

La science française /
Exposition universelle et
internationale de San
Francisco ; [préface par
Lucien Poincaré]

Exposition internationale (1915 ; San Francisco, Calif.). La science française / Exposition universelle et internationale de San Francisco ; [préface par Lucien Poincaré]. 1915.

1/ Les contenus accessibles sur le site Gallica sont pour la plupart des reproductions numériques d'oeuvres tombées dans le domaine public provenant des collections de la BnF. Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n°78-753 du 17 juillet 1978 :

- La réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur et notamment du maintien de la mention de source.
- La réutilisation commerciale de ces contenus est payante et fait l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

[CLIQUER ICI POUR ACCÉDER AUX TARIFS ET À LA LICENCE](#)

2/ Les contenus de Gallica sont la propriété de la BnF au sens de l'article L.2112-1 du code général de la propriété des personnes publiques.

3/ Quelques contenus sont soumis à un régime de réutilisation particulier. Il s'agit :

- des reproductions de documents protégés par un droit d'auteur appartenant à un tiers. Ces documents ne peuvent être réutilisés, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.
- des reproductions de documents conservés dans les bibliothèques ou autres institutions partenaires. Ceux-ci sont signalés par la mention Source gallica.BnF.fr / Bibliothèque municipale de ... (ou autre partenaire). L'utilisateur est invité à s'informer auprès de ces bibliothèques de leurs conditions de réutilisation.

4/ Gallica constitue une base de données, dont la BnF est le producteur, protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle.

5/ Les présentes conditions d'utilisation des contenus de Gallica sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

6/ L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur, notamment en matière de propriété intellectuelle. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

7/ Pour obtenir un document de Gallica en haute définition, contacter reutilisationcommerciale@bnf.fr.

« La science cristallographique fut ainsi créée toute entière par le génie d'Haüy et ses successeurs n'ont guère eu qu'à perfectionner les détails de son œuvre. Aucune autre branche des connaissances humaines n'est, à ce degré, l'ouvrage d'un seul homme. »

Plus tard, alors que la Cristallographie se développe en dehors de la France dans une direction exclusivement géométrique, DELAFOSSE, élève d'Haüy, complète la théorie de son maître, donne la véritable explication de l'hémiédrie et montre nettement la nécessité de revenir aux conceptions moléculaires. Pour lui, la molécule intégrante n'est plus un *solide*, c'est une *maille* parallélipédique dont chaque *nœud* est occupé par une *molécule physique*. Mais, c'est véritablement BRAVAIS qui doit être considéré comme le fondateur de la théorie moléculaire des cristaux; non seulement son hypothèse réticulaire explique les lois fondamentales de la Cristallographie, mais elle permet de prévoir toutes les formes holoédriques et hémiédriques possibles.

Il était réservé à Mallard de dégager la théorie de Bravais de l'appareil mathématique qui la rendait peu abordable à la plupart des minéralogistes et de l'exposer sous une forme plus accessible. Il l'a en outre complétée et mise en harmonie avec les nouveaux faits d'observation, réunis par ses devanciers et par lui-même. Un de ses élèves, G. FRIEDEL, a repris récemment le développement de ses idées, il les a précisées sur plusieurs points et a insisté en particulier sur l'intérêt de la loi de Bravais, relative aux liens existant entre l'importance des faces des cristaux et leur densité réticulaire.

Les progrès de cette théorie réticulaire ont été l'une des plus heureuses conséquences du développement de la connaissance des propriétés optiques des minéraux, aussi est-il nécessaire de s'occuper dès à présent de celles-ci.

Avant de devenir, au cours de la seconde moitié du XIX^e siècle, l'une des parties essentielles de la Minéralogie, l'étude des *propriétés optiques* des cristaux a été surtout entreprise par des physiciens. Il est donc juste de

rappeler ici la part prise par ceux de notre pays dans la découverte des phénomènes fondamentaux et dans l'établissement des premières méthodes d'observation : découverte de la polarisation chromatique, de la polarisation rotatoire (quartz), du polychroïsme par ARAGO ; travaux de BIOR sur les mêmes sujets (généralisation du pouvoir rotatoire des corps actifs et inactifs, signe optique des cristaux, polarisation lamellaire, absorption de la tourmaline), ceux de BABINET (loi de l'absorption dans les cristaux, compensateur), etc.

