1832 et 1837. Il est également dès 1828 enseignant en mathématiques à l'Académie de Lausanne. Secrétan devient professeur ordinaire de mathématiques et d'astronomie entre 1838 et 1844. Il travaille dès les années 1840 à la production de daguerréotypes en collaboration avec Friedrich von Martens et Samuel Heer. Secrétan part à Paris où il travaille avec Lerebours dès les années 1845 à la fabrication de télescopes et d'objectifs de lunettes astronomiques notamment. Il reprend en 1854 la firme de Lerebours et continue à fabriquer des instruments d'optiques.

Maison Soleil, *Fabricant d'instruments.*

En 1819, l'ingénieur et opticien Jean Baptiste François Soleil (1798-1878) fonde la maison Soleil et y fabrique des instruments d'optiques mais aussi de mathématiques. Il fournit de nombreux savants tels que Fresnel, Arago ou encore Babinet. Il invente en 1841 un

saccharimètre qui porte son nom. En 1843, il fabrique l'héliostat de J.T. Silbermann. Sa maison obtient de nombreuses récompenses aux expositions nationales de 1839 et 1841 ainsi que de la part de la *Société d'Encouragements* en 1841 et 1847. A l'*Exposition Universelle de Londres* de 1851, la section optique physique est uniquement consacrée aux produits de Duboscq et Soleil et ils obtiennent une médaille du conseil. En 1849 ; la maison est divisée en deux branches, dont l'une est confiée à Henri Soleil, le fils de Jean Soleil et l'autre à son gendre Jules Duboscq.

Charles Morgan Topping (?-1874), *Fabricant d'objets microscopiques.*

Topping établit son commerce dans les années 1830 et travaille avec de nombreux professionnels de la médecine, dont notamment J. Quekett.

Nicolas Vinçard (? -1788), *ingénieur fabricant d'instruments. Français.*

C'est un ingénieur spécialisé dans la fabrication d'instrument mathématique. Vinçard va sous la demande de Carangeot construire deux nouveaux modèles de goniomètre. A sa mort, son assistant Jean Baptiste-Pierre François Férat reprend la fabrique.

Francis Watkins senior (1723-1791).

Watkins effectue un apprentissage auprès de Nathaniel Adams, alors fabricant d'instruments à Londres. Il complète son savoir-faire avec Edward Scarlette senior et Henry Walder dans l'atelier *Archimedes, Globe and Sun* à Soho. Watkins fonde en 1747 une entreprise au 5 Charing Cross. Il y forme de nombreux apprentis comme Addison Smith, Henry Pyefinch. Entre 1758 et 1861, il conclut des accords avec John Dollond (1706-1761) mais aussi un partenariat avec Addison Smith. L'entreprise est renommée Watkins & Smith en 1784. Francis Watkins se retire de l'entreprise et son neveu Walter puis ensuite Jeremiah Watkins se charge de la gestion de celle-ci. William Hill devient un employé de la firme et le fils de Jeremiah, Francis Watkins (1800-1847) devient partenaire de celle-ci, qui est renommée alors Watkins & Hill. La firme participe à la Grande Exposition de Londres de 1851. Elle est acquise par la famille Elliot en 1856.

Bibliographie

Sources primaires

Archives

Affiches et programmes du Collège de France, programmes de cours annuels et semestriels (1874-1904). Consulté en ligne sur <https://salamandre.college-de-france.fr/pages/collections-numeriques.html>

FOUQUE, « Traduction du traité de pétrographie de Ferdinand Zirkel », Académie des sciences, Fonds Fouqué 28J, carton 2, 6.15, 1863, 178 pages.

FOUQUE Ferdinand André, « Carnet de pétrographie microscopique », Académie des sciences, Fonds Fouqué 28J, carton 3, 9.01, 1866-67, 101 pages.

FOUQUE Ferdinand André, « Carnet de pétrographie microscopique », Académie des sciences, Fonds Fouqué 28J, carton 3, 9.02, 1866-67, 81 pages.

FOUQUE Ferdinand André, « Carnet d'étude minéralogiques », Académie des sciences, Fonds Fouqué 28J, carton 3, 9.03, 1876, 125 pages.

FOUQUE Ferdinand André, « Carnet de pétrographie », Académie des sciences, Fonds Fouqué 28J, carton 3, 9.04, 61 pages.

FOUQUE Ferdinand André, « Correspondances », Académie des sciences, Fonds Fouqué 28J, carton 5.

Dictionnaires et encyclopédies

DIDEROT Denis et d'ALEMBERT Jean le Rond, *Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, Paris, 1751-1772, 17 volumes.

Dictionnaire de l'Académie française, 4^{ème} édition, Tome 2, Paris, Vve B. Brunet Editeur, 1762, 967 pages.

Dictionnaire de l'Académie française, 5^{ème} édition, Tome 1, J.J. Smits Editeur, Paris, 1798, 768 pages.

Dictionnaire de l'Académie française, 6^{ème} édition, Tome 1, Firmin-Didot frères, Paris, 1835, 911 pages.

Sources imprimées

ANONYME, « Description du petit microscope achromatique de M. Amici », *Annales de chimie et de physique*, 3^{ème} série, Tome 12, 1844, p.117-120 et planche 1, Figure 1.

ANONYME, « 3. The fossil Flora of Great Britain, or figures and descriptions of the vegetables remains found in a fossil state in this country. By Professor Lindley and Mr William Hutton », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Volume XII, October 1831 to April 1832, 1832, p. 396-397.

ANONYME, « Mittel, die Divergenz der beiden Bilder eines Kalkspaths so zu vergrößern, dafs nur eins zur Zeit gesehen wird », *Annalen der Physik und chemie*, Leipzig, Tome 205, série 2 Tome 29, 1833, p. 182-186

ANONYME, « On a method of so far increasing the divergency of the two rays in calcareous spar, that only one image may be seen at a time », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Volume XVI, October 1833 to April 1834, 1834, p. 372-376.

ANONYME, « 2-Micrographia: containing Practical Essays on Reflecting Solar, Oxy-Hydrogen Gas Microscopes, Micrometers, Eye-pieces, &c. By C.R. Goring et Andrew Pritchard, Esqrs., 1 vol. 8 vo pp.281. London, Whittaker and Compagny. », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Volume 22, Octobre 1826-Avril 1837, 1837, p. 205-206.

ANONYME, *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, Volume 3, 1851, p. 382.

ANONYME, *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, Volume 4, 1852, p. 13-15.

ANONYME, *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, Volume 7, 1855, p. 298.

ANONYME, *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, Volume 8, 1856, p. 308.

ANONYME, « The microscope in Geology », *Geological Magazine or monthly journal of geology*, Volume 4, Janvier-Décembre 1867, 1867, p.511-519.

ABISCH Herman, « Recherches sur la nature du feldspath », *Annales des Mines*, Série 3, Volume 19, 1841, p. 619-650.

ALLPORT Samuel, « On the Basalt of South Stafforshire », *Geological Magazine or monthly journal of geology*, Volume 6, Janvier-Décembre 1869, 1869, p.115-116.

ALLPORT Samuel, « On the microscopical structure and composition of a phonolite from the 'Wolf Rock' », *Geological Magazine or monthly journal of geology*, Volume 8, Janvier-Décembre 1871, 1871, p.247-250.

AMICI Giovanni Battista, « Note sur un appareil de polarisation », *Annales de chimie et de physique*, 3^{ème} série, Tome 12, 1844, p.114-117 et planche 1 Figure 2.

APJOHN James, « On the composition and Optical properties of Hyalite », *Proceedings of the Royal Irish Academy*, Volume 3, 1844-1847, 1847, p. 521-524.

ARAGO Louis et FRESNEL Auguste, « Mémoire sur l'action que les rayons de lumière polarisées exercent les uns sur les autres », *Annales de chimie et de physique*, Tome 10, 1819, p. 288-305.

AUBUISSON DE VOISINS Jean François d', *Traité de géognosie ou exposé des connaissances actuelles sur la constitution physique et minérale du globe terrestre*, Nouvelle édition, Tome premier, Imprimerie de Levrault, Strasbourg, 1828, 524 pages.

BABINET Jacques, « Précis d'un mémoire sur les caractères optiques des minéraux », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 4, Janvier-Juin 1837, 1837, p. 758-766.

BARTHOLIN Erasmus, *Experimenta crystalli islandici disclastici – quibus mira et insolita refraction detegitur*, sumptibus Danielis Paulli, Hafinae, 1670, 60p.

BAUDRIMONT Alexandre Edouard, « Partie Anorganique comprenant la Minéralogie et la géologie » dans G.J. Martin Saint-Ange et F.E. Guérin, *Traité élémentaire d'Histoire Naturelle*, V^e Legras Imbert éditeurs, Paris, 1839, 279 pages.

BECQUEREL Antoine, « Recherches sur le pouvoir moléculaire rotatoire de l'albumine du sang et des liquides organiques. Description d'un albuminimètre », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 29, Juillet-Décembre 1849, 1849, p. 625-629.

BECQUEREL Edmond, « Note sur l'action du magnétisme sur tous les corps », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 22, Janvier-Juin 1846, 1846, p. 952-961.

BERTIN, « Note sur le microscope polarisant de Nörremberg », *Annales de Chimie et de Physique*, 3^{ème} série, Tome 69, 1863, p. 87-97 et planche 1.

BERTHELOT Marcelin, « Notice sur la vie et les travaux de Ferdinand Fouqué », Lue à l'Académie des sciences dans la séance publique du 17 décembre 1906, 25 pages.

BERZELIUS Jöns Jacob, *Nouveau système de minéralogie*, Méquignon-Marvis Libraire, Paris, 1819, 314 pages.

BEUDANT François Sulpice, « Rapport sur un mémoire de M. Babinet concernant les caractères optiques des minéraux », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 9, Juillet-Décembre 1839, 1839, p.731-734.

BIOT Jean-Baptiste, « Sur un mode particulier de polarisation qui s'observe dans la Tourmaline », *Nouveau Bulletin des Sciences, par la Société Philomathique de Paris*, 1815, Paris, p. 26-27.

BIOT Jean-Baptiste, « Nouvelles expériences sur le développement des forces polarisantes par la compression dans tous les sens des cristaux », *Annales de chimie et de physique*, Tome 3, 1816, p. 386-394.

BIOT Jean-Baptiste, « Sur l'utilité des lois de la polarisation de la lumière pour manifester l'existence et la nature des systèmes cristallins », *Annales de chimie et de physique*, Tome 8, 1818, p. 438-440.

BIOT Jean-Baptiste, « Sur les propriétés optiques de la chaux carbonatée magnésifère vulgairement nommée Bitterspath », *Annales de chimie et de physique*, Tome 14, 1820, 192-198.

BIOT Jean-Baptiste, « Sur une nouvelle propriété physique qu'acquièrent les lames de verres quand elles exécutent des vibrations longitudinales », *Annales de chimie et de physique*, Tome 13, 1820, p.151-155.

BIOT Jean-Baptiste, « Sur un point de l'histoire de l'optique relatif aux phénomènes de polarisation », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 15, Juillet-Décembre 1842, 1842, p. 962-975.

BIOT Jean Baptiste, « Note de M. Biot, sur deux produits chimiques obtenus par M. Mitscherlich », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 23, Juillet-Décembre 1846, 1846, p. 909-910.

BLEICHER Gustave-Marie, « Sur quelques perfectionnements apportés à la préparation et à l'étude de plaques minces de roches sédimentaires calcaires », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 120, Janvier-Juin 1895, 1895, p.1129-1131.

BOUE Ami, « Résumé des progrès de la Géologie en 1831 », *Bulletin de la Société Géologique de France*, Tome 2, années 1831-1832, 1832, p.133-218.

BOUE Ami, « Résumé des progrès de Géologie et de quelques-unes de ses principales applications, pendant l'année 1832 », *Bulletin de la Société Géologie de France*, Tome 3, années 1832-1833, 1833, p. 375-563.

BREWSTER David, « On some properties of light », *Philosophical Transactions of Royal Society of London*, Volume 103, 1813, p. 101-109.

BREWSTER David, « On the affections of light transmitted through crystallized bodies », *Philosophical Transactions of Royal Society of London*, Volume 104, 1814, p. 187-218 + planches.

BREWSTER David, « Sur la différence qui existe entre les propriétés optiques de l'arragonite et celles du spath calcaire », *Annales de chimie et de physique*, Tome 6, 1817, p. 104-106.

BREWSTER David, « On the laws of polarisation and double refraction in regularly crystallized bodies », *Philosophical Transactions of Royal Society of London*, Volume 108, 1818, p. 199-273.

BREWSTER David, « On the optical and physical properties of tabasheer », *Philosophical Transactions of Royal Society of London*, Volume 109, 1819, p. 283-299.

BREWSTER David, « Observations sur les minéraux pyro-électriques », *Annales de chimie et de physique*, Tome 28, 1825, p. 161-164.

BREWSTER David, « Sur les pouvoirs réfringens de deux nouveaux fluides contenus dans les cavités de certains minéraux », *Annales de Chimie et de Physique*, Tome 33, 1826, p.103-107.

BREWSTER David, « Account of a remarkable peculiarly in the structure of glauberite, which has one axis of double refraction for violet, and two axes for red light », *The Edinburgh Journal of Science*, Volume 10, n°20, Octobre- Avril, 1829, p. 325-327.

Brewster David, « On the laws of the polarization of light by refraction », *Philosophical Transactions of Royal Society of London*, Volume 120, 1830, p. 133-144.

BREWSTER David, « On the colours of mixed Plates », *Philosophical Transactions of Royal Society of London*, Volume 128, 1838, p. 73-77.

BRONGNIART Adolphe, « Observations sur quelques Végétaux fossiles du Terrain houiller, et sur leurs rapports avec les Végétaux vivans », *Annales des sciences naturelles*, Tome 4, 1825, p.23-33.

BRONGNIART Adolphe, *Histoire des végétaux fossiles ou Recherches botaniques et géologiques sur les végétaux renfermés dans les diverses couches du globe*, Tome 1, G. Dufour et Ed. D'Ocagne, Libraires-Editeurs, Paris, 1828, 488p.

- BRONGNIART Adolphe, « Observations sur la structure intérieure du *Sigillaria elegans* comparée à celle des *Lepidodendron* et des *Stigmaria* et à celles des végétaux vivants », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 11, Juillet-Décembre 1840, 1840, p. 921.
- BRONGNIART Alexandre, *Traité élémentaire de Minéralogie avec des applications aux arts*, Tome 1 et Tome 2, Imprimerie de Crapelet, Paris, 1807, 564 pages et 443 pages.
- BRONGNIART Alexandre, *Introduction à la minéralogie ou exposé des principes de cette science*. Article inséré dans le tome 31 du Dictionnaire des sciences naturelles au mot Minéralogie, F.G. Levrault, libraire-éditeur, Paris, 1825, 159 pages et planches.
- BRYSON Alexander, « On an improved method of preparing siliceous and other fossils for microscopic investigation, with a description of a new pneumatic chuck », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Série 2, Volume 3, Janvier-Avril 1856, 1856, p. 297-304.
- CACARRIE, « Analyse microscopique et chimique de roches recueillies dans le département des Deux-Sèvres », *Annales des mines*, Série 4, Tome 4, 1843, p. 157-165.
- CAUCHY Augustin L. (rapporteur), « Rapport concernant un Mémoire de M. Jamin sur la réflexion de la lumière à la surface des corps transparents », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 28, Janvier-Juillet 1849, 1849, p. 121-126.
- CAYEUX Lucien, « Diffusion des trois formes distinctes de l'oxyde de titane dans le crétacé du nord de la France », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 112, Janvier- Juin 1891, 1891, p.1279-1280
- CAYEUX Lucien, « Composition minéralogique et structure des silex du gypse des environs de Paris », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 120, Janvier-Juin 1895, 1895, p.391-94.
- CHEVALIER Charles, *Des microscope et de leur usage, Manuel complet du micrographe*, Imprimerie d'Ed. Proux et Compagnie, Paris, 1839, 284 pages et planches.
- COQUAND Henri, *Traité des roches considérées au point de vue de leur origine, de leur composition, de leur gisement et de leurs applications à la géologie et à l'industrie*, Imprimerie de Dodivers et C^e, Besançon, 1857, 423 pages.
- CORDIER Pierre Louis, *Mémoires sur les substances minérales dites en masses, qui entrent dans la composition des Roches Volcaniques de tous les âges*, Imprimerie de Mme V^e Courcier, 1815, Paris, 87 pages.
- CORDIER Pierre Louis, par d'Orbigny Charles, *Description des roches composant l'écorce terrestre et des terrains cristallins constituant le sol primitif*, Dunod et Savy, Paris, 1868, 553 pages.
- CREDNER Carl Hermann, *Traité de géologie et de paléontologie*, Editeur F. Savy, 1879, Paris , 671pages.
- DAMOUR Alexis, « Examen minéralogique d'une roche désignée sous le nom de Lherzolite » *Bulletin de la Société Géologique de France*, Série 2 Tome 19, années 1861-1862, 1862, p.413-416.

DAMOUR Alexis et DES CLOIZEAUX Alfred, « Mémoire sur la réunion de la mellilite et de la humboldtilite en une seule et même espèce », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 17, Juillet-Décembre 1843, 1843, p. 1245-1246.

DAMOUR Alexis et DES CLOIZEAUX Alfred, « Deux mémoires sur la description de quatre arsénates de cuivre différents », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Séance du 20 janvier 1845, Tome 20, Janvier-Juin 1845, 1845, p.148-150.

DAUBENTON Louis-Jean-Marie, *Tableau méthodique des minéraux suivant leurs différentes natures Et avec des caractères distinctifs, apparens ou faciles à reconnoître*, 5^{ème} édition, Imprimerie de Du Pont, Paris, an 4 de la République (1795-96), 57 pages.

DAUBREE Gabriel Auguste, « Recherche sur la formation du minerai de fer des marais et des lacs », *Annales des Mines*, Série 4, Volume 10, 1846, p. 37-68.

DUBUISSON François René André, *Essai d'une méthode géologique, ou Traité abrégé des roches*, Imprimerie Mellinet-Mallassis, Nantes, 1819, 106 pages.