On ne peut oublier enfin l'œuvre géniale de FRESNEL dont sont tributaires tous les théoriciens de l'optique des cristaux, DE SENARMONT, Mallard, etc.

Le savant qui a le plus fait pour l'introduction en Minéralogie de l'emploi des propriétés optiques est DES CLOIZEAUX ; à l'aide d'instruments adaptés par lui à l'examen des petits cristaux, il a réalisé un nombre véritablement stupéfiant de déterminations, effectuées sur tous les minéraux transparents connus de son temps. Il a attaché en outre son nom à la découverte de la polarisation rotatoire du cinabre qui est encore, avec le quartz, le seul minéral dans lequel cette propriété ait été observée. Il a démontré l'utilité de l'emploi de la dispersion pour la détermination du système cristallin et poursuivi de longues recherches sur les variations que les propriétés optiques des corps cristallisés subissent sous l'influence de la chaleur.

Ses travaux sur les feldspaths, les amphiboles, les pyroxènes, etc., constituent la base solide sur laquelle plus tard a été édifiée la *Pétrographie* moderne qui, pour la détermination des éléments constitutifs des roches, a substitué à l'examen des minéraux en lames épaisses, taillées dans des directions déterminées, l'observation de lames très minces, coupées suivant des orientations quelconques.

Dans cette dernière discipline, le rôle des savants français a été particulièrement brillant ; en première ligne se placent les méthodes délicates et ingénieuses, comme aussi les déterminations de constantes, dues à FOUQUÉ (feldspaths), à MICHEL-LÉVY (extinctions en zones, éclaircissement commun, biréfringence, étude des plagioclases) et à leurs disciples.

Les pétrographes étudient les propriétés optiques des minéraux dans un but géologique; ce sont des naturalistes. D'autres minéralogistes s'en occupent surtout en physiciens; les recherches de haute précision de DUFET et d'OFFRET sur les variations des indices de réfraction sous l'influence de la chaleur se rattachent à ce point de vue et ont eu pour conséquence des discussions de physique théorique.

Les phénomènes d'absorption ont sollicité l'attention de nombreux minéralogistes physiciens. Pour m'en tenir à la période moderne, je citerai les recherches de H. BECQUEREL sur les variations du spectre d'absorption dans les cristaux et les délicates expériences de Senarmont, puis de GAUBERT sur la production artificielle du polychroïsme dans beaucoup de sels.

Revenons maintenant aux questions de structure, traitées non plus à l'aide de considérations géométriques, mais à la lumière d'observations optiques faites sur des cristaux.

Bravais admettait que, dans son réseau, toutes les molécules sont parallèlement orientées, hypothèse qui rendait difficile l'interprétation de certaines propriétés; s'appuyant sur les observations de WYROUBOFF, relatives au ferrocyanure de potassium, Mallard a montré que, dans certains édifices, il peut y avoir pénétration de plusieurs cristaux d'orientation différente et qu'il en résulte pour l'ensemble, une symétrie apparente supérieure à celle de chaque cristal, considéré individuellement. Ce fut le point de départ d'explications de bien des faits, de bien des propriétés qui, jusqu'alors, avaient vainement exercé la sagacité des cristallographes; les *anomalies optiques* et particulièrement celles des minéraux pseudocubiques, sur lesquelles Mallard a accumulé des observations capitales, cessent d'être des anomalies, la polarisation rotatoire y trouve des explications.

Du même ordre de considération, Mallard a tiré une conception de la structure des *cristaux mixtes* et des changements structurels qui se produisent dans un édifice cristallin susceptible de transformations polymorphiques.

Son opinion qu'un cristal peut posséder dans les éléments de sa structure une symétrie inférieure à celle de sa forme extérieure était rejetée par bien des savants; ses recherches sur la boracite et la découverte de la transformation de ce minéral à 250° C. en une forme cubique lui permirent d'en fournir une démonstration définitive.

Deux contemporains de Mallard, Dufet et Wyruboff, l'ont complétée d'une façon heureuse; le premier, par ses travaux de métrologie de haute précision (propriétés optiques de séries isomorphes), le second, par ses multiples investigations de Cristallographie chimique. Wyruboff a recueilli notamment de nombreuses données relatives à la *polarisation rotatoire*, à *l'isomorphisme*, au *polymorphisme*; la distinction de polymorphisme direct et indirect lui est due.

Mention doit être faite de la découverte d'un nouveau type de structure des corps cristallisés, les enroulements hélicoïdaux. Observés pour la première fois par Michel-Lévy dans la calcédonite; ils ont été retrouvés avec des modalités variées dans des corps organiques, notamment par WALLERANT et GAUBERT et le mécanisme de leur formation a été éclairé par les expériences de Wallerant qui les a fait naître dans divers corps organiques, grâce à l'addition d'une substance asymétrique.

Je signalerai aussi les travaux de Mallard, de G. Friedel, de Wallerant, sur la *théorie des macles*, et aussi ceux de ce dernier savant sur les *macles secondaires* dont il a donné une ingénieuse théorie qui lui a servi de base à une explication des transformations polymorphiques confirmée par ses études sur les cristaux mixtes.

Les travaux sur les tartrates et l'acide tartrique, dans lesquels PASTEUR a établi la liaison qui existe entre la *polarisation rotatoire* des solutions de certains sels organiques et l'*hémiédrie* de leurs cristaux, tiennent une telle place dans la science qu'il faut les rappeler ici. La cristallisation d'une solution d'un racémate fournit deux séries de cris-

taux présentant l'une des deux formes conjuguées non superposables de l'hémiédrie holoaxe. En séparant ces deux espèces de cristaux et en les dissolvant, on obtient deux solutions faisant tourner le plan de polarisation d'angles égaux et de sens contraire ; les acides extraits de ces cristaux possèdent les mêmes propriétés ; mélangés en proportions égales, ils reconstituent l'acide racémique inactif, et de ce fait résulte l'explication de l'inactivité de ce dernier. Mais la séparation de ces deux sortes de cristaux est pénible ; GERNEZ eut l'idée de placer dans une solution sursaturée du racémate un cristal de ce sel et il montra que la présence de ce germe entraîne la formation de cristaux semblables à celui-ci. Généralisant ce résultat, il a fait voir que pour obtenir la cristallisation d'une solution sursaturée, il suffit de l'ensemencer avec un cristal isomorphe de la substance dissoute. Cette découverte a été le point de départ des travaux de LECOQ DE BOISBAUDRAN sur les états instables des sulfates de la série magnésienne.

Les recherches de *cristallogenèse* ont toujours été très en honneur en France. On doit citer celles de Nicolas LEBLANC (1793-1802) sur l'influence des variations des conditions de la cristallisation sur la forme des cristaux, les travaux de Pasteur sur la cicatrization des cristaux mutilés, la théorie de P. CURIE sur l'influence des actions capillaires existant entre les faces des cristaux et leur eau mère, enfin les expériences de P. Gaubert sur l'influence des courants de convection et de concentration, de la vitesse de cristallisation et de la présence des matières étrangères.

Les propriétés physiques autres que celles qui viennent d'être envisagées ont fait l'objet de travaux moins nombreux, mais dont quelques-uns sont fort importants. Je ne rappellerai que les plus saillants.

En ce qui concerne la *dilatation* des cristaux, les recherches précises de FIZEAU sont bien connues ; celles de H. LE CHATELIER sur la dilatation du quartz aux différentes températures l'ont conduit à la découverte d'une forme de quartz

se produisant à 570° C. avec augmentation de volume, changement de symétrie et de propriétés optiques. La connaissance de ce quartz est importante pour la discussion de la genèse des roches quartzifères.

Les travaux théoriques de DUHAMEL sur la *propagation de la chaleur* dans les cristaux ont été suivis par l'œuvre expérimentale de Senarmont et de JANNETTAZ, effectuée sur un grand nombre de minéraux.

Les observations de WEISS sur la magnétite et la pyrrhotine l'ont conduit à préciser les lois de l'*aimantation* dans les corps cristallisés.

Enfin, s'il est nécessaire de mentionner les travaux de A. C. BECQUEREL, de CH. FRIEDEL et de J. CURIE sur la *pyroélectricité* des cristaux, découverte en 1801 par Haüy dans la tourmaline, l'attention doit être retenue surtout sur la découverte faite par J. et P. Curie de la *piézoélectricité* dans les cristaux dépourvus de centre de symétrie.