DUJARDIN Félix, *Nouveau manuel complet de l'observateur au microscope*, Editeur Roret, Paris, 1843, 330 pages.

DELESSE Achille, « Mémoire sur la constitution minéralogique et chimique des roches des Vosges », *Annales des Mines*, Série 4, Volume 12, 1847, p. 195-282.

DE ROUVILLE, « Sur les terrains jurassiques supérieurs du département de l'Hérault », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 76, Janvier-Juin 1873, 1873, p.59-60.

DES CLOIZEAUX Alfred, « Note sur une astérie du diamant », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, séance du 24 février 1845, Tome 20, Janvier-Juin 1845, 1845, p. 514-516.

DES CLOIZEAUX Alfred, « Sur la christinaite, nouvelle espèce minérale », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 25, Juillet-Décembre 1847, 1847, p. 710-711.

DES CLOIZEAUX Alfred, « Recherches physiques et cristallographiques sur le quartz » (Rapport sur un mémoire), *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 40, Janvier-Juin 1855, 1855, p.1132-1138.

DES CLOIZEAUX Alfred, « Mémoire sur l'emploi des propriétés optiques biréfringentes pour la distinction et la classification des minéraux cristallisés », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 44, Janvier-Juin 1857, 1857, p. 322-325.

DES CLOIZEAUX Alfred, *De l'emploi des propriétés optiques biréfringentes en minéralogie*, Thèse présentée à la faculté des sciences de Paris, Imprimé par E. Thunot et C^{ie}, Paris, 1857, 83 pages.

DES CLOIZEAUX Alfred, « Nouvelles recherches sur les propriétés biréfringentes des corps cristallisés », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 48, Janvier-Juin 1859, 1859, p. 263-267.

DES CLOIZEAUX Alfred, « Mémoire sur un nouveau procédé propre à mesurer l'indice moyen et l'écartement des axes optiques dans certaines substances où cet écartement est très grand, et sur la séparation de plusieurs espèces minérales regardées jusqu'ici comme isomorphes »,

Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences, Tome 52, Janvier-Juin 1861, 1861, p. 784-790.

DES CLOIZEAUX Alfred, *Manuel de Minéralogie*, Tome 1, Editeur Dunod, Paris, 1862, 572 pages et planches.

DES CLOIZEAUX Alfred, « Note sur la classification des roches dites hypérites et euphotides », *Bulletin de la Société Géologique de France*, Série 2 Tome 21, années 1863-1864, 1864, p.105-109.

DES CLOIZEAUX Alfred, *Mémoire sur l'emploi du microscope polarisant et sur l'étude des propriétés optiques biréfringentes propres à déterminer le système cristallin dans les cristaux naturelles ou artificiels*, Editeur Dunod, Paris, 1864, 39 pages et planches.

DES CLOIZEAUX Alfred, « Sur la forme clinorhombique à laquelle on doit apporter l'harmotome et la Wöhlérite ; d'après de nouvelles recherches sur la dispersion de leurs axes optiques », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 66, Janvier-Juin 1868, 1868, p.199-202.

DOVE Heinrich Wilhelm, « Versuche über Circularpolarisation des Lichtes », *Annalen der Physik und chemie*, Tome 111, Série 2 Tome 35, 1835, p. 579-596.

DOVE Heinrich W., « Beschreibung eines Apparates für geradlinige, elliptische und circulare Polarisation des Lichtes », *Annalen der Physik und chemie*, Tome 111, Série 2 Tome 35, 1835, p. 596-609.

DOVE Heinrich W., « Versuche über subjective Complementarfarben », *Annalen der Physik und chemie*, Tome 121, Série 2 Tome 45, 1838, p. 158-162.

DUFRENOY Ours-Pierre-Armand Petit, « Examen chimique et microscopique de quelques cendres volcaniques », *Annales des Mines*, Série 3, Tome 12, 1837, p. 355-372.

DUFRENOY Armand, « Nature minéralogique et composition chimique des cendres lancées par deux volcans de l'Amérique tropicale », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 6, Janvier-Juin 1838, 1838, p. 174-178.

DUFRENOY Armand, *Traité de minéralogie*, Tome premier, Laboratoire de Geologie, 1844, Paris, 669 pages.

DUPARC Louis et MRAZEC Ludovic, « Sur un schiste à chloritoïde des Carpathes », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 116, Janvier-Juin 1893, 1893, p.601-603.

DUPARC Louis et DELEBECQUE André, « Sur les gabbros et les amphibolites du massif de Belledonne », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 118, Janvier-Juin 1894, 1894, p.673-675.

DUPARC Louis et PEARCE Francis, « Sur les microgranulites du Val Ferret », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 123, Juillet-Décembre 1896, 1896, p.617-619.

ELIE DE BEAUMONT Léonce, « Note sur la composition des cendres du volcan de Cosiguina », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 5, Juillet-Décembre 1837, 1837, p. 76-77.

ELIE DE BEAUMONT Léonce, « Remarques comparatives sur les cendres de l'Etna et sur celles du volcan de la Guadeloupe » *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 4, Janvier-Juin 1837, 1837, p. 743- 746.

FAUJAS DE SAINT-FOND Barthélémy, *Minéralogie des volcans, ou description de toutes les substances produites ou rejetées par les feux souterrains*, Imprimerie de Clousier, Paris, 1784, 511 pages.

FISCHER Leopold Heinrich, *Chronologischer Überblick über die allmalige Einführung der Mikroskopie in das Studium der Mineralogie, Petrographie und Paläontologie*, 1868.

FLEURIAU DE BELLEVUE Louis Benjamin, « Mémoire sur les cristaux microscopiques et en particulier sur la séméline, la mélilite, la pseudo-somnite et le selce-romano », *Journal de Physique et de Chimie et d'Histoire Naturelle et des Arts*, Tome 51, 1800, p. 442-461.

FOUQUE Ferdinand André, *Mode d'emploi particulier du thermomètre en médecine*, thèse de doctorat en médecine, 1858.

FOUQUE Ferdinand André, « Sur l'éruption de l'Etna du 31 janvier 1865, lettre de M. Fouqué à M. Ch. Sainte-Claire Deville », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 60, Janvier-Juin 1865, 1865, p. 548-555.

FOUQUE Ferdinand André, « Sur l'éruption de l'Etna du 31 janvier 1865, deuxième lettre de M. Fouqué à M. Ch. Sainte-Claire Deville (extrait) », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 60, Janvier-Juin 1865, 1865, p.1135-1142.

FOUQUE Ferdinand André, « Sur l'éruption de l'Etna du 31 janvier 1865, troisième lettre de M. Fouqué à M. Ch. Sainte-Claire Deville (extrait) », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 60, Janvier-Juin 1865, 1865, p.1185- 1189.

FOUQUE Ferdinand André, « Sur l'éruption de l'Etna du 1^{re} février 1865, quatrième lettre de M. Fouqué à M. Ch. Sainte-Claire Deville », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 60, Janvier-Juin 1865, 1865, p. 1331-1335.

FOUQUE Ferdinand André, « Sur l'éruption de l'Etna du 1^{re} février 1865, lettre de M. Fouqué à M. Elie de Beaumont », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 61, Juillet-Décembre 1865, 1865, p. 210-212.

FOUQUE Ferdinand André, « Sur l'éruption de l'Etna et sur les phénomènes éruptifs de l'Italie méridionale, cinquième lettre de M. Fouqué à M. Ch. Sainte-Claire Deville », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 61, Juillet-Décembre 1865, 1865, p. 421-424.

FOUQUE Ferdinand André, « Sur la nouvelle éruption de Santorin, lettre de M Fouqué à M. Elie de Beaumont », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 62, Janvier-Juin 1866, 1866 p. 796 -799.

FOUQUE Ferdinand André, *Recherches sur les phénomènes chimiques qui se produisent dans les volcans*, Thèses présentés à la Faculté des sciences de Paris, 9 août 1866, Gauthier-Villars, 1866, Paris, 82 pages.

FOUQUE Ferdinand André, « Sur les gaz qui se dégagent en mer, du lieu de l'éruption qui s'est manifesté aux Açores le 1^{er} juin 1867 extrait de lettre de M. Fouqué à M. Ch. Sainte-Claire

Deville », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 65, Juillet-Décembre 1867, 1867, p. 674 à 675.

FOUQUE Ferdinand André, « *Sur les phénomènes volcaniques observés à Terceira (îles des Açores), première lettre de M. Fouqué à M. Ch. Sainte-Claire Deville* », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 65, Juillet-Décembre 1867, 1867, p. 965 à 968.

FOUQUE Ferdinand André, « *Sur les inclusions vitreuses renfermées dans les feldspaths des laves de Santorin* », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 77, Juillet-Décembre 1873, 1873, p.1322-1325.

FOUQUE Ferdinand André, « *Travaux scientifiques étrangers, La pétrologie en Allemagne, ses méthodes nouvelles et ses laboratoires en Autriche et en Allemagne* », *La Revue scientifique de la France et de l'étranger : revue des cours scientifiques*, Série 2 Tome 8, Janvier-Juillet 1875, 1875, p.805- 809.

FOUQUE Ferdinand André, « *Etude des nodules à Oligoclase des laves de la dernière éruption de Santorin* », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 81, Juillet-Décembre 1875, 1875, p.220-223.

FOUQUE Ferdinand André, *Notice sur les travaux scientifiques de M. Fouqué*, Imprimeur Gauthier-Villars, 1876, Paris, 35 pages.

FOUQUE Ferdinand André, « *Détermination des minéraux microscopiques des roches, Collège de France, Histoire naturelle des corps inorganiques, Cours de M. Fouqué* », *La Revue scientifique de la France et de l'étranger : revue des cours scientifiques*, Série 2 Tome 11, Juillet 1876-Janvier 1877, 1876, p. 589-596.

FOUQUE Ferdinand André, « *Les propriétés optiques des cristaux biréfringents, recherche de M. Michel-Lévy, Collège de France, Histoire naturelle des corps inorganiques, Cours de M. Fouqué* », *La Revue scientifique de la France et de l'étranger : revue des cours scientifiques*, Série 2 Tome 15, Juillet 1878-Janvier 1879, 1879, p. 38-47.

FOUQUE Ferdinand André, « *Les applications modernes du microscope à la géologie* », *Revue des deux mondes*, Tome 34 Période 3, Juillet-Août 1879, 1879, p.406-431.

FOUQUE Ferdinand André et Michel-Lévy Auguste, *Minéralogie micrographique, roches éruptives françaises*, Imprimerie de A. Quantin, Paris, 1879, 509 pages.

FOUQUE Ferdinand André, *Santorin et ses éruptions*, G. Masson, Paris, 1879, 440 pages.

FOUQUE Ferdinand André, « *La pétrologie, de la place qu'elle doit occuper dans les programmes universitaires et des modifications principales à apporter dans ces programmes en ce qui concerne les sciences géologiques, Enseignement des sciences* », *La Revue scientifique de la France et de l'étranger : revue des cours scientifiques*, Série 2 Tome 19, Juillet 1880-Janvier 1881, 1880, p.18-20.

FOUQUE Ferdinand André et Michel-Lévy Auguste, « *Reproduction artificielle des basaltes* », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 92, Janvier-Juillet 1881, 1881, p.367-369.

FOUQUE Ferdinand André et Michel-Lévy Auguste, *Synthèse des minéraux et des roches*, Editeur Masson, Paris, 1882, 423 pages.

- FRIEDEL Charles, « Minéralogie, Cours de M. Friedel, Histoire de la minéralogie », *La Revue scientifique de la France et de l'étranger : revue des cours scientifiques*, Série 2 6^{ème} année, Tome 22, Juillet 1876- Janvier 1877, 1876, p.505-511.
- FROSSARD Charles Louis, « Sur les roches métamorphiques de Pouzac (Hautes-Pyrénées) », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 110, Janvier-Juin 1890, 1890, p.1013.
- GEIKIE Archibald, *Text-book of Geology*, MacMillian, 1882, Londres, 971 pages.
- GEIKIE Archibald, *The Founders of Geology*, MacMillian & co, 1897, Londres, 297 pages.
- GENTIL Louis, « Sur la microstructure de la mélilite », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 118, Janvier-Juin 1894,1894, p.998-1001.
- GIRARDIN Jean et LECOQ Henri, *Elemens de Minéralogie appliquée aux sciences chimiques, ouvrage basé sur la méthode de M. Berzelius*, Tome 1 et Tome 2, Imprimerie de Huzard-Courgier, Paris, 1826, 522 pages et 490 pages et planches.
- GIRAUDET Alexis, *Nouveau traité de géologie ou exposé de l'état actuel de cette science*, Imprimeurs Mame et Ci^e, Tours, 1843, 408 pages et planches.
- GONNARD Ferdinand, « Sur la diffusion de la christianite dans les laves anciennes du Puy-de-Dôme et de la Loire », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 98, Janvier-Juin 1884, 1884, p. 839-841.
- GORECKI Ladislas Xavier, *Du microscope appliqué à l'étude de la minéralogie et de la pétrographie. Minéralogie Micrographique*, A. Delahaye et E. Lecrosnier, Paris, 1887, 82 pages.
- GRATELOUP Jean Baptiste de, *Mémoire sur l'optique. Moyen de perfectionner les objectifs des lunettes achromatiques*. Paris, 1788, 14 pages.
- GRIFFITH John William, « On the different modes of preserving microscopic objects », *The Annals and Magazine of Natural History*, Volume 12, 1843, p.113-117.
- GUILLEMIN, « Observation sur la nature des organes microscopiques, situés sur les vaisseaux communément appelés poreux dans le bois des conifères », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 3, Juillet-Décembre 1836,1836, p. 761-763.
- HAÛY René Just, *Essai d'une théorie sur la structure des cristaux, appliquée à plusieurs genres de substances cristallisées*, Imprimerie Demonville, Paris, 1784, 236 pages et planches.
- HAÛY René Just, *Traité de minéralogie*, Tome premier, Imprimerie de Delange, Paris, 1801, 494 pages.
- HAÛY René Just, *Tableau comparatif des résultats de la cristallographie et de l'analyse chimique, relativement à la classification des minéraux*, Imprimeur Courcier, Paris, 1809, 312 pages et planches.
- HASSENFRATZ Jean-Henri, articles sur les Goniomètres, *Encyclopédie méthodique. Physique*, Tome 3, 1793-1822, p. 374- 378.
- HUOT Jean-Jacques-Nicolas, *Nouveau manuel complet de géologie ou Traité élémentaire de cette science*, Libraire encyclopédique de Roret, Paris, 1840, 335 pages.

INOSTRANZEFF Alexander Alexandrowitsch, « Sur les formes du platine dans sa roche mère de l'Oural », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 118, Janvier-Juin 1894, 1894, p.264-65.

JANNETTAZ Edouard, *Les roches, Description de leurs éléments, Méthode de détermination*, Paris, Editeur J. Rothschild, 1874, 285 pages.

JAMESON Robert, « Proceedings of the Wernerian Natural History Society », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Volume 29, Avril-Octobre 1840, 1840, p. 175.

JENZSCH, « Beiträge zur Kenntniss einiger Phonolithe des böhmischen Mittelgebirges. Mit besonderer Berücksichtigung des Baues dieses Gebirges. Eine lithologische Abhandlung », *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, Volume 8, 1856, p. 167-210.

JENZSCH, « Mikroskopische und chemisch-analytische untersuchung des bisher für Melaphyr gehaltenen Gesteines von Hohen berge Bei Neurode in Schlesien », *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, Volume 9, 1857, p. 435-436.

JOLY et LEYMERIE Alexandre, « Recherches sur les Nummulites » *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 25, Juillet-Décembre 1847, 1847, p. 591-592.

KILLIAN Wilfrid, « Sur un gisement de syénite dans le massif du mont Genève (Hautes-Alpes) », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 125, Juillet-Décembre 1897, 1897, p.61-64.

LACROIX Alfred, « Etude pétrographique d'un gabbro à olivine de la Loire-Inférieure », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 104, Janvier-Juin 1887, 1887, p.870-872.

LACROIX Alfred, « Note sur une roche à wernérite granulitique des environs de Saint-Nazaire », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 104, Janvier-Juin 1887, 1887, p.1011-1012.

LACROIX Alfred, « Sur une roche à amphibole sodique (riebeckite), astrophyllite, pyrochlore et zircon du Colorado », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 109, Juillet- décembre 1889, 1889, p. 39-41.

LACROIX Alfred, « Sur l'existence de roches à leucite dans l'Asie Mineure et sur quelques roches à hypersthène du Caucase », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 110, Janvier-Juin 1890, 1890, p.302-304.

LACROIX Alfred, « Sur la syénite éléolithique de Montréal (Canada) et sur les modifications de contact endomorphes et exomorphes de cette roche », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 110, Janvier-Juin 1890, 1890, p.1152-1154.

LACROIX Alfred, « Sur l'existence de la leucite en veinules dans un basalte du Mont Dore », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 113, Juillet-Décembre 1891, 1891, p.751-753.

LACROIX Alfred, « Sur les enclaves de syénites néphéliniques trouvées au milieu des phonolithes du Höhgau et de quelques gisements, conclusion à en tirer », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 112, Janvier-Juin 1891, 1891, p.1323-1325.

LACROIX Alfred, *Minéralogie de la France et de ses colonies; description physique et chimique des minéraux, étude des conditions géologiques de leurs gisements*, , 5 tomes, Editeurs Baudry et Cie, Librairie Polytechnique, 1893-1913, Paris.

LACROIX Alfred, « Sur des roches basiques à néphiline du plateau central de la France », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 116, Janvier-Juin 1893, 1893, p.1075-1078.

LACROIX Alfred, « Sur les roches basiques constituant des filons minces dans la lherzolite des Pyrénées », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 120, Janvier-Juin 1895, 1895, p.752-755.

LACROIX Alfred, « Sur les phénomènes de contact de la lherzolite des Pyrénées », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 120, Janvier-Juin 1895, p.339-342.

LACROIX Alfred, « Les tufs volcaniques de Ségalas (Ariège). Conclusions à tirer de leur étude au sujet de l'origine des ophites », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 122, Janvier-Juillet 1896, p.146-49.