Une application des méthodes minéralogiques à l'étude des métaux (*métallographie*) a fourni à l'industrie métallurgique un puissant instrument de progrès. Il a permis en particulier d'élucider la nature, jusqu'alors restée obscure, des alliages métalliques.

Si la métallographie microscopique est née en Angleterre, grâce à l'esprit inventif de Sorby, elle ne s'est réellement développée qu'après les travaux d'OSMOND. Son mémoire classique sur les constituants des aciers a, pour la première fois, fait comprendre l'importance théorique et pratique des nouvelles méthodes d'observation (examen par réflexion de surfaces polies convenablement attaquées) qui ont été depuis lors perfectionnées par de nombreux expérimentateurs et notamment par H. Le Châtelier. Dans ce domaine, les recherches intéressantes se multiplient avec une grande rapidité; elles ont éclairé aussi bien la constitution des alliages naturels, qui constituent les fers météoriques, que les alliages fabriqués dans les usines.

Les *liquides biréfringents* de O. Lehman, dont la nature a

été si discutée, ont fait l'objet d'importants travaux en France, notamment de Wallerant, Gaubert, MAUGUIN et de plusieurs autres, qui ont appliqué, avec beaucoup d'ingéniosité, à ce sujet difficile des procédés d'investigation nouveaux ou plus précis que ceux utilisés jusqu'alors : emploi de la lumière convergente, mesure des indices de réfraction, étude de l'orientation des plages sous l'influence d'un champ magnétique, etc. Leurs observations ont éclairé les propriétés de ces curieuses substances qui ont permis d'étendre nos connaissances sur les états physiques des corps. La continuité des propriétés de ces *liquides biréfringents* et de celles des *cristaux solides* est établie par l'intermédiaire des *cristaux mous*.

II. MINÉRALOGIE CHIMIQUE. — Dans le domaine de la chimie minérale, BERTHIER, RIVOT et Ad. CARNOT ont marqué par l'établissement de procédés généraux d'analyse des minéraux. Ils ont publié des traités classiques de *Docimasia*. On ne doit pas oublier la méthode d'analyse des silicates par la voie moyenne d'H. SAINTE-CLAIRE-DEVILLE.

Les analyses de DUFRÉNOY, de DELESSE, de PISANI, de CARNOT et de beaucoup d'autres ont fixé la constitution chimique d'un grand nombre d'espèces minérales nouvelles ou anciennement connues.

L'analyse spectrale des blends des Pyrénées, a conduit Lecoq de Boisbaudran à la découverte du *gallium*, qu'il a pu extraire et faire connaître d'une façon complète.

Il ne faut pas oublier que la découverte du *radium* par M. et M^{me} Curie et la voie nouvelle, extraordinairement féconde, ouverte par la découverte des *phénomènes radioactifs* sont une conséquence d'une étude approfondie de la pechblende et d'autres minéraux uranifères. On a vu plus haut que P. Curie s'était déjà distingué dans divers domaines de la Cristallographie.

Il est une propriété physique, qui n'est pas liée à la symétrie, mais dont la place ici peut se défendre, car elle paraît en relation avec certains traits de la composition chimique : c'est la *phosphorescence*; elle a fait l'objet de nombreux travaux de E. BECQUEREL.



RENÉ-JUST HAÜY. (1743-1822)

LITHOGRAPHIE
PAR BOILLY

La méthode d'*analyse spectrale* des minéraux non conducteurs par les sels fondus d'A. DE GRAMONT rend de grands services pour la détermination rapide des éléments existant en petite quantité dans les minéraux. Les travaux spectrographiques d'URBAIN ont récemment démontré la grande dissémination de traces d'éléments, tels que le gallium et le germanium, dans beaucoup de minéraux communs.

Enfin, les recherches de G. Friedel, sur la nature de l'eau contenue dans les minéraux du groupe des zéolites, méritent d'être retenues. Bien qu'existant en proportions définies, cette eau n'est qu'interposée; elle n'entre pas dans la constitution de la molécule qui détermine la forme du réseau cristallin, elle peut être chassée sans que celui-ci soit détruit et elle peut être réabsorbée ou être remplacée par des gaz, des liquides ou des produits volatils très denses (GRANJEAN), qui modifient les propriétés optiques du minéral.

Le rôle des minéralogistes français, s'occupant de questions chimiques, a été particulièrement important dans la direction des *reproductions synthétiques*; la découverte des méthodes générales est leur œuvre, édifiée par de nombreux et brillants travailleurs.

Dans le domaine de la *fusion sèche*, après les travaux de BERTHIER sur divers minéraux, il faut donner une place d'honneur aux multiples expériences de Fouqué et Michel-Lévy, qui, après avoir obtenu par leur procédé du recuit, la plupart des minéraux des roches, ont fait la synthèse de toutes les roches volcaniques, à l'exception de celles renfermant du quartz et de l'orthose; ils ont apporté ainsi la démonstration de l'influence prépondérante que joue la fusion purement ignée dans la genèse de la plupart des laves.

Du procédé de cristallisation de l'alumine par simple fusion à haute température, réalisée pour la première fois par GAUDIN et rendue pratique par VERNEUIL, est née l'industrie des rubis, des saphirs et des spinelles artificiels qui, depuis quelques années, a pris une énorme extension.

La fusion, *avec intervention de minéralisateurs*, constitue une voie particulièrement fructueuse, qui a conduit à la synthèse d'un nombre considérable d'espèces cristallisées. DEVILLE et CARON, HAUTEFEUILLE, BOURGEOIS, GORGEU ont employé les chlorures comme minéralisateurs; FRÉMY, FEIL et Verneuil, les fluorures (première synthèse des cristaux de rubis); EBELMÉN, le borax et les carbonates; Hautefeuille, les tungstates et les vanadates.

Une autre méthode fait intervenir des *minéralisateurs à l'état gazeux*, réagissant, à haute température, sur des vapeurs métalliques (GAY-LUSSAC, DUROCHER, H. Sainte-Claire-Deville et Caron, Hautefeuille, Stan. Meunier) ou sur des oxydes (H. Sainte-Claire-Deville).

Une dernière méthode très féconde a été inaugurée par de Senarmont, et développée par DAUBRÉE, Friedel et SARASIN, G. Friedel; elle consiste à faire naître des réactions par *voie humide en tube scellé*, à quelques centaines de degrés et sous *pression*.

Enfin, parmi les multiples procédés de reproduction par *voie humide* obtenus à la *température ordinaire* et à la *pression normale*, il faut citer celui des tubes fêlés de A. C. Becquerel.

Toutes ces synthèses ont été obtenues dans des buts variés; certains expérimentateurs, surtout chimistes, se sont proposés de fabriquer des minéraux plus purs que ceux de la Nature et d'arriver ainsi à la détermination certaine de leur composition chimique. D'autres, chimistes et naturalistes, ont voulu, avant tout, éclairer la genèse des minéraux en cherchant à imiter les particularités qu'ils présentent dans leurs gisements afin d'en retirer les conclusions génétiques.

III. MINÉRALOGIE PROPREMENT DITE. — Les divers *Traité*s de *Minéralogie*, dont la liste est donnée plus loin, permettent de se rendre compte des phases successives de l'évolution de la Minéralogie en France depuis un siècle et demi.

Avec BUFFON, se termine la période héroïque, dans laquelle, seuls les caractères extérieurs étaient employés pour définir les minéraux, à une époque où la signification des

formes géométriques n'était même pas soupçonnée et la composition chimique à peu près inconnue.

Haüy établit le règne de la Cristallographie, considérée par l'illustre minéralogiste comme devant prédominer d'une façon absolue sur tout autre point de vue. A cette période se rapporte une grande monographie, le *Traité de la chaux carbonatée* de BOURNON, et aussi (bien que publiée beaucoup plus tard), la description de la collection de HEULAND par Lévy, qui y fit usage de la modification de la notation cristallographique d'Haüy, employée depuis lors par les minéralogistes français.

Pendant le premier quart du siècle dernier, la chimie minérale se constitue; la découverte de la loi des proportions définies, de l'isomorphisme entraîne des progrès rapides dans la connaissance de la *composition des minéraux*; aussi, à la mort d'Haüy (1822), se produit une réaction des chimistes minéralogistes contre les cristallographes : le *Traité de Minéralogie* de BEUDANT reflète cette tendance.