LACROIX Alfred, *La montagne Pelée et ses éruptions*, Editeur Masson et Cie, 1904, Paris, 662 pages.

LACROIX Alfred, « Notice historique sur Auguste Michel Lévy, membre de la section de minéralogie », lue dans la séance publique annuelle du 21 décembre 1914, 52 pages, http://www.academie-sciences.fr/pdf/eloges/michellevy_vol3268.pdf

LACROIX Alfred, « Notice Historique sur François Sulpice Beudant et Alfred-Louis-Olivier Legrand Des Cloizeaux, membres de la section de Minéralogie de l'Académie des sciences », lue dans la séance publique annuelle du 15 décembre 1930 de l'Académie des sciences.

LASAULX Arnold von, « Ueber die specifischem Gewichte basaltischer Laven », *Annalen der Physik und chemie*, Tome 212, série 2 tome 136, 1869, p. 509-512 et planches.

LASAULX Arnold von, « Petrographische Studien an den vulcanischen Gesteinen der Auvergne », *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde*, 1870, p.693-718.

LASAULX Arnold de, *Précis de Pétrographie, introduction à l'étude des roches*, Paris, Rothschild éditeur, 1887, 378 pages.

LAUNAY Louis de, « Sur les roches diamantifères du Cap et leurs variations en profondeur », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 125, Juillet-Décembre 1897,1897, p.335-337.

LE BLANC, « Lecture d'une lettre de M. Louis Zeitner », *Bulletin de la Société Géologique de France*, Série 2 Tome 3, années 1845-1846, 1846, p.62

LEGG M. S. « On the application of polarized light in microscopic investigations », *The Transactions of the Microscopical Society of London*, Volume 2, 1849, p. 83-88 et planches.

LEGG M. S., « Addendum to the paper "On the application of polarized light in microscopic investigation", *The Transactions of the microscopical Society of London*, Volume 2, 1849, p. 122.

LEHMANN Jean-Gottlob, *L'art des Mines ou introduction aux connoissances nécessaires pour l'exploitation des mines métalliques*, traduit de l'Allemand, Tome premier, Paris, 1759, 419 pages.

LE VERRIER Urbain Jean Joseph, « Sur une venue de granulite à riebeckite de Corse », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 109, Juillet-Décembre 1889, 1889, p.38-39.

LINDLEY John et HUTTON William, *The fossil flora of Great Britain; or Figures and descriptions of the vegetable remains in a fossil state in this country*, volume 1, James Ridgway, Londres, 1831-33, 218 pages.

LINDLEY John et HUTTON William, *The fossil flora of Great Britain; or Figures and descriptions of the vegetable remains in a fossil state in this country*, volume 2, James Ridgway, Londres, 1833-35, 208 pages,

LINDLEY John et HUTTON William, *The fossil flora of Great Britain; or Figures and descriptions of the vegetable remains in a fossil state in this country*, volume 3, James Ridgway, Londres, 1837, 207 pages,

LINK, « Sur l'origine de la Houille et des lignites d'après l'observation microscopique », *Annales des Mines*, Série 3, Tome 17, 1840, p. 573-575.

MAC CULLAGH James, « On a new optical instrument », *Proceedings of the Royal Irish Academy*, Volume 1 1837-1838, 1841, p. 158-160.

MAC GILLIVRAY William, « Remarks on Mr Nicol's Observations on the structure of recent and fossil coniferea », *The Edinburg New Philosophical Journal*, Volume 17, October 1833 to April 1834, 1834, p. 369-372.

MALLARD François Ernest, « La carte géologique-agronomique du département de la Haute-Vienne », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 70, Janvier-Juin 1870, 1870, p.325-326.

MALUS Etienne Louis, « Propriété de la lumière réfléchiée par les corps diaphanes », *Procès-verbaux des séances de l'Académie des sciences*, Tome 4, 1808-1811, p.145-147.

MARTINS Charles, « Note sur les roches volcaniques du bassin de Commeny (Allier) et la transformation de la houille en anthracite qui s'observe au contact de l'une d'elles », *Bulletin de la Société Géologique de France*, Tome 8 Série 2, Années 1850-1851, 1851, p.13-24

MATTHIESSEN Augustus, « Sur les anneaux colorés produits dans un solide transparent limité par une surface plane combinée avec une surface courbe », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 18, Janvier-Juin 1844, 1844, p. 710.

MEUNIER Stanislas, « Présence de la zirconsyénite aux îles canaries », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 79, Juillet-Décembre 1874, 1874, p. 594-595.

MEUNIER Stanislas, « Observation sur quelques roches asphaltiques et sur l'origine de l'asphalte », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 123, Juillet-Décembre 1896, 1896, p.1327-1329.

MICHEL-LEVY Auguste, « Note sur quelques roches analogues aux porphyres granitoïdes de la Loire », *Bulletin de la Société Géologique de France*, Tome 2 Série 3, Années 1873-1874, 1874, p.60-67.

MICHEL-LEVY Auguste, « De quelques caractères microscopiques des roches anciennes acides, considérées dans leurs relations avec l'âge des éruptions », *Bulletin de la Société Géologique de France*, Tome 3 série 3, Années 1874-1875, 1875, p.199-236 et planches.

MICHEL-LEVY Auguste, « De l'emploi du microscope polarisant à la lumière parallèle pour la détermination des espèces minérales contenues dans les plaques minces de roches éruptives », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 86, Janvier-Juin 1878, 1878, p.346-348.

MICHEL-LEVY Auguste, « Sur les positions d'égalité lumineuse dans les cristaux maclés, entre nicols croisés. Application à l'étude des bandes concentriques des feldspaths », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 94, Janvier-Juin 1882, 1882, p.93-96.

MICHEL-LEVY Auguste, « Note sur la biréfringence de quelques minéraux, applications à l'étude des roches en plaques minces », *Bulletin de la Société minéralogique de France*, Tome 7, 1884, p.43-56.

MICHEL-LEVY Auguste et LACROIX Alfred, *Les minéraux des roches*, Editeurs Baudry et Cie, 1888, Paris, 334 pages.

MICHEL-LEVY Auguste, « Propriétés optiques des auréoles polychroïques », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 109, Juillet-Décembre 1889, 1889, p.973-976.

MICHEL-LEVY Auguste et MUNIER-CHALMAS Ernest, « Sur de nouvelles formes de silice cristallisées », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 110, Janvier-Juin 1890, 1890, p.649-652.

MICHEL-LEVY Auguste, « Sur l'évolution des magmas de certains granites à amphibole », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 121, Juillet-Décembre 1895, p. 228-230.

MICHEL-LEVY Auguste, « Etude pétrographique des albitophyres du bassin de Laval », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 122, Janvier-Juin 1896, 1896, p.264-266.

MURCHISON, « Sur les roches devoniennes, type particulier de l'old red sandstone des géologues anglais, qui se trouvent dans le Boulonnais et les pays limitrophes », *Bulletin de la Société Géologique de France*, Tome 11, années 1839-1840, 1840, p.229-256.

NICOL William, « Observations on the fluids contained in crystallized Minerals », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Volume 5, Avril- Septembre 1828, 1828, p. 94-96.

NICOL William, « On the cavities containing fluids in Rock-Salt », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Volume 7, Avril- Octobre 1829, 1829, p. 111-113.

NICOL William, « On a method of so far increasing the divergency of the two rays in Calcareous-spar, that only one image may be seen at a time », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Volume 6, Octobre 1828- Mars 1829, 1829, p. 83-84.

- NICOL William, « Observations on the fossil Trees of Van Diemen's Land », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Volume 10, Octobre 1830- Avril 1831, 1831, p. 361-364.
- NICOL William, « On fossil woods from Newcastle, New South Wales », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Edinburg, Volume 14, Octobre 1832-Avril 1833, 1833, p. 155-159 avec planches.
- NICOL William, « Observations on the structure of recent and fossil conifers», *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Volume 16, Octobre 1833-Avril 1834, 1834, p. 137-158 et planches.
- NICOL William, « On the structure of some fossil woods found on the Island of Mull, Northern Africa, and on the Kanoo ground to the North East of the Cape of good Hope », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Volume 18, Octobre 1834-Avril 1835, 1835, p. 335-338.
- NICOL William, « Notice concerning an Improvement in the construction of the single vision prism of Calcareous spar. », *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Volume 27, Avril-Octobre 1839, 1839, p. 332-333.
- NICOL William, « Ueber eine Verbesserung in der Construction des Kalkspathprisma mit einfachen Bilde », *Annalen der Physik und chemie*, Tome 125, Série 2 Tome 49, 1840, p. 238-239.
- NICOL William, « Proceedings of the Wernerian Natural History Society», *The Edinburgh New Philosophical Journal*, Volume 29, Avril-Octobre 1840, 1840, p. 175.
- NIVOIT Edmond, *Géologie appliquée à l'art de l'ingénieur T.1. Phénomènes géologique, minéraux, roches-fossiles*, Paris, Librairie polytechnique, Editeurs Baudry et Cie, 1887, 618 pages.
- NORDENSKIÖLD Nils Gustaf, « Description minéralogique des aérolithes qui tombèrent près de Wiborg, en Finlande, le 13 décembre 1822 », *Annales de chimie et de physique*, Tome 25, 1824, p. 78-80.
- ODOLANT DESNOS Joseph Jacques, « Précis de Minéralogie moderne », *Encyclopédie portative ou Résumé universel des sciences, des lettres et des arts*, Première partie, Tome 1, Imprimerie de Decourchant, Paris, 1828, 164 pages et planches.
- OLIVER Francis W. (ed), *Makers of British botany; a collection of biographies by living botanists*, Cambridge University Press, 1913, 332 pages.
- ORBIGNY Alcide d', « Tableau méthodique de la classe des Céphalopodes », *Annales des sciences naturelles*, Tome 7, 1826, p.96-121.
- ORBIGNY Alcide d', *Paléontologie des coquilles et des mollusques étrangers à la France*, Editeurs Gide et C^{ie}, Paris, 1846, 160 pages et planches.
- ORBIGNY Alcide d', *Foraminifères fossiles du bassin tertiaire de Vienne*, Editeurs Gide et C^{ie}, Paris, 1846, 312 pages et planches.
- OSCHATZ Adolph Friedrich, « Mikroskopische Struktur des weissen körnigen Kalkes », *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde*, 1856, p.50-51
- OSCHATZ Adolph Friedrich, « Mikroskopische struktur des carnallits », *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde*, 1857, p.720.
- PORTES M.L., *Manuel de minéralogie*, Doin, Paris, 1879, 366 pages

- PREVOST Constant, « Description géologique du littoral de la France », *Bulletin de la Société Géologique de France*, Série 2 Tome 7, années 1849-1850, 1850, p.56-61.
- QUATREFAGES Armand de, « Sur un nouveau mode de décrépitation et sur les pierres qui produisent ce phénomène (pierres fulminantes de Dourgues) », *Annales des mines*, Série 4, Tome 1, 1842, p. 603-612.
- QUEKETT John, *A practical treatise on the use of the microscope including the different methods of preparing and examining animal, vegetable and mineral substances*, Baillière editors, Londres, 1848, 544 pages.
- RATH Gerhard vom, « Skizzen aus dem vulkanischen Gebiete des Niederrheins », *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, Volume 12, 1860, p. 29-47.
- RATH Gerhard vom, « Vorläufige Mittheilung über eine neue Krystallform der Kieselsäure », *Annalen der Physik und chemie*, Tome 209, série 2 tome 133, 1868, p.507-508.
- ROCHON Alexis-Marie abbé de, « Mémoire sur les verres acromatiques, adaptés à la mesure des angles, et sur les avantages que l'on peut retirer de la double réfraction pour la mesure précise des petits angles » *Journal de Physique, de Chimie, d'Histoire Naturelle et des Arts*, Tome 53, 1801, p. 169-198.
- ROME DE L'ISLE Jean Baptiste, *Cristallographie ou description des formes propres à tous les corps du règne minéral*, Tome 1, Imprimerie de Monsieur, Paris, 1783, 502 pages.
- ROSE Gustav, « Elements de cristallograhie », *Annales des Mines*, Série 3 Volume 4, 1833, p.157-224.
- ROSENBUSCH Harry, *Mikroskopische physiographie der petrographisch wictigen mineralien. Ein Hülftuch bei mikroskopischen gesteinstudien*, E. Schweizerbartische Verlagshandlung, Stuttgart, 1873, 399 pages et planches.
- RUHMKORFF Heinrich Daniel, « Note sur un appareil destiné à répéter l'expérience fondamentale de la découverte de M. Faraday, de l'action du magnétisme sur la lumière » *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 23, Juillet-Décembre 1846, 1846, p. 417-418.
- SAGE Balthazar Georges, *Elemens de Minéralogie docimastique*, Imprimeur P. de Lormel, Paris, 1772, 276 pages.
- SAINTE CLAIRE DEVILLE Charles (?) « Mémoire sur les roches volcaniques des Antilles », *Bulletin de la Société Géologique de France*, Série 2, Tome 8, années 1850-1851, 1851, p. 423-430.
- SANG Edward, « Investigation of the action of Nicol's polarizing Eye piece », *Proceedings of the Royal Society of Edinburg*, Volume 18, Novembre 1890-Juillet 1891, 1892, p. 323-336.
- SAUVAGE François Clément, « Recherche sur la composition des roches du terrain de transition », *Annales des Mines*, Série 4, Volume 7, 1845, p. 411-452.
- SAUVAGE François Clément, « Appendice. Analyse de plusieurs roches du terrain de transition de l'Altaï oriental et des parties adjacentes de la frontière de Chine », *Annales des Mines*, Série 4, Volume 7, 1845, p. 453-462.

- SOLEIL, « Note sur un perfectionnement apporté au pointage du saccharimètre », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 24, Janvier-Juin 1847, 1847, p. 973-975.
- SORBY Henry Clifton, « On the microscopical structure of the Calcareous Grit of the Yorkshire Coast », *The Quartely Journal of the Geological Society of London*, Volume 7, n°1-2, 1851, p.1-6
- SORBY Henry C., « On the occurrence of non Gymnospermous exogenous wood in the Trias, near Bristol », *The Transactions of the Microscopical Society of London*, Volume 3, 1852 p. 91-92.
- SORBY Henry C., « On the microscopical structure of some british tertiary and post-tertiary freshwater Marls and Limestones », *The Quartely Journal of the Geological Society of London*, Volume 9, 1853, p.344-346.
- SORBY Henry C., « Magnesia-Kalkstein dirch Metamorphose aus gewöhnlichem Kalksteine entstanden », *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde*, 1857, p. 89.
- SORBY Henry C., « Mikroskopische struktur des Glimmerschiefers », *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde*, 1857, p. 89.
- SORBY Henry C., « On some Peculiarities in the Microscopical Structure of Crystals, applicable to the Determination of the Aqueous or Igneous Origin of Minerals and Rocks », *The Quartely Journal of the Geological Society of London*, Volume 14, n°1-2, 1858, p.242.
- SORBY Henry C., « On the microscopical structure of crystals, indicating the origin of minerals and rocks », *The Quartely Journal of the Geological Society of London*, Volume 14, n°1-2, 1858, p. 453-500.
- SORBY Henry C., *On the microscopical structure of crystals indicating the origin of minerals and rocks*, Imprimeur Taylor & Francis, Londres, 1858, 48 pages et planches.
- SORBY Henry C., « Sur l'application du microscope à l'étude de la géologie physique », *Bulletin de la Société Géologique de France*, Série 2 Tome 17, années 1859-1860, 1860, p.571-573.
- SORBY Henry C., « Über die Anwendung des mikroskops zum studium der physikalischen geologie », *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde*, 1861, p.769-771.
- SORBY Henry C., « On the application of the Microscope to the study of rocks », *The Monthly microscopical journal : Transactions of the Royal microscopical society*, Série 3, Volume 4, 1870, p.148-149.
- SPAFSKY, « Note über das Nicol'sche Prisma », *Annalen der Physik und chemie*, Leipzig, Tome 120, Série 2 Tome 44, 1838 p. 168-176.
- STREETER Edwin W., *Precious Stones and gems*, Champan & Hall, Imprimeur Howlett and son, Londres, 1877, 264 pages.
- STUART-MENTEATH Patrick William, « Sur les ophites des Pyrénées occidentales », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 118, Janvier-Juin 1894, 1894, p.32-35.

SUESS, « Faune du bassin néo-tertiaire de Vienne, extrait », *Bulletin de la Société Géologique de France*, Série 2 Tome 18, années 1860-1861, 1861, p.168-175.

TALBOT William Henry Fox, « Facts relating to optical science n°2, On Mr Nicol's polarizing eye piece », *The London and Edinburgh Philosophical Magazine and Journal of Science*, 3^{ème} série, Volume 4, n° 22 Avril 1834,1834, p. 289-290.

TALBOT William H. F., « Experiments on light », *The London and Edinburgh Philosophical Magazine and Journal of Science*, 3^{ème} série, Volume 5, n° 29 Novembre 1834, 1834, p. 321-334.

TALBOT William H. F., « Anwendung des polarisirten Lichts zu mikroskopischen Beobachtungen », *Annalen der Physik und chemie*, Tome 111, Série 2 Tome 35, 1835, p. 330.

TALBOT William H. F., « On the optical phenomena of certain crystals » *Philosophical Transactions of Royal Society of London*, Volume 127, 1837, p. 25-27.

TALBOT William H. F., « Further observations on the optical phenomena of crystals », *Philosophical Transactions of Royal Society of London*, Volume 127, 1837, p. 29-35.

TEALL Jethro Justinian Harris, *British petrography with special reference to the igneous rocks*, Dulau & co, Londres, 1888, 469 pages et planches.

TEALL Jethro J. H., *The evolution of petrological ideas*, Washington, U.S. Government printing office, 1903, 22 pages.

TERMIER Pierre, « Sur l'existence de la microgranulite et de l'orthophyre dans les terrains primaires des Alpes françaises », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 115, Juillet-Décembre 1892, 1892, p.971-974.

TERMIER Pierre, « Sur le granite du Pelvoux », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 124, Janvier-Juin 1897, 1897, p.317-320.

TONNELIER Jérôme, « Sur quelques-unes des principales substances renfermées dans un suite de laves du Vicentin, envoyée au Conseil des Mines par M. le Comte Joseph Marzari Pencati de Vicence », *Journal des Mines*, Volume 22, 1807, p. 143-160.

TSCHERMAK Gustav, « Über die mikroskopische unterscheidung der Mineralien aus der Augit-Amphibol und Biotit-Gruppe », *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde*, 1869, p.752.

VALLOT Joseph et DUPARC Louis, « Sur la nature pétrographique du sommet du Mont-Blanc et des rochers avoisinants », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 119 Juillet-Décembre 1894, 1894, p.182-184.

VALMONT DE BOMARE Jacques Christophe, *Minéralogie ou nouvelle exposition du règne minéral*, Seconde édition, Tome 1, Imprimeur Vincent, Paris, 1774, 590 pages.

VAUQUELIN Louis-Nicolas, « Analyse des cendres du Vésuve, tombée le 22 octobre 1822 sur la terrasse du Consulat général de France à Naples et envoyées au muséum par Son Excellence le Ministre des Affaires étrangères », *Annales de chimie et de physique*, Tome 25, 1824, p. 72-75.

VAUQUELIN Louis-Nicolas, « Discours du Citoyen Vauquelin, inspecteur des mines de la République et professeur de docimasie », *Journal des Mines*, Volume 9, 1798-1799, p.189-201.

- VELAIN Charles, *Conférences de pétrographie*, 1^{er} fascicule, Paris, Editeur G. Carré, 1889, 108 pages.
- VEZIAN Alexandre, *Prodrome de géologie*, Tome 1, F. Savy éditeurs, Paris, 1863, 646 pages.
- VIGUIER, « Sur les roches des Corbières appelées ophites », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 103, Juillet-Décembre 1886, 1886, p. 172-174.
- VOGELSANG Herman, *Die Vulkane der Eifel in ihrer Bildungsweise erläutert*, Die erben Lossjes, Haarlem, 1864, 76 pages.
- VOGELSANG Hermann, *Philosophie der Geologie und Mikroskopische gesteinsstudien*, Verlag von Max Cohen & sohn, Bonn, 1867, 229 pages et planches.
- VOGELSANG Herman et GEIFSLER H., « Ueber die Natur der Flüssigkeitseinschlüsse in gewissen Mineralien », *Annalen der Physik und chemie*, Tome 213, série 2 tome 137, 1869, p.56-75.
- VOGELSANG Herman, « Nachtrag zu der Abhandlung : Ueber Flüssigkeitseinschlüsse in gesteinen », *Annalen der Physik und chemie*, Tome 213, série 2 tome 137, 1869, p.257-271.
- VOGELSANG Hermann, *Die Krystalliten*, Verlag Von Max Cohen & Sohn, Bonn, 1875, 175 pages et planches.
- VOLTZ, « Essai sur les soulèvements jurassiques de M. Thurmann », *Bulletin de la Société Géologique de France*, Tome 8, années 1836-1837, 1836, p. 298-301.
- WALLERANT Frédéric, « Sur un appareil permettant de mesurer les indices de réfraction des minéraux des roches », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 124, Janvier-Juin 1897, p. 315-317.
- WARD James Clifton, « Notes on the comparative microscopic rock-structure of some ancient and modern volcanic rocks », *Quarterly Journal of the Geological Society of London*, Volume 31, 1875, p. 388-422.
- WILLIAMS Georges Huntington, *Modern petrography an account of the application of the microscope to the study of geology*, Boston, D. C. Heath & co. publishers, 1886, 42 pages.
- WILLIAMSON William Crawford, « On the real nature of the minute bodies un flints, supposed to be sponge spiculae », *The Annals and magazine of natural history*, Volume 17, n°125 supplément, 1846, p. 467-468.
- WILLIAMSON William C., « On the recent British species of the genus Lagena » *The Annals and magazine of natural history*, 2nd series, Volume 1, n°1 Janvier 1848, 1848, p. 1-20 et planches.
- WITHAM Henry Thomas, *Observation on fossil vegetables accompanied by representations of their internal structure, as seen through the microscope*, Editeur Neill & Co, Edimbourg, 1831, 48 pages et planches.
- WITHAM Henry T., *The internal structure of Fossil vegetable found in the Carboniferous and oolitic depositis of Great Britain described and illustrated*, Adam & Chalres Black, Edinburgh, 1833, 149 pages avec planches.
- WOLLASTON William Hyde, « On the oblique refraction of Iceland crystal » *Philosophical Transactions of Royal Society of London*, Volume 92, 1802, p. 381-386 et planche XV.
- Wollaston William H., « Nouvelles méthode d'examen des pouvoirs des corps pour la réfraction et dispersion de la lumière, etc. », *Annales de chimie*, Tome 46, 1803, p. 36-62.

- WOLLASTON William H. « Sur la réfraction oblique du cristal d'Islande », *Annales de chimie*, Tome 46, 1803, p. 63-73.
- WOLLASTON William H., « Description of a reflective Goniometer », *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* Volume 99, 1809, p. 253- 258.
- WOLLASTON William H., « On the methods of Cutting Crystals for micrometers » *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Volume 110, 1820, p.126-131.
- WYROUBOFF Grégoire, « Mikroskopische Untersuchungen über die färbenden Stoffe im Flussspath », *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde*, 1867, p.474-475.
- ZIRKEL Ferdinand, « Die trachytischen Gesteine der Eifel », *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft*, Volume 11, 1859, p.507-540.
- ZIRKEL Ferdinand, « Mikroskopische Gesteinsstudien », *Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften Wien*, Volume 47, Tome 1-5, 1863, p. 226-270 et planches.
- ZIRKEL Ferdinand, « Über die mikroskopische Zusammensetzung und Structur der diessjährigen Laven von Nea-kammeni bei Santorin », *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde*, 1866, p.769-787.
- ZIRKEL Ferdinand, *Lehrbuch der petrographie*, Drock von Carl Georgi, Bonn, 1866, 607 pages.
- ZIRKEL Ferdinand, « Üeber die mikroskopische Zusammensetzung der phonolite », *Annalen der Physik und chemie*, Tome 207, série 2 tome 131, 1867, p.298-336.
- ZIRKEL Ferdinand, « Lettre: Lemberg, den. 25, November, 1866. », *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde*, 1867, p.81-82.
- ZIRKEL Ferdinand, « Über die mikroskopische Zusammensetzung der Phonolite », *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde*, 1868, p.87-88.
- ZIRKEL Ferdinand, *Untersuchungen über die mikroskopische Zusammensetzung und Struktur der Basaltgesteine*, Adolph Marcus, Bonn, 1870.
- ZIRKEL Ferdinand, *Die mikroskopische Beschaffenheit der Mineralien und Gesteine*, Wilhelm Engelmann, Leipzig, 1873, 502 pages.
- ZIRKEL Ferdinand « Microscopical petrography », dans A.A. Humphries, Clarence King, *Report of the Geological exploration of the fortieth parallel*, Volume VI, Washington, 1876, 297 pages.
- ZUJOVIC Jovan M., « Sur les roches éruptives de la Serbie », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, Tome 116, Janvier-Juin 1893, 1893, p.1406-1408.

Catalogues de fabricants

CHEVALLIER Jean-Gabriel Auguste, *Catalogue des instruments d'optique de physique, de mathématiques et de minéralogie qui se fabriquent et se vendent chez l'ingénieur Chevallier*, Imprimerie De Guillois, Paris, 1842, 48 pages.

CHEVALLIER Jean-Gabriel Auguste, *Catalogue et prix des instruments d'optique, de physique, de mathématiques, d'astronomie et de marine qui se trouvent et se fabriquent dans les magasins et ateliers de la maison Chevallier*, Imprimerie de Guillois, Paris, 1845, 70 pages.

MAISON CHEVALIER, *Catalogue explicatif et illustré des instruments de physique expérimentale, d'optique expérimentale, chimie, astronomie, minéralogie, chirurgie, etc... qui se fabriquent et se trouvent dans les ateliers et magasins de la maison Charles-Chevalier, ingénieur*, Imprimerie Bonaventure et Ducessois, Paris, 1860, 152 pages.

DELEUIL Jean-Adrien, *Catalogue d'instruments de physique, de chimie, d'optique, de mathématiques, de chirurgie, d'hygiène et d'économie domestique*, Imprimerie d'A. René, Paris, 1848, 63 pages.

JONES William et JONES Samuel, *A catalogue of optical, Mathematical and philosophical Instruments*, Londres, 1822, 15 pages.

MAISON NACHET & FILS, *Catalogue descriptif des instruments de micrographie fabriqués par Nachet et Fils, constructeurs à Paris*, Imprimerie E. Martinet, Paris, 1863, 28 pages.

MAISON NACHET & FILS, *Catalogue descriptif des instruments de micrographie*, Maison Nachet & Fils, fabrique d'instruments de micrographie, Imprimerie E. Martinet, Paris, 1872, 29 pages.

PIXII PERE ET FILS, *Catalogue des principaux instruments de physique, chimie, optique, mathématiques et autres à l'usage des sciences qui se fabriquent chez Pixii père et fils, successeurs de Dumotiez*, Imprimerie de Bachelier, 1845, 48 pages.

PRITCHARD Andrew, *Optical Instrument, constructed by A. Pritchard, 263 Strand, Wilson and son, London, 1836*, 10 pages.

PRITCHARD Andrew et GORING C.R., *Microscopic illustrations of living objects their natural history, &c, with researches concerning the most eligible methods of constructing microscopes and instructions for using them*, nouvelle édition, Whittaker and co., Londres, 1838, 246 pages et planches.

PRITCHARD Andrew, *A list of two thousand microscopic objects: with remarks on the circulation in animals and plants; the method of viewing crystals by polarized light, &c*, seconde édition, Whittaker and co, Londres, 1842, 36 pages.

SECRETAN, *Catalogue et prix des instruments d'optique, de physique, de mathématiques, d'astronomie et de marine qui se trouvent et se fabriquent dans les magasins et ateliers de Secrétan, successeur de Lerebours et Secrétan : chimie, galvanoplastie, minéralogie*, Imprimerie Henri Plon, Paris, 1862, 160 pages.

Références secondaires

- APPLEQUIST Jon, « Optical Activity : Biot's bequest », *American scientists*, Volume 75, n°1, Janvier- Février 1987, 1987, p.58-68.
- AVIAS Jacques, « Alfred Lacroix et la Pétrologie océanique », *Journal de la Société des océanistes*, Tome 6, 1950, p.219-229.
- BARTHELEMY Jean- Hugues, « Des instruments de connaissances », *Hors-série Sciences et Avenir*, n°140, Octobre-Novembre, 2004, p. 47-50
- BERNAL John Desmond, *Science and industry in the nineteenth century*, Routledge & Kegan Paul LTD, Londres, 1953, 230 pages.
- BEN-DAVID Joseph, *Eléments d'une sociologie historique des sciences*, Presses universitaires de France, Collection Sociologie, Paris, 1997, 376 pages.
- BENNETT Jim A., « Instrument makers and the 'déclinaison de la science en Angleterre' : The effect of institutional change on the elite makers of the early nineteenth century », dans DE CLERCQ Peter R. (ed.), *Nineteenth-century scientific instruments and their makers* (papers presented at the Fourth Scientific Instrument Symposium, Amsterdam, 23-26 October 1984), Amsterdam/Rodopi/Leiden, 1985, p. 13-27.
- BENSAUDE-VINCENT Bernadette, STENGERS Isabelle, *Histoire de la chimie*, éditions La Découverte, collection Histoire des sciences, Paris, 1992, 360 pages.
- BENSAUDE-VINCENT Bernadette, « La chimie : Un statut toujours problématique dans la classification du savoir », *Revue de synthèse*, Volume 115, Tome 1-2, Janvier 1994, 1994, p.135-148.
- BLONDEL Christine, « Electrical instruments in 19th century France, between makers and users », *History and technology*, vol.13, 1997, p. 157-182.
- BLONDEL-MEGRELIS Marika, « L'instrumentation dans l'édification de la science des cristaux », dans BEAUNE Jean-Claude (dir), *La mesure, instruments et philosophies*, Collections milieu, Champ Vallon éditeur, 1994, p.114-123.
- BELHOSTE Bruno, « Pour une réévaluation du rôle de l'enseignement dans l'histoire des mathématiques », *Revue d'histoire des mathématiques*, numéro 4, 1998, p.289-304.
- BENNETT Jim A., « Instrument makers and the 'déclinaison de la science en Angleterre' : The effect of institutional change on the elite makers of the early nineteenth century », dans CLERCQ P.R. (ed.), *Nineteenth-century scientific instruments and their makers*, Leiden, 1985, p. 13-27.
- BESSE Jean-Marc, « Approches spatiales dans l'histoire des sciences et des arts », *L'espace géographique*, Tome 39, 2010, p.211-224.
- BRENNI Paolo, « The illustrated catalogues of scientific instrument-makers » dans BLONDEL C., PAROT F., TURNER A. and WILLIAMS M. (ed), *Studies in the history of scientific instruments : papers presented at the 7th Symposium of the Scientific Instruments Commission of the Union*

international d'histoire et de philosophie des sciences, Roger Turner Books Ltd, Londres, 1989, p. 169-179.

BRENNI Paolo, « 19th Century French Scientific instrument Makers, XIII : Soleil, Duboscq and thier Successors », *Bulletin of the Scientific Instrument Society*, numéro 51, 1996, p.7-16.

BRENNI Paolo, « La science française au Crystal Palace », *Documents pour l'histoire des techniques*, n°19, 2^{ème} semestre, 2010, p.255-265.

BRUTER Annie, « Le cours magistral comme objet d'histoire », *Histoire de l'éducation*, n°120, 2008, p.5-32.

BOURGUET Marie-Noëlle et LACOUR Pierre-Yves, « Les mondes naturalistes : Europe (1530-1802) », dans PESTRE Dominique (dir), *Histoire des sciences et des savoirs, T.1, De la Renaissance aux lumières*, Editions du seuil, Paris, 2015, p.255-281.

BUCHWALD Jed Z., « Experimental Investigations of double refraction from Huygens to Malus », *Archive for History of exact Sciences*, Volume 21, n°4, 1980, p. 311-373.

BUCHWALD Jed Z., *The rise of the wave theory of light. Aspects of Optical Theory and experiment in the first third of the nineteenth century*, The University of Chicago Press, 1989, 467 pages.

CAHAN David, *From Natural Philosophy to the sciences: writing the history of nineteenth-century science*, 2003, University of Chicago Press, 456 pages.

CARON François, *La dynamique de l'innovation, Changement technique et changement social (XVIe-XXe siècle)*, Collection Bibliothèque des histoires, NRF, Editions Gallimard, 2010, 469 pages.

CHAIGNEAU Marcel, « Alfred Lacroix (1863-1948), pharmacien, minéralogiste, volcanologue », *Revue d'histoire de la pharmacie*, Volume 86, n° 320, 1998, p.421-426.

CHARLE Christophe (dir.), « Les universités germaniques XIX^e-XX^e siècles », *Histoire de l'éducation*, n°62, mai 1994,1994, 167 pages.

CHAPPERT André, *Etienne Louis Malus (1775-1812) et la théorie corpusculaire de la lumière*, Collection « L'Histoire des sciences. Textes et études », Vrin, Paris, 1977, 283 pages.

CHAPPERT André, *L'édification au XIXe siècle d'une science du phénomène lumineux*, Vrin, Mathesis, Paris, 2004, 382 pages.

CHERVEL André, « L'histoire des disciplines scolaires. Réflexions sur un domaine de recherche », *Histoire de l'éducation*, numéro 38, 1988, p.59-119.

CHITNIS Anand C., « The University of Edinburgh's natural history museum and the Huttonian-Wernerian debate », *Annals of Science*, Volume 26, n°2, 1970, p. 85-94.

COTTE Michel, « La circulation de l'information technique, une donnée essentielle de l'initiative industrielle sous la Restauration », dans GUILLERME André (ed.), *De la diffusion des sciences à l'espionnage industriel XVe-XXe siècle*, Actes du Colloque de Lyon (30-31 mai1996) de la SFHST, *Cahiers d'histoire et de philosophie des sciences*, n°47, ENS éditions, 1999, p. 133-158.

CREESE Mary R.S., CREESE Thomas M., « British Women who contributed to research in the geological Sciences in the nineteenth century», *The British Journal for the History of science*, Volume 27, n°1, mars 1994, 1994, p.23-54.