Dans sa *Minéralogie*, publiée en 1845, Dufrénoy cherche à égaliser l'importance des deux points de vue antagonistes, mais il donne en outre une part plus grande à l'étude des caractères extérieurs des minéraux que depuis le commencement du siècle, A. BRONGNIART n'avait cessé de tenir en honneur. C'est une évolution de la Minéralogie vers l'histoire naturelle.

Avec des Cloizeaux, apparaissent des recherches cristallographiques détaillées et précises, dont son célèbre mémoire sur le quartz, les tableaux d'angles et les projections stéréographiques, non surpassées, de son *Manuel de Minéralogie*, représentent les exemples les plus parfaits. C'est lui en outre qui introduit définitivement dans la Minéralogie descriptive l'étude des propriétés optiques. Peu à peu, celles-ci prennent une importance croissante, qui devient même prédominante dans toutes les recherches de Minéralogie pétrographique dont il va être question plus loin.

Enfin, l'école actuelle cherche à établir un équilibre entre toutes les méthodes d'observation et, rapprochant la Minéralogie de la Géologie, s'attache à préciser les variations

de forme et de composition des minéraux en fonction de leurs conditions de gisement, soigneusement étudiées, afin d'en déduire des conclusions sur leur genèse (Minéralogie de la France et de ses Colonies).

Il est impossible de citer les nombreuses descriptions minéralogiques, souvent très importantes, publiées en France depuis un siècle. D'abord surtout insérées dans le *Journal*, puis les *Annales des Mines* et dans les *Annales de Chimie et de Physique*, elles ont depuis 1878 trouvé leur véritable place dans les trente-huit volumes du *Bulletin de la Société française de Minéralogie*.

Je signalerai en terminant les monographies régionales qui ont permis de faire connaître la composition minéralogique de notre sol national (DRIAN, DE LIMUR, Ch. BARET, F. GONNARD, etc.) et de ses colonies (DUPOUY).

On doit rattacher à la Minéralogie l'étude des *fumerolles des volcans*, de leurs gaz, intéressants à connaître pour l'histoire des magmas éruptifs, aussi bien que des minéraux volatils qu'ils amènent des profondeurs ou qu'ils produisent par l'attaque des laves traversées. C'est à Ch. SAINTE-CLAIRE-DEVILLE et à Fouqué qu'est dû l'établissement des lois de la variation de composition des gaz de ces fumerolles en fonction de leur température. Un élève de Fouqué a complété son œuvre par l'étude des minéraux formés par les fumerolles des récentes éruptions du Vésuve, de l'Etna, etc.

Métallogénie. — Parmi les gisements de minéraux, ceux qui fournissent les minerais ont un intérêt théorique et pratique qu'il est à peine besoin de souligner. Dans l'histoire de leur étude, qui constitue la *métallogénie*, il faut avant tout rappeler le nom d'Élie DE BEAUMONT, auteur de la première théorie complète et rationnellement déduite des filons métallifères. Dans son mémoire célèbre sur les *émanations volcaniques et métallifères* (1847), il a montré le rôle des circulations hydrothermales en rapport d'origine avec l'activité éruptive et classé les types de filons métallifères par

groupes correspondant aux divers minéralisateurs. Plus tard, DAUBRÉE a suivi la même voie et réalisé, dans le but d'éclairer cette question, les plus importantes de ses reproductions synthétiques. Dans sa « *Géologie expérimentale* » (1878) et dans ses « *Eaux souterraines* » (1887), il a mis en évidence le mécanisme des fractures filoniennes et les conditions de leur remplissage, groupant un grand nombre d'idées nouvelles sur la circulation des eaux souterraines et en particulier des eaux thermales, précisant leur intervention dans le remplissage des filons ; sa théorie des filons stannifères ne doit pas être oubliée. DE LAUNAY est aujourd'hui, en France, le représentant autorisé de cette branche de la science, dans laquelle il a apporté des idées nouvelles intéressantes.

Pétrographie. — La Minéralogie comprend non seulement l'étude des espèces minérales, considérées au point de vue individuel, mais aussi les roches que certaines d'entre elles constituent par leur association. La *Pétrographie* n'est donc qu'un point de vue de la Minéralogie, spécialement appliqué à une fin géologique ; il est par suite naturel de constater que son développement ait été lié aux progrès des méthodes d'observation de la Minéralogie. Son évolution comprend deux périodes principales, dont la seconde a été inaugurée, il y a une cinquantaine d'années, par l'application du microscope à l'observation des roches.