- DASTON Lorraine, « Philosophies de la nature et philosophie naturelle (1500-1750) », dans PESTRE Dominique (dir), *Histoire des sciences et des savoirs, T.1, De la Renaissance aux lumières*, Editions du seuil, Paris, 2015, p.177-203.
- DAWSON J.B., « First thin sections of experimentally melted igneous rocks: Sorby's observation on magma crystallization », *The Journal of Geology*, Volume 100, n°2, Mars 1992, 1992, p.251-257.
- DEAR Peter, « Cultures expérimentales », dans Pestre Dominique (dir), *Histoire des sciences et des savoirs, T.1, De la Renaissance aux lumières*, Editions du seuil, Paris, 2015, p.67-85.
- DÖRRIES Matthias, « Easy transit : Crossing boundaries between physics and chemistry in mid nineteenth century France » dans AGAR Jon et SMITH Crosbie (eds), *Making space for science: Territorial themes in the shaping of knowledge*, MacMillian Press Ltd, 1998, Great Britain, p.246-262.
- DURIS Pascal, « Système artificiel ou méthode naturelle ? » dans *Linné. Classer la nature, Pour la Science*, Coll. « Les génies de la science », n°26, 2006, p.64-77.
- ELLENBERGER François, « Louis Cordier (1777-1861), initiateur de l'étude microscopique des laves: percée sans lendemain ou innovation décisive? », *Earth Sciences History, Journal of the history of the earth sciences society*, Volume 3, n°1, 1984, p.44-53.
- ELLENBERGER François, *Histoire de la Géologie*, Petite Collection d'Histoire des sciences, Lavoisier, collection Tec&Doc, 1994, Tome 1 et 2, Paris, 352 pages et 381 pages
- ESPAGNE Michel, « La notion de transfert culturel », *Revue Sciences/ Lettres*, n°1, 2013, p.2-9.
- FABIANI Jean-Louis, « A quoi sert la notion de discipline ? », BOUTIER Jean, PASSERON Jean-Claude, REVEL Jacques, *Qu'est-ce qu'une discipline ?* Collection Enquête, Editions de l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Paris 2006, p.11-34.
- FATET Jérôme (coord.), *A quoi servent les instruments scientifiques ? Réflexions et études de cas sur les rôles et les fonctions des instruments dans la pratique scientifique*, Collection Savoirs scientifiques et Pratiques d'enseignement, Presses universitaires de Limoges, Limoges, 2016, 240 pages.
- FAUQUE Danielle, « Alexis-Marie Rochon (1741-1817), savant, astronome et opticien », *Revue d'histoire des sciences*, Volume 38, n°1, 1985, p.3-36.
- FAURE Pierre, « Retour à la question de l'objet. Ou faut-il disqualifier la notion de discipline ? », *Politix*, Volume 8, n°29, Premier trimestre, 1995, p.141-157.
- FONTENEAU Virginie, « Les enseignements de chimie à l'Ecole des mines de Paris au XIXe siècle », dans BERTILORENZI Marco, PASSAQUI Jean-Philippe, GARÇON Anne-Françoise, *Entre technique et gestion. Une histoire des « ingénieurs civils des mines » (XIXe-XXe siècles)*, Presses des mines, Collections Histoire, sciences et sociétés, Paris, 2016, p.353-368.
- FOOTE George A., « Science and its function in Early nineteenth Century England », *Osiris*, Volume 11, 1954, p.438-454.
- FORBES David, « The igneous rocks of Staffordshire », *Geological Magazine or monthly journal of geology*, Volume 3, Janvier-Décembre 1866, 1866, p.23-27.
- FORBES David, « The microscope in Geology », *The popular science review*, Volume 6, 1867, p.355-368.

- FOUCAULT Alain et RAOULT Jean-François, *Dictionnaire de Géologie*, 6^{ème} édition, collection Universciences, édition Dunod, Liège, 2005, 382 pages.
- FOX Robert et WEISZ George, *The organization of science and technology in France, 1808-1914*, Cambridge University Press, Cambridge, 1980, 355 pages.
- FRANKEL Eugene, «The search for a corpuscular theory of double refraction : Malus, Laplace, and the price competition of 1808», *Centaurus, International magazine of the history of mathematics, science and technology*, Volume 18, n°3, 1974, p.223-245.
- FRISSON Edouard, « L'évolution de la partie optique du microscope au cours du dix-neuvième siècle », Communication n°89 au Musée National d'Histoire des Sciences exactes et naturelles à Leyde, 1954, Leyde, 168 pages.
- GARÇON Anne-Françoise, *Entre l'Etat et l'usine, L'école des Mines de Saint-Etienne au XIXe siècle*, Presses Universitaires de Rennes, collection Histoire, Rennes, 2004, 368 pages.
- GARÇON Anne-Françoise, « Des modes d'existence du geste technique », *Revue e-Phaïstos, Revue d'histoire des techniques*, Volume 3, n°1, juin 2014, p. 84-92.
- GARDON Sébastien, « La construction et la circulation des savoirs dans des espaces nationaux et transnationaux. Retour sur le rôle des enquêtes et des revues », dans GONZALEZ-BERNALDO Pilar et HILAIRE-PEREZ Liliane (dir), *Les savoirs-mondes, Mobilités et circulation des savoirs depuis le Moyen-Âge*, Presses Universitaire de Rennes, 2015, Rennes, p.205-214.
- GAUDANT Jean (coord.), *Dolomieu et la géologie de son temps*, Mines Paris les presses, Paris, 2005, 199 pages.
- GAUDANT Jean, (coord.), *L'essor de la géologie française*, Presses des Mines, Collections histoire et sociétés, Paris, 2009, 380 pages.
- GAULON Pierre André, « Les instruments scientifiques-Définitions et historique », *Bulletin de la Sabix*, n°18, 1997, p.9-15.
- GAUTHIER Sébastien, *La géométrie des nombres comme discipline (1890-1945)*, Thèse de doctorat, Université Paris 6 Pierre et Marie Curie, Paris, 2007, 473 pages.
- GELY Suzanne, « André Marie Ampère (1775-1836) et Auguste Fresnel (1788-1827) », *Bulletin de la Sabix*, n°37, 2004, p.52-55.
- GESCHWIND Carl-Henry, « The beginnings of microscopic petrography in the United States, 1870-1885 », *Earth Sciences History*, Volume 13, n°1, 1994, p.35-46.
- GEISON Gerald L., « Research Schools and New directions in the historiography of sciences », *Osiris*, Volume 8, n°1, 1993, p.226-238.
- GILLE Bertrand, *Histoire des techniques*, Editions de la Pléiade, édition Gallimard, 1978, France, 1652 pages.
- GILLESPIE Charles Coulston (ed), *Dictionary of scientific biography*, Charles Coulston (ed), Charles scribner's sons, 16 volumes, New York.
- GOHAU Gabriel, « Expériences anciennes sur la formation des roches cristallines du dernier quart du XVIIIe siècle aux années 1850 », *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie*, 3^{ème} série, Tome 10, 1996, p. 101-103.

GONZALEZ BERNALDO Pilar, HILAIRE-PEREZ Liliane (dirs), *Les savoirs-mondes. Mobilités et circulation des savoirs depuis le Moyen Age*, Collections Histoire, Presses Universitaires de Rennes, Rennes, 2015, 512 pages.

GRANDCHAMP Philippe, « Deux cours de géologie professés en France au début des années 1810, l'un à la Sorbonne, l'autre à l'École des Mines », dans GAUDANT Jean (coordinateur), *L'essor de la géologie française*, Presses des Mines, Collections Histoire et sociétés, Paris, 2009, p. 227-273.

GUEDJ Muriel, *Itinéraire en histoire des sciences : des concepts et des objets pour des questions nouvelles*, Mémoire pour l'habilitation à diriger des recherches, 2016, 111 pages.

HALLEUX Robert, *Le savoir de la main. Savants et artisans dans l'Europe pré-industrielle*, Armand Collins, Paris, 2009, 192 pages.

HAMILTON Beryl M., « The influence of the polarising microscope on late nineteenth century geology », *Janus, Revue internationale de l'histoire des sciences, de la médecine, de la pharmacie et de la technique*, Tome 69, 1982, p.51-68.

HAUSEN Hans, *The history of geology and mineralogy in Finland, The History of learning and science in Finland 1828-1918*, Rilgmann, Helsinki, 1968, 147 pages.

HELDEN Albert van et HANKINS Thomas L., « Introduction: Instruments in the history of science », *Osiris*, Volume 9, n°1, 1994, p.1-6.

HERT Philippe et CAVALLIER Marcel Paul, *Sciences et frontières, délimitations du savoir, objets et passages*. Editions Modulaires Européennes, 2007, 395 pages.

HULIN Nicole, « L'enseignement des sciences naturelle au XIX^e siècle dans ses liens à d'autres disciplines », *Revue d'histoire des sciences*, Volume 55, n°1, 2002, p.101-120.

HUMPHRIES D.W., « The contributions of H.C. Sorby (1826-1908) to microscopy », *The Microscope and crystal front*, Volume 15, n°9, Mars-Juin, 1967, p. 351-362.

JACOMY Bruno, *L'âge du plip, chroniques de l'innovation technique*, Editions du seuil, 2002, 239 pages.

JOERGES Bernward et SHINN Terry (eds), *Instrumentation between Science, state and industry*, Collection Sociology of science, Volume 22, Kluwer Academic publishers, 2001, 272 pages.

JOYEUX Beatrice, « Les transferts culturels, un discours de la méthode », *Hypothèses 2002, Travaux de l'École doctorale d'Histoire*, Volume 6, 2003, p.149-162.

JUDD John Wesley, « Henry Clifton Sorby, and the birth of microscopical petrology », *The geological magazine*, Volume 5, n°5, Janvier-Décembre 1908, 1908, p. 193-204.

JUDD John Wesley, « Obituary Geheimrath Prof. Karl Harry Ferdinand Rosenbusch », *Geological magazine, or, Monthly Journal of geology*, new series, decade 6, Volume 1, n°3, 1914, p.140-141.

KASPAR Caroline, *Optique et Minéralogie au XIX^e siècle. L'approche interdisciplinaire d'Alfred Des Cloizeaux*, Thèse de doctorat, Université de Lyon-1, 286 pages.

KASPAR Caroline et JAUSSAUD Philippe, « L'œuvre minéralogique et pétrographique des pharmaciens du Muséum », *Revue d'histoire de la pharmacie*, Volume 93, n°347, 2005, p.403-412.

- KASPAR Caroline, « Des Cloizeaux et l'optique : l'influence d'une nouvelle méthode d'investigation en minéralogie au 19^{ème} siècle », Acte de Colloque, XIV Colloque National de la Recherche dans les IUT, 29 et 30 mai 2008, 2008, 8 pages.
- KELLEY Donald R., « Le problème du savoir et le concept de discipline » in BOUTIER Jean, PASSERON Jean-Claude, REVEL Jacques, *Qu'est-ce qu'une discipline ?* Collection Enquête, Editions de l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Paris 2006, p.97-115.
- KERBEY Helen C., « David Forbes F.R.S. (1828-1876), A chemist and mineralogist who advocated for thin section microscopy », *The Geological Curators*, Volume 9, n°10, 2014, p.515-527.
- KLEIN Ursula, «The laboratory Challenge Some revisions of the standar view of early mderm experimentation», *ISIS*, Tome 99, numéro 4, 2009, p.769-782.
- KRISTJÁNSSON Leó, « Iceland spar: the Helgustadir calcite locality and its influence on the development of science », *Journal of Geosciences Education*, Volume 50, n°4, 2002, p. 419-427.
- KRISTJÁNSSON Leó, « Iceland spar and its legacy in science», *History of geo-and space sciences*, n°3, 2012, p. 117-126.
- LAFAILLE Jean, « Contribution de la naissance de la Chimie minérale au développement de la Minéralogie et de la Pétrographie à la fin du XVIII^e siècle », *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie*, Première série, n°14, 1978, 4 pages.
- LAUDAN Rachel, *From Mineralogy to Geology. The foundations of a science 1650-1830*, The University of Chicago Press, Chicago and London, 1987, 278 pages.
- LE François, PAUMIER Anne-Sandrine, « La classification comme pratique scientifique », *Les cahiers François Viète*, Série III, numéro 1, 2016, p. 9-34.
- LECLERCQ Frédéric, *Jean Baptiste Biot (1774-1862) et la théorie corpusculaire de la lumière*, Thèse de doctorat, Université de Lille-1, 2008, 448 pages.
- LECLERCQ Frédéric, « Biot, la polarisation chromatique et la théorie des accès », *Revue d'histoire des sciences*, Tome 64, n° 1, 2011, p. 121-156.
- LE GARS Stéphane, *L'émergence de l'astronomie physique en France (1860-1914) : acteurs et pratiques*, Thèse de doctorat, Université de Nantes, 2007, 522 pages.
- LEMAINE Gerard, MACLEOD Roy, MULKAY Mickael, WEINGANT Peter (eds.), *Perspectives on the emergence of scientific disciplines*, De Gruyter Mouton, Paris et Aldine, Chicago, 1976, 281 pages.
- LEMERCIER Claire, « Analyse de réseaux et histoire », *Revue d'histoire moderne et contemporaine*, Tome 52, n°2, Avril-Juin 2005, 2005, p. 88-112.
- LETOLLE René, « Pour une histoire de la géochimie », *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie*, Troisième série, Tome 10, n°1, 1996, p. 1-6.
- LONGCHAMBON Henri, « L'apport de la Minéralogie et de la cristallographie à la science », Conférence présentée au Congrès de Minéralogie et de Cristallographie à Lyon, *Bulletin de la Société Française de Minéralogie*, Volume 77, Tome 1-3, 1954, p. 23-44.

- MAITTE Bernard, « René-Just Haüy (1743-1822), et la naissance de la cristallographie », *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie*, Troisième série, Tome 15, n°7, 2001, p. 115-149.
- MAITTE Bernard, *Histoire des cristaux*, Hermann, Paris, 334 pages.
- MATHIEU François, *Cristallographie géométrique, de l'observation des cristaux aux lois des milieux cristallisés*, Cepaduès -Editions, Toulouse, 2004, 388 pages.
- METZGER Hélène, *La genèse de la science des cristaux*, Librairie scientifique et technique, nouveau tirage, 1969, 248 pages.
- MOREAU Christian, *Louis Benjamin Fleuriau de Bellevue, savant, physicien naturaliste, géologue et philanthrope rochelais (1761-1852)*, Les Indes savantes, Paris, 2009, 343 pages.
- MOREL Thomas, *Mathématiques et politiques scientifiques en Saxe (1765-1851). Institutions, acteurs et enseignements*. Thèse de doctorat, Université Bordeaux-1, 2013, 598 pages.
- MORRELL John Bowes, « The chemist breeders: the research schools of Liebig and Thomas Thomson », *Ambix*, Volume 19, n°1, Mars 1972, 1972, p.1-46.
- MORRISON-LOW Alison, « William Nicol, FRSE c, 1771-1851, Lecturer, scientist and collector », *Edinburgh Portraits, Book of the Old Edinburgh Club*, New series, Volume 2, 1992, p. 123-131.
- MORRISON-LOW Alison et NUTTALL Robert H., « Hugh Miller in a Age of Microscopy », dans *Celebrating the life and times of Hugh Miller*, Lester Borley (ed), Institute of the University of Aberdeen, 2003, p. 214-226.
- NUTTALL Robert H., « Andrew Pritchard, Optician and microscope maker », *The Microscope*, Volume 25 First quarter, 1977, p.65-81.
- NUTTALL Robert H., « The origins of geological microscopy », *The Microscope*, Volume 25 Fourth quarter, 1977, p.245-250.
- NUTTALL Robert H., « Andrew Pritchard's contribution to metallurgical microscopy », *Technology and Culture*, Volume 20, n°3, Juillet 1979, 1979, p.569-577.
- NUTTALL Robert H., « The first microscope of Henry Clifton Sorby », *Technology and Culture*, Volume 22, n°2, Avril 1981, 1981 p. 275-280.
- NYE Mary Jo, *Before Big Science. The pursuit of modern chemistry and Physics 1800-1940*, Harvard University Press, Chicago, USA, 1999, 282 pages.
- OLDROYD David, « Mineralogy and 'the chemical revolution' », *Centaurus, International magazine of the history of mathematics, science and technology*, n°19-20, 1975, p.54-71.
- OLDROYD David, *Science of the Earth, Studies in the History of mineralogy and geology*, Collection Variorum collected Studies Series, Ashgate publishing Limited, Great Britain, 1998, 340 pages.
- ORCEL Jean, « Considérations générales sur les rapports entre la minéralogie et les autres sciences », *Bulletin de la société française de minéralogie et cristallographie*, Tome 77, 1954, p. 45-69.
- ORCEL Jean, *Les sciences minéralogiques au XIX^e siècle (Minéralogie, cristallographie, lithologie)*, Conférence donnée au Palais de la Découverte le 10 novembre 1862, Presses de l'Imprimerie alençonnaise, 1963, 39 pages.

- PEAUD Laura, *Du projet scientifique des lumières aux géographies nationales, France, Prusse et Grande Bretagne (1780-1860)*, thèse de doctorat, Université de Lyon, 2014, 628 pages.
- PEIFFER Jeanne et VITTU Jean-Pierre, « Les journaux savants, formes de la communication et agents de la construction des savoirs (17^e-18^e siècles) », *Dix-huitième siècle*, n°40, 2008, p.281-300.
- PORTER Roy, « The industrial revolution and the rise of the science of geology » dans TEICH Mikulas et YOUNG Robert, *Changing perspectives in the History of science*, Heineman, London, 1973, p. 320-343.
- PORTER Roy, *The making of Geology, Earth science in Britain, 1650-1815*, Cambridge University press, New York, 1977, 288 pages.
- PIRSON Louis V., « The rise of petrology as a science », *American journal of science*, Volume 46, Série 4, 1918, p.222-239.
- PROUVOST Jean, « Alfred Lacroix (1863-1948) ou l'œuvre inachevée », *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie*, Troisième série, Tome 12, n°9, 1998, p.117-125.
- RABIER Christelle, « Les circulations techniques médicales entre Europe et colonies 1600-1800 : l'apport de la perspective commerciale » dans GONZALEZ-BERNALDO Pilar et HILAIRE-PEREZ Liliane (dir), *Les savoirs-mondes, Mobilités et circulation des savoirs depuis le Moyen-Âge*, Presses Universitaire de Rennes, 2015, Rennes, p.227-234.
- RABKIN Yakov, « Rediscovering the instrument, research, industry and education », dans Bud Robert et Cozzens Susans E. (eds), *Invisible connections, Instruments, Institutions and Science*, SPIE Optical Engineering Press, USA, 1992, p. 37-72.
- RAPPAPORT Rhoda, « Problems and sources in the history of geology 1749-1810 », *History of science, an annual review of literature, Research and teaching*, Volume 3, 1964, p. 60-78.
- ROSENBAUER Karlheinz A., *Mikroskopische präparate : Hersteller und Lieferanten : Eine Zusammenstellung aus zwei Jahrhunderten*, Volume 1, Git Verlag, Allemagne, 2003, 183 pages.
- RUDWICK Martin, « Les Sociétés Géologiques de Londres et de Paris en 1835 et la vie géologique contemporaine », *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie*, Deuxième série, Tome 3, n°9, 1985, p. 109-121.
- RUPKE Nicolas A., *The Great Chain of History, William Buckland and the English School of geology (1814-1849)*, Clarendon Press, Oxford, 1983, 322 pages.
- SARJEANT William A.S., *Geologist and the history of geology. An International bibliography from the origins to 1978*, The Macmillian Press LTD, London, 1980, 5 volumes, 4526 pages.
- SAVATON Pierre, « La géologie expérimentale : une voie fondatrice de la géologie moderne », *Cahiers François Viète*, série II, n°5, 2011, Imprimerie Centrale de l'université de Nantes, février 2015, pp. 87-103.
- SCHEIDECKER-CHEVALLIER Myriam, « Marc-Antoine Gaudin, Alexandre-Edouard Baudrimont, Auguste Laurent et l'approche structurale en chimie », *Revue d'histoire des sciences*, Volume 53, n°1, 2000, p.133-168.
- SENNETT Richard, *Ce que sait la main. La culture de l'artisanat*, Albin Michel, Paris, 2010, 404 pages.

SIMONDON Gilbert, *Du mode d'existence des objets techniques*, Aubier, réédition 1989, 336 pages.

SOLLA PRICE Derek J. de, « Philosophical mechanisms and mechanical philosophy: some notes towards a philosophy of scientific instruments », *Annali dell'Istituto e museo de storia della scienza di Firenze*, n°5, 1980, p.75-85.

SMITH Walter Campbell, « Early mineralogy in Great Britain and Ireland », *Bulletin of the British Museum (Natural history)*, Historical series, Volume 6, n°3, London, 1978, p. 49-74.

STEVENSON Brian, « Cornelius Poulton (1814-1854) –Victorian era microscopist », *Micscape Magazine*, Mars 2009. <http://www.microscopy-uk.org.uk/mag/artmar09/bs-poulton.html>

STICHWEH Rudolf, « La structuration des disciplines dans les universités allemandes au XIXe siècles », dans CHARLE Christophe (dir.), « Les universités germaniques XIX^e-XX^e siècles », *Histoire de l'éducation*, n°62, mai 1994, 1994, p.55-73.

STICHWEH Rudolf, « The sociology of scientific disciplines: on the genesis and stability of the disciplinary structure of Modern science », *Science in context*, Volume 5, n°1, 1992, p.3-15.

TAUB Lisa, « Introduction: reengaging with Instruments », *Isis, Focus: The history of scientific instruments*, Volume 102, n°4, Décembre 2011, 2011, p.689-696

« The petrographic microscope », *The Mineralogical record*, special publication, n°1, Novembre-Décembre 2003, 96 pages.

THERRIEN Lyne, *L'histoire de l'art en France, Genèse d'une discipline universitaire*, Editions du C.T.H.S., Paris, 1998, 623 pages.

TODERICIU Doru, « Balthasar-Georges Sage (1740-1824), chimiste et minéralogistes français, fondateur de la première Ecole des Mines », *Revue d'histoire des sciences*, Volume 37, n°1, 1984, p.29-46.

TOURET Lydie, « L'abbé Jérôme Tonnellier (1751-1819) : quarante ans au service des mines », *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie*, Troisième série, Tome 15, 2001, p.37-49.

TOURET Jacques Léon Robert, « Hermann Vogelsang (1838-1874) 'Européen avant la lettre' », dans TOURET Jacques Léon Robert et VISSER Robert P. W., (eds.) *Dutch pioneers of the earth sciences*, Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Amsterdam, 2004, p. 87-108

TOURET Jacques Léon Robert et VISSER Robert P. W. (eds.), *Dutch pioneers of the earth sciences*, Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Amsterdam, 2004, 220 pages.

TOURET Jacques Léon Robert, « De la pétrographie à la pétrologie », *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie*, Troisième série, Tome 20, n°8, 2006, p.167-184.

TOURET Jacques Léon Robert, « Michel Lévy (Auguste Michel-Lévy 1844-1911) brillant élève de l'Ecole impériale des mines », *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie*, Troisième série, Tome 24, n°5, 2010, p.103-116.

TOURET Jacques Léon Robert, « Le microscope polarisant à l'assaut des montagnes », *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie*, Troisième série, Tome 26, n°4, 2012, p. 67-80.

- TURNER Antony, « Instrument », dans Blay Michel et Halleux Robert, *La science classique XVI^e-XVIII^e siècle, dictionnaire critique*, édition Flammarion, Paris, 1998, p.572-580.
- TURNER Gerard l'Estrange, *Scientific instruments, 1500-1900, an introduction*, University of California Press, Berkeley, L.A. Londres, 1998, 144 pages.
- VACCARI Ezio, « Quelques réflexions sur les instructions scientifiques destinées aux géologues voyageurs aux dix-huitième et dix-neuvième siècles », *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie*, Troisième série, Tome 12, n°4, 1998, p.39-57.
- VAN DAMME Stephane, « La grandeur d'Edimbourg. Savoirs et mobilisation identitaire au XVIII^e siècle », *Revue d'histoire moderne et contemporaine*, n°55, Volume 2, Avril-Juin 2008, 2008, p.152-181.
- YOUNG David, *Mind over magma. The Story of Igneous Petrology*, Princeton University Press, Princeton, 2003, 686 pages.
- YUSHKIN N.P., « Origin and evolution of fundamental mineralogical ideas », dans *Toward a History of mineralogy, petrology and geochemistry, Proceedings of the International Symposium on the History of Mineralogy, Petrology and geochemistry*, Munich, March 8-9 1996, Institut fur Geschichte der Naturwissenschaften, 1998, p.1-15
- WARNER Deborah Jean, « What Is a Scientific Instrument, When Did It Become One, and Why? », *British Journal for the History of Science*, Volume 23, n°1,1990, p.83-93.
- WILSON Catherine, *The Invisible world, Erarly modern philosophy and the invention of the microscope*, Princeton University Press, Princeton,1851, 279 pages.
- WHITLOCK Herbert P., « René Just Haüy and his influence », *The American Mineralogist*, Volume 3, 1918, p.92-98.
- WOODWARD Horace B., *The history of the geological society of London*, London Geological Society, Londres, 1907, 442 pages.

Sitographie

BONTEMPS Vincent, « Le progrès des lignées techniques, Au-delà de Simondon », <http://www.implications-philosophiques.org/actualite/une/le-progres-des-lignees-techniques/>

- Muséum d'histoire naturelle d'Edimbourg :

http://www.nms.ac.uk/explore/collection-search-results/?item_id=173298

- Cours de minéralogie, Université de Lille, 2014, Michel Dubois, coordinateur :

<http://minweb.univ-lille1.fr/cours/co/chap00.html>

- Constructeurs d'instruments scientifiques pour les établissements publics au XIX^e siècle :

http://rhe.ish-lyon.cnrs.fr/instruments-scientifiques/hcx_instr_constructeurs.htm

- Projet sur l'histoire de la minéralogie en Europe, *The Euromin project* :

<http://euromin.w3sites.net/>

- Sur les microscopes pétrographiques, *Museum optischer instrumente* :

<http://www.musoptin.com/item/polarisationsmikroskop-nach-fuess-rosenbusch-r-fuess-berlin-um-1880/>

- Historique de la *Royal Microscopical Society* :

<https://www.rms.org.uk/about/history-of-the-rms.html>

- CNRTL, Centre National des Ressources Textuelles et Lexicales :

<http://www.cnrtl.fr/>

Biographies

- Histoire des Ingénieurs des Mines :

<http://www.annales.org/archives/>

- L'annuaire des sociétés savantes du Comité des Travaux Historiques et Scientifiques :

<http://cths.fr/an/>

- Alfred Lacroix :

<http://hdt.mnhn.fr/histoire/index/historique/lacroixbio.htm>

- Urbain Le Verrier :

<http://www.merveilles-du-monde.com/Tour-Eiffel/Pantheon/Urbain-Le-Verrier.php>

- Biographie de William MacGillivray, Muséum de l'Université d'Aberdeen :

<https://www.abdn.ac.uk/museums/collections/william-macgillivray-naturalist-455.php>

- Biographie de H. Sorby, *The Sorby Natural History Society* :

<http://www.sorby.org.uk/about-us/henry-clifton-sorby/>

- Biographie de A. Matthiessen :

http://ethw.org/Augustus_Matthiessen

- Article de K.R. Aalto, « Rock Stars, Clarence King (1842-1901) Pioneering Geologist of the West », 2 pages.

<https://www.geosociety.org/gsatoday/archive/14/2/pdf/i1052-5173-14-2-18.pdf>

- Article de Jean Antoine Rioux, « Ecologie, évolution : un précurseur montpelliérain, Charles-Frédéric Martins, directeur exemplaire du Jardin des plantes », 19 pages.

http://www.ac-sciences-lettres-montpellier.fr/academie_edition/fichiers_conf/RIOUX2011

.pdf

- Biographie de François Arago :

<http://www.sabix.org/bulletin/b4/centenaire.html>

- Biographie de Alexandre Brongniart :

<https://www.inha.fr/fr/ressources/publications/publications-numeriques/dictionnaire-critique-des-historiens-de-l-art/brongniart-alexandre.html>

Index des noms

Abisch	86, 394
Adolphe Brongniart	90, 91, 104, 107, 359
Alexandre Brongniart .	20, 27, 29, 33, 36, 39, 40, 41, 42, 45, 47, 49, 51, 52, 53, 54, 56, 61, 67, 70, 73, 74, 75, 90, 151, 164, 165, 168, 209, 359, 362, 378, 425
Allplequist	414
Allport	267, 268, 269, 270, 273, 280, 355, 394
Amici	170, 171, 172, 355, 394, 434, 437
Anonyme	102, 104, 126, 127, 133, 134, 135, 137, 198, 226, 266, 394
Apjohn	147, 355, 394
Arago	115, 136, 152, 154, 157, 165, 167, 356, 367, 372, 389, 394, 425
Avias	262, 414
Babinet	147, 166, 167, 356, 389, 395, 434
Barthélémy	7, 28, 365, 400, 414
Bartholin	123, 164, 356, 395
Baudrimont	27, 34, 46, 357, 395, 421
Beaune	69, 414
Becquerel Antoine	395
Becquerel Edmond	395
Ben-David	312, 313, 414
Bennett	8, 99, 414
Bensaude-Vincent	414
Bergman	42, 62, 65
Bernal	414
Berthelot	249, 250, 264, 357, 395
Bertin	170, 171, 172, 173, 395
Berzélius	379, 395
Beudant	42, 90, 167, 358, 395, 404
Biot ..	13, 114, 115, 123, 130, 148, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 169, 174, 176, 178, 185, 209, 356, 358, 364, 395, 396, 414, 419
Bleicher	286, 287, 358, 396, 437
Blondel-Mégrelis	69, 414
Boué	93, 98, 359, 396
Bourget	45
Brenni	139, 172, 414, 415
Brewster	55, 99, 100, 114, 115, 122, 123, 126, 130, 134, 136, 143, 154, 155, 156, 157, 159, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 174, 176, 178, 185, 192, 202, 209, 242, 309, 316, 359, 370, 382, 396
Bruter	415
Bryson	195, 196, 202, 350, 360, 397, 436
Buchwald	13, 153, 415
Cacarrie	89, 397
Cahan	415
Carangeot	68, 387, 390
Caron	99, 100, 190, 415
Cauchy	147, 397
Cavallier	418
Cayeux	290, 291, 360, 397
Chappert	13, 152, 153, 163, 415
Charle	264, 415, 422
Chevalier Charles	397
Chitnis	415
Coquand	361, 384, 397
Cordier ..	11, 20, 29, 30, 31, 34, 74, 75, 76, 77, 82, 83, 84, 85, 86, 88, 89, 90, 91, 106, 109, 183, 187, 188, 193, 229, 248, 253, 255, 285, 303, 305, 311, 312, 316, 361, 377, 397, 416, 437, 439
Cotte	415
Credner	232, 361, 397
Creese	415
Cronstedt	42, 337
Damour	361, 397, 398
Darker	105, 387, 389
Daubenton ..	20, 23, 28, 33, 34, 35, 36, 38, 39, 42, 59, 62, 362, 369, 398, 433
Daubrée	87, 187, 254, 257, 362, 375, 398
Dawson	416
De Rouville	363, 398
Delebecque	287, 291, 363, 399
Delesse	87, 88, 89, 187, 363, 376, 398
Deleuil	105, 140, 388, 413
Des Cloizeaux	13, 18, 46, 113, 114, 124, 151, 168, 169, 170, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 210, 213, 217, 224, 236, 242, 250, 253, 254, 255, 258, 259, 260, 261, 264, 273, 305, 309, 310, 312, 362, 364, 368, 371, 398, 399, 404, 418, 419, 437, 440
Deville	88, 188, 249, 250, 251, 254, 257, 263, 352, 366, 380, 400, 401, 408
Diderot	20, 24, 26, 30, 32, 319, 323, 327, 334, 336, 393
Dolomieu	41, 77, 82, 361, 366, 369, 417
Dörries	416
Dove	147, 364, 399
Dubuisson	362, 398
Dufrénoy 76, 86, 87, 88, 168, 187, 364, 365, 380, 384, 399	
Dujardin	104, 139, 189, 196, 363, 398
Duparc	280, 283, 287, 291, 363, 364, 375, 399, 410
Elie de Beaumont ... 86, 87, 88, 89, 90, 220, 221, 249, 263, 364, 365, 366, 380, 384, 399, 400	
Ellenberger	11, 82, 89, 416
Faujas de Saint-Fond	28, 400
Fauque	126, 129, 141, 416
Faure	416
Fischer	232, 241, 366, 400
Fleuriau de Bellevue	12, 15, 20, 75, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 84, 90, 106, 109, 183, 226, 229, 311, 366, 400, 420, 436, 439

Fonteneau	64, 416
Footé	416
Forbes ...	197, 265, 266, 267, 269, 273, 314, 315, 367, 385, 416, 419, 437
Foucault	87, 189, 417
Fouqué ..	10, 15, 16, 18, 197, 215, 242, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 271, 273, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 287, 288, 289, 292, 293, 294, 301, 302, 305, 306, 312, 314, 315, 351, 352, 364, 366, 371, 375, 380, 393, 395, 400, 401, 435, 437, 442
Frankel	417
Fresnel	115, 154, 165, 166, 183, 366, 389, 394, 417
Friedel	261, 367, 371, 402
Frisson	417
Frossard	367, 402
Garçon	64, 100, 416, 417
Gardon	417
Gaudant	417, 418
Gaulon	417
Geikie	270, 271, 272, 314, 367, 402, 437
Geison	417
Gély	417
Gentil	280, 284, 368, 402
Geschwind	10, 247, 417
Gille	14, 243, 316, 417
Girardin 20, 27, 30, 31, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 47, 50, 54, 55, 56, 57, 58, 63, 67, 71, 165, 368, 402, 433	
Giraudet	402
Goeni	84
Gohau	417
Gonnard	232, 368, 402
Gorecki	285, 368, 402, 435
Goring	102, 104, 138, 139, 156, 388, 394, 413
GrandChamp	418
Grateloup	125, 402
Griffith	196, 368, 402
Guérin	27, 34, 46, 395
Halleux	418, 423
Hamilton	5, 12, 197, 221, 418
Hankins	418
Hassenfratz	68, 69, 369, 402
Hausen	418
Haüy 19, 23, 25, 28, 29, 33, 34, 41, 42, 45, 47, 56, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 77, 81, 82, 164, 176, 178, 358, 361, 369, 402, 420, 423	
Helden	418
Hert	418
Hulin	418
Humphries	5, 6, 202, 204, 220, 265, 412, 418
Huot	31, 369, 402
Hutton .	91, 92, 98, 100, 104, 107, 190, 224, 369, 373, 385, 394, 405
Inostranzeff	291, 370, 403
Jacomy	116, 418
Jameson 15, 90, 94, 118, 359, 368, 370, 373, 376, 403	
Jannettaz	286, 291, 370, 403
Jaussaud	13, 418
Jenzsch	225, 226, 227, 242, 403
Joerges	418
Joly	191, 403
Joyeux	418
Judd	193, 204, 214, 220, 240, 241, 418
Kaspar 13, 46, 90, 113, 124, 151, 153, 168, 169, 172, 173, 178, 254, 418, 419	
Kerbey	265, 419
Killian	403
Kristjánsson	14, 116, 123, 124, 148, 310, 419
Lacroix 10, 16, 18, 215, 250, 253, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 273, 278, 280, 284, 287, 290, 291, 292, 293, 294, 305, 306, 314, 368, 371, 403, 404, 406, 414, 415, 421, 424	
Lafaille	419
Lasaulx ..	232, 234, 271, 278, 279, 280, 286, 288, 293, 314, 371, 404
Laudan	419
Launay	404
Le Blanc	250, 404
Le Gars	419
Le Verrier	283, 291, 372, 405, 425
Leclercq	13, 115, 153, 158, 159, 163, 166, 419
Lecoq 20, 27, 30, 31, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 47, 50, 54, 55, 56, 57, 58, 63, 67, 71, 90, 165, 368, 372, 384, 402, 433	
Legg	105, 126, 143, 372, 404
Lehmann	26, 29, 32, 34, 321, 326, 372, 405
Lemaine	312, 419
Lemercier	419
Leroi-Gourhan	116
Leymerie	191, 373, 403
Lindley ..	91, 92, 97, 98, 100, 103, 104, 107, 190, 346, 347, 369, 373, 385, 394, 405
Link	86, 242, 365, 375, 405
Lister	102, 193, 387, 388, 389
Longchambon	419
Mac Cullagh	146, 405
Mac Gillivray	98, 405
Maison Chevalier	140, 413
Maison Nachet	106, 140, 283, 388, 413
Maitté	420
Mallard	261, 371, 374, 405
Malus 13, 69, 115, 152, 153, 155, 158, 159, 163, 164, 209, 309, 374, 405, 415, 417	
Martin Saint-Ange	27, 34, 46, 395
Martins	188, 374, 405, 425
Mathieu	360, 420
Matthiessen	162, 169, 374, 405, 425
Metzger	420
Meunier	284, 375, 405
Michel-Lévy ..	10, 15, 16, 18, 215, 242, 253, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 271, 273, 278, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 295, 300, 301, 302, 305, 306, 310, 314, 315, 364, 371, 375, 401, 406, 422, 435, 437, 438
Moreau	77, 80, 81, 84, 420
Morel	420