Pour Haüy, la *Pétrographie* n'était qu'une annexe de la Minéralogie descriptive, surtout consacrée aux agrégats à grands éléments ; la science lui doit la définition de quelques-uns des types les plus importants de roches.

Mais, dès cette époque, apparaissent en France deux précurseurs de l'examen microscopique. FLEURIAU DE BELLEVUE, en 1800, et CORDIER, en 1815, proposent de pulvériser les laves, d'effectuer la séparation de leurs éléments au moyen de l'eau, puis de les examiner au microscope et d'achever leur détermination à l'aide d'essais chimiques. Ils montrent que les laves compactes, bien loin d'être des corps homogènes, comme on le croyait alors, sont en réalité con-

stituées par des cristaux microscopiques appartenant à des espèces minérales déjà connues, avec ou sans accompagnement de verre; mais cette tentative hardie arrivait trop tôt, elle n'eut pas de lendemain et ce ne fut qu'un demi-siècle plus tard qu'apparut la véritable pétrographie microscopique.

Parmi les travaux d'un caractère général, publiés dans cette première période, notons un petit livre d'AL. BRONGNIART (1827), remarquable par la clarté et la netteté de ses conclusions; les caractères minéralogiques jouent le premier rôle dans son système. Plus tard, vinrent la classification de CORDIER et celle, plus intéressante, de COQUAND qui fit intervenir, pour la première fois en France, l'origine des roches comme base des grands groupements (roches éruptives, sédimentaires et métamorphiques) qui ont survécu, ainsi que certaines de ses divisions secondaires. C'est de cette même période que datent les laborieuses descriptions des roches des Vosges par Delesse.

L'application du microscope et des propriétés optiques a apporté de la précision là où le vague tenait jusqu'alors une place excessive. Fouqué et Michel-Lévy furent les introducteurs en France des méthodes nouvelles et j'ai signalé plus haut la part prépondérante qu'ils ont prise au développement de la Pétrographie microscopique. Ils ont proposé en outre une *classification des roches éruptives*, basée sur la composition minéralogique et la structure; cette classification, perfectionnée peu à peu, est toujours en usage parmi nous.

Une fois les constituants des roches déterminés par les procédés de l'optique, il est important de pouvoir les isoler, les purifier pour en faire l'étude chimique et cette nécessité n'est pas limitée aux seuls minéraux des roches. De nombreuses *méthodes de séparation physique des minéraux* ont été imaginées; elles sont nées pour la plupart en France.

On vient de voir quel était le procédé *par lévigation* de Fleuriau de Bellevue et de Cordier; la méthode des *liqueurs denses* a été inaugurée par les travaux de THOULET (iodure de mercure et de potassium) et de Daniel KLEIN

(tungstoborate de cadmium). Thoulet a montré en outre combien est pratique la détermination de la densité des minéraux très petits par la méthode de suspension dans un liquide de même densité. L'emploi des *sels fondus* est dû à R. BRÉON (chlorures de plomb et de zinc). Enfin, il faut rappeler la méthode (Fouqué) de *séparation par l'électro-aimant*, qui a fait fortune, depuis lors, dans l'industrie pour l'extraction des minerais de leurs gangues pierreuses. Le même minéralogiste a employé avec habileté l'action (chimique) ménagée de l'acide fluorhydrique pour extraire certains minéraux des roches volcaniques.

La liste bibliographique donnée plus loin indique les principales monographies pétrographiques publiées en France, depuis l'introduction du microscope. Elles ont contribué au rapide développement de nos connaissances sur la composition minéralogique et la structure des roches en général et des roches éruptives en particulier. Depuis quelques années, les pétrographes français se sont nettement orientés dans la direction chimique, sans pour cela négliger les recherches minéralogiques précises. Il faut noter aussi leur tendance actuelle à chercher à lier l'ensemble des caractères des roches aux conditions de leur formation pour en tirer des conclusions d'ordre général sur leur genèse (étude des laves de l'éruption de la montagne Pelée). Cette tendance ne s'affirme pas moins en ce qui concerne les roches sédimentaires (CAYEUX).