Morrell	420
Morrison-Low	6, 14, 94, 420
Moyes	94, 122, 375, 376
Mrazec	280, 283, 375, 399
Murchison	367, 376, 385, 406
Nicol ..	3, 5, 6, 8, 10, 14, 16, 17, 20, 63, 68, 77, 88, 93, 94, 95, 97, 98, 99, 100, 102, 103, 104, 106, 109, 110, 114, 115, 116, 117, 118, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 128, 129, 130, 131, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 143, 145, 146, 147, 148, 149, 155, 156, 157, 161, 162, 172, 173, 189, 190, 193, 195, 196, 198, 202, 203, 204, 209, 210, 226, 238, 239, 242, 267, 303, 310, 314, 342, 344, 346, 358, 366, 369, 371, 376, 381, 383, 390, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 420, 421, 433, 434, 437, 440, 442
Nivoit	279, 286, 288, 376, 407
Nordenskiöld	86, 88, 89, 377, 407
Norman	105, 388
Nuttall	5, 6, 8, 9, 12, 100, 102, 105, 139, 197, 202, 204, 420
Nye	312, 420
Odolant Desnos	25, 33, 34, 54, 55, 61, 63, 69, 165, 166, 377, 407, 433
Oldroyd	46, 420
Oliver	407
Orcel	46, 64, 65, 420
Oschatz	8, 114, 197, 198, 199, 206, 207, 210, 213, 218, 225, 226, 228, 238, 265, 267, 311, 377, 407
Pearce	399
Péaud	421
Peiffer	421
Pirson	421
Pixii	105, 140, 388, 413
Porter	421
Portes	407
Poulton	9, 105, 389, 422
Prévost	378, 408
Pritchard ..	6, 8, 9, 102, 104, 105, 138, 139, 156, 162, 388, 389, 394, 413, 420
Prouvost	261, 262, 421
Quatrefages	86, 378, 408
Quekett	193, 378, 387, 388, 389, 390, 408
Rabier	421
Rabkin	11, 421
Raoult	87, 189, 417
Rappaport	421
Rochon ..	115, 116, 125, 126, 128, 129, 130, 379, 408, 416, 434
Romé de L'Isle	28, 65, 379, 387, 408
Rose ..	67, 198, 227, 228, 232, 242, 365, 375, 379, 408
Rosenbauer	197, 421
Rosenbusch	18, 214, 215, 217, 220, 233, 235, 236, 240, 241, 242, 244, 253, 255, 263, 269, 271, 274, 280, 281, 284, 286, 293, 297, 305, 306, 312, 314, 315, 352, 353, 380, 408, 418, 441
Ross	389
Rudwick	421
Ruhmkorff	147, 389, 408
Rupke	421
Sage	20, 59, 62, 379, 380, 408, 422
Sanderson	97, 98, 99, 100, 110, 156, 310, 346, 347
Sang	136, 381, 408
Sarjeant	421
Saussure	62, 77, 83, 84, 207, 366, 381
Sauvage	87, 88, 187, 381, 408
Scheidecker-Chevallier	421
Sécrotan	140, 156, 389, 413
Shinn	418
Simondon	7, 116, 422, 424
Smith	102, 139, 140, 190, 202, 204, 224, 377, 385, 387, 390, 416, 422
Soleil	147, 170, 172, 173, 389, 409, 415
Solla Price	422
Sorby	5, 6, 8, 12, 18, 102, 113, 114, 139, 186, 188, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 210, 213, 214, 217, 218, 219, 220, 221, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 236, 238, 242, 243, 248, 251, 255, 265, 267, 268, 269, 270, 272, 273, 285, 293, 295, 296, 311, 312, 314, 348, 355, 381, 409, 416, 418, 420, 425, 437, 440, 441, 442
Spafsky	137, 409
Stengers	414
Stichweh	312, 422
Streeter	97, 409
Stuart-Menteth	382, 409
Suess	352, 410
Talbot	136, 137, 138, 140, 141, 143, 145, 146, 149, 161, 162, 239, 382, 410
Taub	7, 422
Teall	270, 271, 278, 306, 352, 382, 410
Termier	280, 290, 374, 382, 410
Tonnellier	410, 422
Touret 1, 5, 6, 8, 10, 12, 197, 207, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 230, 236, 253, 257, 258, 265, 422	
Tschermak	234, 235, 255, 269, 382, 410
Turner	139, 414, 423
Vaccari	423
Vallot	363, 383, 410
Valmont de Bomare 26, 27, 28, 29, 32, 33, 34, 37, 38, 39, 40, 74, 75, 383, 410, 433	
Van Damme	423
Vauquelin	63, 64, 86, 88, 371, 383, 410
Viguier	411
Vincard	68
Visser	197, 222, 230, 422
Vittu	421
Voltz	384, 411
Wallerant	384, 411
Wallérius	32, 34, 42
Ward	269, 284, 385, 411
Weisz	417
Werner	34, 42, 224, 356, 370, 378, 385
Whitlock	423

Williams 139, 232, 273, 274, 278, 286, 306, 314, 315, 411, 414
Williams M. 139, 414
Williamson.... 106, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 196, 201, 206, 210, 311, 381, 385, 411
Witham ... 20, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 103, 104, 106, 124, 189, 191, 195, 196, 204, 210, 238, 242, 310, 346, 347, 385, 411, 433, 437
Wollaston.. 68, 99, 114, 115, 116, 124, 126, 127, 128, 129, 130, 134, 154, 169, 209, 358, 359, 362, 364, 369, 375, 377, 382, 385, 411, 412, 434, 437
Woodward 321, 322, 423
Young.... 5, 6, 8, 10, 11, 197, 199, 204, 207, 214, 217, 218, 219, 220, 233, 235, 236, 241, 247, 253, 274, 293, 350, 421, 423
Yushkin..... 423
Zirkel... 12, 16, 18, 192, 199, 214, 215, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 242, 243, 244, 251, 252, 253, 254, 255, 268, 269, 271, 275, 279, 280, 281, 284, 290, 292, 293, 298, 299, 305, 314, 384, 386, 393, 412, 435, 437, 441
Zujovic 412

Index thématique

- Cristaux** 12, 17, 27, 28, 33, 34, 41, 42, 43, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 75, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 84, 85, 88, 105, 106, 109, 113, 114, 115, 120, 123, 126, 137, 138, 148, 149, 151, 154, 155, 157, 161, 162, 163, 164, 166, 167, 168, 169, 170, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 192, 199, 204, 209, 210, 213, 227, 234, 241, 254, 259, 260, 273, 288, 290, 291, 292, 295, 296, 305, 309, 312, 349, 367, 369, 386, 395, 399, 400, 401, 406, 414, 420, 440, 444, 445
- Dispositif de polarisation :**
- Calcite** 14, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 130, 175, 310, 419, 439, 445
 - Pince a tourmaline** 156, 439
 - Prisme** 3, 5, 6, 8, 10, 14, 16, 17, 65, 66, 67, 70, 100, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 151, 153, 154, 155, 156, 157, 161, 171, 172, 173, 182, 196, 202, 204, 209, 210, 215, 227, 239, 240, 243, 288, 305, 310, 316, 342, 344, 355, 376, 438, 439, 441, 442, 445, 447
 - Prisme de Nicol**14, 16, 17, 113, 114, 116, 119, 121, 122, 124, 129, 130, 131, 133, 136, 140, 141, 142, 143, 145, 146, 147, 148, 149, 151, 153, 157, 172, 173, 202, 204, 209, 210, 215, 227, 239, 243, 305, 310, 316, 439, 441, 445
 - Prisme polariseur** 3, 5, 6, 8, 10, 17, 114, 115, 116, 117, 122, 126, 149, 209, 240, 310, 376, 445
 - Quartz**.....122, 127, 134, 160, 174, 179, 184, 223, 229, 290, 311, 329, 337, 340, 341, 387, 398
 - Spath calcaire** ..115, 117, 118, 120, 123, 126, 130, 134, 135, 148, 149, 153, 154, 156, 163, 203, 344, 347, 396
 - Spath d'Islande** 134
 - Tourmaline**115, 122, 126, 137, 138, 154, 155, 156, 160, 161, 172, 178, 316, 344
- Domaine :**
- Chimie** 5, 21, 30, 42, 46, 55, 62, 63, 64, 65, 71, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 86, 88, 89, 99, 105, 110, 115, 123, 124, 130, 140, 148, 154, 156, 157, 161, 162, 163, 168, 170, 185, 219, 249, 261, 265, 309, 355, 356, 357, 358, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 372, 374, 375, 376, 378, 380, 381, 382, 388, 394, 395, 396, 407, 410, 411, 412, 413, 414, 416, 421
 - Cristallographie** ...28, 65, 263, 387, 408, 419, 420
 - Minéralogie** ... 3, 10, 11, 12, 13, 17, 19, 20, 23, 25, 26, 29, 30, 32, 33, 34, 38, 42, 45, 46, 47, 54, 55, 56, 62, 64, 66, 67, 68, 70, 73, 82, 84, 105, 110, 113, 140, 147, 148, 151, 156, 164, 165, 167, 168, 169, 170, 174, 180, 181, 182, 185, 192, 200, 207, 209, 219, 220,221, 223, 228, 232, 233, 236, 239, 241, 242, 249, 250, 254, 256, 257, 258, 261, 263, 264, 274, 279, 285, 310, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 382, 383, 384, 386, 387, 395, 397, 398, 399, 402, 404, 407, 413, 419, 420, 424, 444, 445
 - Optique** 13, 99, 105, 115, 120, 122, 123, 125, 126, 129, 136, 138, 140, 146, 148, 149, 151, 154, 156, 157, 162, 165, 166, 167, 169, 174, 176, 177, 183, 184, 185, 233, 236, 241, 244, 255, 257, 260, 288, 291, 292, 356, 363, 367, 373, 374, 375, 379, 387, 389, 390, 395, 402, 413, 417, 419
 - Pétrographie microscopique** 314
 - Physique**... 5, 21, 31, 46, 47, 51, 54, 55, 65, 71, 78, 79, 80, 81, 82, 86, 88, 89, 105, 106, 109, 110, 115, 123, 140, 147, 148, 149, 154, 156, 157, 161, 162, 163, 165, 169, 170, 185, 194, 195, 201, 205, 207, 242, 249, 262, 263, 309, 355, 356, 357, 358, 363, 364, 366,367, 369, 370, 372, 373, 374, 375, 378, 379, 383, 384, 387, 389, 390, 394, 395, 396, 404, 407, 409, 410, 413, 419, 444
 - Emeri**..96, 98, 194, 195, 196, 200, 228, 238, 266, 271, 272, 285, 347
 - Fabricants d'instruments** 387, 388, 389
 - Opticien**126, 138, 285, 389, 416
 - Fossile**.... 24, 25, 91, 96, 101, 102, 107, 190, 191, 196, 347, 442
 - Instrument**..... 8, 99, 138, 413, 414, 415, 423
 - Loupe** 79, 80, 86, 89, 102, 146, 190, 191, 227, 229, 281
 - Lumière polarisée** 3, 6, 12, 13, 17, 18, 110, 113, 114, 115, 120, 122, 123, 126, 130, 138, 139, 145, 146, 147, 148, 149, 151, 152, 153, 154, 156, 157, 158, 160, 161, 162, 163, 164, 166, 168, 169, 173, 174, 178, 181, 185, 186, 199, 202, 203, 204, 209, 210, 212, 213, 214, 217, 223, 224, 226, 227, 230, 234, 235, 236, 239, 240, 242, 244, 257, 259, 260, 262, 264, 267, 268, 270, 273, 282, 287, 291, 297, 302, 303, 305, 309, 310, 312, 344, 347, 372, 394, 441, 445, 446
 - Microscope** . 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 17, 20, 21, 73, 74, 76, 77, 78, 80, 81, 83, 84, 85, 86, 87,

88, 89, 92, 93, 94, 95, 96, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 109, 113, 114, 137, 138, 139, 140, 146, 147, 151, 156, 161, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 185, 186, 187, 188, 190, 191, 192, 194, 195, 196, 197, 198, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 217, 218, 219, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 250, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 270, 271, 273, 277, 278, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 297, 303, 305, 306, 309, 310, 311, 312, 313, 315, 316, 348, 349, 372, 377, 387, 388, 389, 394, 395, 397, 398, 399, 401, 402, 406, 408, 409, 411, 416, 417, 418, 420, 422, 423, 439, 440, 441, 444, 445

Microscope polarisant 6, 8, 12, 17, 18, 151, 161, 168, 170, 171, 172, 173, 175, 176, 179, 181, 182, 183, 197, 204, 218, 219, 229, 230, 236, 254, 258, 259, 313, 395, 399, 406, 422, 445

Minéraux 3, 5, 8, 9, 11, 12, 13, 17, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 38, 39, 40, 41, 43, 45, 46, 47, 48, 55, 59, 64, 65, 66, 69, 71, 73, 74, 75, 76, 77, 79, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 106, 107, 109, 110, 113, 114, 120, 148, 149, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 159, 160, 161, 162, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 175, 179, 181, 182, 183, 185, 186, 187, 188, 190, 193, 194, 197, 198, 201, 204, 205, 209, 223, 224, 225, 226, 227, 229, 231, 233, 234, 235, 236, 237, 239, 240, 242, 243, 244, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 268, 269, 270, 271, 279, 282, 286, 288, 290, 291, 292, 293, 294, 300, 301, 302, 305, 306, 309, 310, 319, 320, 321, 322, 328, 349, 352, 357, 359, 362, 374, 377, 395, 396, 398, 401, 402, 404, 406, 407, 411, 440, 444, 445

Roches 3, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 17, 18, 20, 21, 23, 28, 29, 30, 31, 34, 38, 43, 46, 48, 55, 66, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 105, 106, 107, 109, 110, 111, 113, 114, 149, 182, 183, 186, 187, 188, 189, 190, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 210, 213, 215, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 247, 248, 250, 251, 252, 253, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 277, 278, 279, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 299, 300, 301, 302, 303, 305, 306, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 320, 323, 325, 334, 339, 349, 352, 353, 355, 360, 361, 362, 363, 364, 368, 370, 375, 377, 385, 386, 387, 396, 397, 398, 399, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 408, 411, 412, 417, 440, 442, 444, 445, 446

Sections fines .. 3, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 16, 17, 18, 20, 92, 93, 94, 95, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 109, 110, 111, 113, 114, 116, 122, 130, 141, 151, 155, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 227, 228, 229, 230, 231, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 248, 250, 251, 252, 253, 256, 257, 258, 259, 260, 264, 265, 266, 267, 268, 270, 271, 272, 273, 282, 284, 285, 286, 287, 292, 300, 303, 305, 309, 310, 311, 312, 313, 315, 350, 355, 377, 380, 385, 387, 388, 440, 441, 442, 444, 445, 446, 447

Tables des illustrations

Table des figures

Figure 1 : Exemple de la répartition des parties constituantes du gneiss.....	31
Figure 2 : Extrait du Tableau méthodique de Daubenton, « Première classe : Pierres qui étincelles par le choc du briquet ».....	35
Figure 3 : Extrait du tableau méthodique de Brongniart.....	37
Figure 4 : Représentation de la classe des Pierres de Valmont de Bomare.	38
Figure 5 : Classification selon Valmont de Bomare.	39
Figure 6 : Classification selon Daubenton.	39
Figure 7 : Classification selon Brongniart.	39
Figure 8 : Caractères physiques, d'après Brongniart 1807.....	49
Figure 9 : Caractères physiques d'après Girardin et Lecoq	50
Figure 10 : Electromètre.	51
Figure 11 : Balance de Nicholson pour mesurer la pesanteur spécifique d'un échantillon.	53
Figure 12 : Liste des caractères chimiques d'après Brongniart 1807.....	58
Figure 13 : Variation des catégories des caractères chimiques.....	59
Figure 14 : Extrait du tableau des réactifs d'Odolant Desnos.	61
Figure 15 : Evolution des noms des sous catégories des caractères chimiques.....	63
Figure 16 : Goniomètre à branches.....	68
Figure 17 : Goniomètre à réflexion.....	69
Figure 18 : Représentation d'un cristal de zircon.	70
Figure 19: Schéma de la réflexion d'un rayon de lumière.	92
Figure 20: Schéma représentant la réfraction de la lumière.	92
Figure 21 : Planche 6 extraite de l'ouvrage de H. Witham.	101
Figure 22 : Photographie d'un prisme à simple vue de W. Nicol.....	118
Figure 23 : Représentation d'un prisme à simple vue de W. Nicol.	118

Figure 24 : Illustration de la première étape de taille du rhomboèdre de calcite.....	119
Figure 25 : Récapitulatif des différentes étapes de la construction d'un prisme de Nicol.	119
Figure 26 : Démonstration de la double réfraction chez le spath d'Islande.	121
Figure 27 : Illustration du trajet de la lumière à travers un prisme de Nicol.	121
Figure 28 : Illustration du prisme de Rochon et de son action sur la lumière.	125
Figure 29 : Prisme de Wollaston et son action sur la lumière.	127
Figure 30 : Illustration du positionnement des héli-rhomboïdes selon des angles aigus opposés.	130
Figure 31 : Lignée technique de prismes polarisateurs de lumière.....	132
Figure 32 : Représentation du prisme à l'échelle.....	134
Figure 33 : Représentation de la circulation de l'article de William Nicol.	136
Figure 34: Représentation du positionnement du polariseur (e) et de l'analyseur (P') par rapport au microscope.	139
Figure 35 : Différentes positions du prisme de Nicol au sein des montages expérimentaux.	145
Figure 36 : Représentation de l'action d'un dispositif de polarisation sur la lumière naturelle.	153
Figure 37 : Pince à tourmaline.	156
Figure 38 : Schéma représentant l'action d'un polariseur sur un rayon lumineux.	158
Figure 39 : Schéma représentant l'action d'un polariseur et d'un analyseur sur un rayon lumineux.	159
Figure 40 : Illustration d'un montage polariseur et analyseur croisés.	160
Figure 41 : Illustration des caractères "optiques" chez Brongniart.....	165
Figure 42 : Les caractères optiques d'après Babinet	167
Figure 43 : Appareil polarisant d'Amici.....	171
Figure 44 : Le microscope de Nörremberg.	171
Figure 45 : Système cristallin cubique.....	175
Figure 46 : Système cristallin rhomboédrique.....	176
Figure 47 : Système cristallin orthorhombique.....	176
Figure 48 : Ellipsoïde des indices dans un matériel isotrope.....	177

Figure 49 : Illustration d'un ellipsoïde de cristal biaxe positif	178
Figure 50 : Illustration d'un ellipsoïde de cristal biaxe négatif	178
Figure 51 : Illustration des rayons de lumière en lumière dite convergente.....	179
Figure 52 : Figures des anneaux pour un cristal uniaxe.....	180
Figure 53 : Figure des anneaux colorées pour un cristal biaxe.....	180
Figure 54 : Extrait d'une planche colorée des anneaux colorés d'un cristal biaxe.....	181
Figure 55 : Photographie de la première page du carnet de laboratoire de Fouqué.....	250
Figure 56 : Photographie de la seconde page manuscrite du livre traduit par Fouqué	251
Figure 57 : Photographie des Laves de Georges observées au microscope par Fouqué.....	254
Figure 58 : Diagramme d'Auguste Michel-Lévy.	260
Figure 59 : Représentation des mobilités savantes américaines et de la diffusion de la pétrographie dans les universités américaines.	273
Figure 60 : Illustration d'un microscope pour les observations pétrographiques, d'après Fouqué et Michel-Lévy.....	282
Figure 61 : Microscope grand modèle droit, du fabricant Nacet (1872).	282
Figure 62 : Illustration d'un archet et son usage pour couper un échantillon, extrait de l'ouvrage de Gorecki.....	284
Figure 63 : Extrait de <i>Minéralogie micrographique</i>	288
Figure 64 : Extrait d'une page de <i>Minéralogie micrographique</i> sur les Amphiboles.	292
Figure 65 : Extrait d'une page de <i>Les minéraux des roches</i>	293
Figure 66 : Lave de Santorin, Pièce n°11 extrait des Carnets de pétrographie de Fouqué.....	293
Figure 67 : Cavités dans des cristaux artificiels formées à partir d'une solution dans l'eau.	295
Figure 68 : Extrait d'une page de <i>Mikroskopische physiographie</i>	296
Figure 69 : Trachyte quartzique de Campiglia.	297
Figure 70 : Structure fluidale.....	297
Figure 71 : Planche illustrant les observations microscopiques conduites par Zirkel.	298
Figure 72 : Planche de différentes sections fines de roches (Nicols croisés, grossissement 80 fois).	299
Figure 73 : Extrait de la planche dessinée colorée avec calque.....	300

Figure 74 : Extrait de la planche dessinée colorée sans calque.	301
Figure 75 : Illustration de l'invention de Alexander Bryson.	350

Table des frises

Frise 1 : Illustration de l'usage du vocabulaire et de son évolution par les savants entre la fin du XVIII ^e siècle et 1844.	112
Frise 2 : Chronologie récapitulative des différents éléments relatifs à la construction des prismes polarisateurs entre 1770 et 1829.	128
Frise 3 : Chronologie de l'appropriation du prisme de Nicol par les fabricants d'instruments	142
Frise 4 : Chronologie des modifications techniques et des usages du prisme par aire géographique.....	144
Frise 5 : Représentation des pratiques savants autour des sections fines, du microscope et de la lumière polarisée (1808-1866).	212
Frise 6 : Récapitulatif de la mise en place d'une méthode pétrographique (1855-1873).	245
Frise 7 : Chronologie des pratiques de pétrographie microscopique pour l'Angleterre, la France et les Etats-Unis.	275
Frise 8 : Représentations des différentes étapes de la mise en place de la pétrographie microscopique (1855-1895).	306

Table des encarts

Encart 1 : Comment identifier le caractère électricité dans un échantillon ?.....	51
Encart 2 : Déterminer la pesanteur spécifique d'un échantillon, d'après Brongniart.	54
Encart 3 : Exemple de la présence de caractères chimiques.	59
Encart 4 : Comment déterminer les caractères chimiques, d'après Brongniart.	61
Encart 5 : Méthode utilisée par Fleuriau de Bellevue.	79
Encart 6 : Exemple de description de la séméline par Fleuriau de Bellevue dans son mémoire.	80

Encart 7 : Précisions techniques pour conduire des observations par Cordier.	84
Encart 8 : Préparation et utilisation du baume du Canada d'après l'ouvrage de H. Witham.....	95
Encart 9 : Préparation d'une section fine de bois fossile d'après l'ouvrage de H. Witham.	96
Encart 10 : La querelle entre Nicol et Witham.	97
Encart 11 : Construction d'un prisme à simple vue, d'après W. Nicol.	118
Encart 12 : Biréfringence et double image.	120
Encart 13 : Le prisme de Wollaston.....	126
Encart 14 : Trois montages de prismes d'après Wollaston.....	129
Encart 15 : Description de l'utilisation du prisme à simple vue de Nicol en 1833.....	135
Encart 16 : Explication de la polarisation de la lumière.	153
Encart 17 : Dispositif polariseur-analyseur et ses différentes positions.	158
Encart 18 : Différentes positions des polariseurs-analyseurs et passage de la lumière.	160
Encart 19 : Description des microscopes d'Amici et de Nörremberg.	171
Encart 20 : L'isomorphisme et le dimorphisme cristallin.....	175
Encart 21 : Explication des phénomènes optiques.....	177
Encart 22 : Méthode utilisée par Des Cloizeaux.....	179
Encart 23 : Caractères utilisés par Des Cloizeaux dans son <i>Manuel de Minéralogie</i>	184
Encart 24 : Une diversité de techniques de production des sections fines.....	195
Encart 25 : Exemple de l'étude d'une roche par Sorby en 1851.	203
Encart 26 : La production de sections fines de roches d'après Zirkel.	228
Encart 27 : La préparation de section fines de roches d'après Zirkel.....	237
Encart 28 : Préparer des sections fines selon Forbes.	265
Encart 29: Fabriquer des sections fines selon Geikie.	270
Encart 30 : Microscopes et conseil d'utilisation par Fouqué et Michel-Lévy.	281
Encart 31 : Techniques de préparation des échantillons pour des observations microscopiques, selon Fouqué et Michel-Lévy.	284
Encart 32 : Technique de fabrication de sections fines par Bleicher en 1895	286

Encart 33 : Usage des prismes nicols et révélation des caractères optiques.....	287
Encart 34 : Illustration de l'usage des caractères dans la description d'un échantillon, d'après un article de A. Michel-Lévy.....	291

Table des matières

Remerciements.....	1
Sommaire.....	3
Introduction générale.....	5
Première partie : Construction de méthodes pour étudier le règne minéral (1800-1850) ..	19
Chapitre 1 : Qualifier le règne minéral au début du XIX^e siècle.....	23
I. Circonscrire les objets du règne minéral par leurs définitions.....	24
1. Les fossiles, vers une restriction de la définition de l'objet.....	24
2. Les minéraux : de la liste à la généralisation pour définir.....	25
3. Les « roches », une définition en construction.....	28
II. Classer le règne minéral pour l'identifier.....	32
1. La minéralogie dans l'histoire naturelle vue par les savants.....	32
2. Construire des classifications minéralogiques.....	34
Faire figurer les classifications minéralogiques dans les traités.....	34
Comment définir des catégories pour les classifications minérales.....	38
Conclusion.....	43
Chapitre 2 : Différencier des méthodes pour identifier les minéraux.....	45
I. La méthode physique.....	47
Une diversité de caractères pour mieux identifier les minéraux.....	47
Identifier les caractères par des pratiques issues de la physique.....	51
II. La méthode chimique.....	55
Distinguer l'analyse chimique de la méthode chimique en minéralogie.....	56
Dévoiler les caractères chimiques.....	57
Une origine docimastique des caractères chimiques ?.....	62
III. La méthode cristallographique.....	64
Formes et mesure d'angles, les piliers de la cristallographie.....	67
Présence des caractères cristallographiques dans les tableaux méthodiques.....	70
Conclusion.....	71
Chapitre 3 : Observer le règne minéral au microscope.....	73
I. Les roches : tenir compte des minéraux microscopiques.....	74
1. Faire le constat d'une méthode minéralogique insuffisante.....	74
2. Introduire le microscope pour étudier les roches.....	77
Fleuriau de Bellevue et l'observation des cristaux microscopiques des roches (1800).....	77
Cordier et la constitution d'une méthode microscopique (1815).....	82
3. Vers de nouvelles pratiques d'observations des roches (1820-1840).....	86
II. Les végétaux fossiles : accéder aux caractères internes.....	89
1. Etudier les végétaux fossiles par les caractères extérieurs.....	90
2. Observer par transparence l'intérieur des fossiles.....	93
Comment préparer des sections fines.....	94
A l'origine des techniques de fabrication des sections fines.....	97

Combiner microscope et sections fines	101
3. Vers un développement des observations microscopiques des végétaux fossiles.....	103
Conclusion	106
Conclusion de la première partie	109
Deuxième partie : Construction de nouvelles méthodes pour étudier les minéraux et les roches (1829-1860)	113
Chapitre 4 : Le prisme polarisateur de Nicol	115
I. Publier pour fabriquer et utiliser le prisme	117
II. Le prisme de Nicol dans l'offre des prismes polarisateurs (1800-1830)	122
Construire un prisme en calcite et résine	122
Une offre variée de prismes polarisateurs.....	125
Le prisme de Nicol dans une lignée technique	129
III. Les circulations du prisme de Nicol (1829-1840)	133
Circulation de l'article de 1829 : entre traduction et appropriation.....	133
La commercialisation du prisme, un vecteur de circulation	137
Les modifications comme témoin de l'usage du prisme de Nicol.....	143
L'insertion du prisme de Nicol dans les pratiques expérimentales	145
Conclusion	148
Chapitre 5 : Lier minéralogie et lumière polarisée	151
I. Le double statut des minéraux : entre étude et production de lumière polarisée (1808-1830)	152
1. Comment produire de la lumière polarisée ?	154
Les minéraux comme outils de production de lumière polarisée.....	154
Des fabricants présents mais invisibles.....	155
Une pratique d'observation : le montage en série des polarisateurs de lumière.....	157
2. Etudier les minéraux avec la lumière polarisée	160
La lumière polarisée comme outil d'étude des minéraux.....	161
Les figures de polarisation, un témoin de la structure cristalline	162
Et en minéralogie, quelle place pour la lumière polarisée ?.....	164
II. Des Cloizeaux : utiliser le microscope polarisant pour étudier les cristaux (1847-1862) ...	168
La pratique instrumentale de Des Cloizeaux.....	169
Construction d'une méthode d'identification par Des Cloizeaux	174
Quelle application pour l'identification et la classification des minéraux ?.....	182
Conclusion	185
Chapitre 6 : Fabriquer et utiliser des sections fines de roches (1831-1862)	187
I. Tailler les roches en sections fines	188
1. Un foyer anglais favorable à l'adaptation technique	189
Une migration de la technique de fabrication	189
Sorby, s'approprier la technique de section fine (1842-1851).....	192
Evolution de la technique de préparation de Sorby (1849-1862).....	194
2. Un foyer allemand de fabrication et d'utilisation des sections fines	197
Publier pour faire connaître les sections fines de roches	197
Circulation en Allemagne de la technique de Sorby	199
II. Renouveler l'usage du microscope en minéralogie	200
L'usage du microscope par Sorby	201

Sorby, constructeur d'une pratique associant observation microscopique et sections fines de roches	203
Sorby, un promoteur de l'observation microscopique des roches	205
Conclusion	206
Conclusion de la seconde partie	209
Troisième partie : Vers la constitution du domaine de la pétrographie microscopique (1855-1895).....	213
Chapitre 7 : Construction d'une méthode de pétrographie microscopique (1855-1873) ..	217
I. Evolution des pratiques d'observations des roches	218
1. Deux savants, deux traités : une même pratique d'observation	219
Zirkel et Vogelsang : deux microscopistes	219
Deux ouvrages, un objet commun : l'étude des roches.....	222
2. Quelles pratiques d'observations microscopiques entre 1855 et 1873 ?	225
Etudier les roches en Allemagne (1855-1866)	225
Vers une nouvelle pratique d'observation des roches ? (1866-1873)	227
3. Attribuer un nouveau sens au mot pétrographie	230
II. Constituer une base méthodologique à la pétrographie microscopique (1866-1873)	233
1. Mise en œuvre des pratiques pétrographiques.....	233
2. Les traités de 1873 : un second marqueur pour la pétrographie microscopique	235
Le second traité de Zirkel comme affirmation méthodologique	236
Rosenbusch, écrire un traité de pétrographie microscopique.....	240
L'établissement d'un ensemble technique pétrographique	242
Conclusion	244
Chapitre 8 : Réception de la pétrographie microscopique allemande.....	246
I. Des travaux français en pétrographie microscopique (1866-1890).....	247
Quelle influence allemande ?	247
Un triumvirat français	252
La visibilité de l'enseignement de la pétrographie en France.....	262
II. Une origine mixte de la pétrographie anglaise (1860-1890).....	264
L'Angleterre, sous la coupe de Sorby ?	264
Des traités aux diverses influences	269
Conclusion	272
Chapitre 9 : De la fixation d'une méthode vers la constitution d'un domaine (1873-1895)	276
I. Se revendiquer en tant que pétrographe.....	277
S'inscrire dans des travaux en pétrographie microscopique	277
Constituer des références en pétrographie microscopique	278
II. Transcription de la méthode pétrographique dans les pratiques	280
1. Quel usage de l'ensemble technique pétrographique ?	280
Des pratiques microscopiques ancrées.....	280
Mode d'emploi pour fabriquer et utiliser des sections fines de roches	283
La lumière polarisée-analysée, un usage établi	286
2. Conduire des observations pétrographiques (1880-1890)	289
III. Représenter les observations microscopiques	291

Conclusion	302
Conclusion de la troisième partie	304
Conclusion générale	308
Annexes	316
Annexe 1 : Notices de l'Encyclopédie.....	318
1.1. Minéraux	318
1.2. Minéralogie	322
1.3. Caillou.....	326
1.4. Roche.....	333
1.5. Pierres	335
Annexe 2 : Traduction de l'article de William Nicol sur le prisme à simple vue (1829)	342
Annexe 3 : Traduction d'un extrait de l'article de William Nicol « Observations on the structure of recent and fossil conifers ».....	346
Annexe 4 : Traduction d'un extrait de l'article de Henry Clifton Sorby, « On the microscopical structure of crystals indicating the origin of minerals and rocks ».....	348
Annexe 5 : Un essai de mécanisation de la production de sections fines.....	350
Annexe 6 : Ferdinand Fouqué au Collège de France	351
Arrêtés de nominations	351
Intitulés des cours professés à la chaire d'Histoire naturelle des corps inorganiques par F. Fouqué.....	352
Notices biographiques.....	355
Fabricants	387
Bibliographie.....	391
Sources primaires.....	393
Archives	393
Dictionnaires et encyclopédies.....	393
Sources imprimées	394
Catalogues de fabricants	413
Références secondaires	414
Sitographie.....	424
Biographies	424
Index des noms	426
Index thématique	431
Tables des illustrations	433
Table des figures	433
Table des frises	436
Table des encarts	436
Table des matières	439

Titre : Genèse de la pétrographie microscopique. Les conditions de mise en œuvre d'une nouvelle pratique d'observation au cours du XIX^e siècle.

Mots clés : Pétrographie, Microscope, Lumière polarisée, Sections fines, Minéralogie, Pratiques d'observations, XIX^e siècle, Histoire des sciences, Histoire de la géologie

Résumé :

Cette thèse a pour objet les fondements techniques à l'origine de la constitution de la pétrographie microscopique comme méthode d'observation des roches. La pétrographie microscopique se définit dans ce travail par l'assemblage de trois éléments distincts, le microscope, les prismes polarisateurs de Nicol et des roches taillées en sections fines. Cette étude concerne principalement l'Allemagne, l'Angleterre et la France, sur une période qui va de la fin du XVIII^e siècle à 1895. Notre approche méthodologique s'inscrit dans une analyse des pratiques des savants et porte plus spécifiquement sur les usages du microscope, des sections fines et de la lumière polarisée.

Ainsi, nous nous interrogeons sur les mécanismes de leur insertion individuelle dans des pratiques d'observations mais également sur la manière dont leurs usages participent à la constitution de méthodes de détermination pour la reconnaissance

des minéraux des roches. Par ailleurs, nous avons considéré que l'étude des pratiques est également intrinsèquement liée aux techniques de fabrication, ici des dispositifs de polarisation et des sections fines. Nous avons par conséquent inclus cet aspect en déterminant les procédés de fabrication, leur évolution sur la période, mais aussi l'origine des savoir-faire mobilisés, ainsi que la commercialisation, analysée comme vecteur de diffusion de ces objets. Ce travail de thèse a donc permis d'identifier différents types de pratiques microscopiques, associant, soit l'usage de sections fines pour observer des végétaux fossiles, soit pour observer des roches réduites en poudre.

Nous avons également établi que la mise en place de la pétrographie microscopique se fait par étapes à partir de 1866 et que son usage par les savants ne supprime pas les autres méthodes d'identification préexistantes.

Title : Genesis of microscopic petrography. The conditions for the implementation of a new practice of observation during the nineteenth century.

Keywords : Petrography, Microscope, Polarized Light, Mineral Sections, Mineralogy, Observational Practices, 19th Century, History of Science, History of Geology

Abstract :

This thesis deals with the technical basis for the formation of microscopic petrography as a method of observation of rocks. Microscopic petrography is defined in this work by the assembling of three distinct elements, the microscope, the polarizing prisms of Nicol and rocks carved in thin sections. This study is European-centric and concerns mainly Germany, England and France, over a period that goes from the end of the 18th century to 1895. Our methodological approach is part of an analysis of the practices of the scientists and more specifically on the uses of the microscope, of thin sections, and that of polarized light.

Thus, we question the mechanisms of their individual insertion in observational practices but also how their uses, participate in the constitution of methods of determination for recognition

minerals and rocks. Moreover, we considered that the study of practices is also intrinsically linked to manufacturing techniques, specially in this case on polarization devices and thin sections. We have therefore included this aspect in determining the manufacturing processes, their evolution over the period, but also the origin of the knowledge mobilized, as well as the commercialization, analyzed as a vector of diffusion of these objects.

This work allowed us to identify different types of microscopic practices, combining either the use of fine sections to observe fossil plants or to observe rocks reduced to powder.

We have also established that the establishment of microscopic petrography takes place in stages beginning in 1866 and that its use by scientists does not supplant other pre-existing methods of identification.