L'essor colonial de la France a eu pour conséquence d'importants travaux pétrographiques qui, à un point de vue général, ont apporté des données nouvelles sur les roches alcalines. Il faut citer aussi à cet égard les recherches récentes sur la *latérite* des pays tropicaux, qui sont venues s'ajouter aux travaux anciens d'Ebelmen sur la *décomposition des roches* sous les climats tempérés.

Dans l'étude des *météorites*, Daubrée et son continuateur Stan. Meunier ont publié la description des pierres et des fers d'un grand nombre de chutes et exposé les principes d'une classification générale de ces roches extraterrestres.

Le *métamorphisme* a, de longue date, sollicité l'attention des minéralogistes et des géologues français (les termes de métamorphisme exomorphe et endomorphe ont été créés par FOURNET).

Parmi les auteurs anciens, une place d'honneur est due à DUROCHER, à Delesse et à Daubrée, l'apôtre de l'influence de la vapeur d'eau dans les transformations métamorphiques.

Dans la période moderne l'École française, sous l'influence de Michel-Lévy, a mis en évidence ce fait [Bretagne (Ch. BARROIS), Pyrénées] que les phénomènes de métamorphisme exomorphe ne consistent pas seulement en transformations physiques, mais qu'ils sont souvent caractérisés par des modifications chimiques par apport (feldspathisation au contact du granite, etc.). Des observations d'un grand intérêt ont été réunies en outre pour démontrer la réalité des transformations endomorphes des magmas granitiques au contact des calcaires (Pyrénées, etc.), et aussi pour mettre en lumière le métamorphisme dû aux laves (Enclaves des roches volcaniques).

Rappelons enfin les nombreuses observations réunies sur les schistes cristallins et les théories émises sur l'origine de ceux-ci par Michel-Lévy et P. TERMIER, qui font intervenir des apports d'origine profonde pour expliquer la transformation de roches sédimentaires en gneiss et en micaschistes.

L'étude chimique des roches, si en honneur aujourd'hui, ne date pas d'hier; un précurseur des théories modernes sur la composition chimique des magmas et sur les relations existant entre les roches qui en proviennent est Durocher. Dès 1857, ce savant a exposé une théorie des deux magmas plus générale que celle de Bunsen et aussi des vues ingénieuses sur les roches de composition complémentaire, sur les roches hybrides, alors que dans le même mémoire, il montrait l'intérêt des rapports moléculaires déduits des analyses des roches, ainsi que l'importance de la considération de l'alumine feldspathisable.

Le peu de succès qu'eurent alors ces spéculations théo-

riques, aussi bien que les nombreuses analyses de roches publiées par Delesse, s'expliquent aujourd'hui par l'incertitude des données analytiques de cette époque résultant de l'impossibilité où l'on se trouvait alors de déceler les multiples causes d'erreur dues aux altérations des roches et par suite aussi de l'ignorance de leur véritable composition minéralogique que seul révèle l'examen microscopique.

A partir de 1897, Michel-Lévy a apporté sur toutes ces questions des suggestions intéressantes tendant en particulier à introduire la notion des agents minéralisateurs pour l'interprétation des phénomènes de différenciation. L'emploi de ses paramètres magmatiques facilite la compréhension des analyses et il n'est pas inutile de rappeler que son principe de calculer la quantité de feldspaths virtuels contenus dans les magmas et de l'opposer à la teneur en minéraux ferromagnésiens a été choisi par les pétrographes américains comme l'une des bases de leur ingénieuse classification quantitative des magmas.

Alfred LACROIX.

BIBLIOGRAPHIE

I. — CRISTALLOGRAPHIE

CRISTALLOGRAPHIE THÉORIQUE

ROMÉ DE L'ISLE. — *Essai de Cristallographie ou description des figures géométriques propres à différents corps du règne minéral, connus vulgairement sous le nom de cristaux, avec figures et développements*, 1 vol. Paris, 1772.

HAÜY. — *Essai d'une théorie sur la structure des cristaux appliquée à plusieurs substances cristallisées*, 1 vol. Paris, 1774.

— *Cristallographie ou description des formes propres à tous les corps du règne minéral dans l'état de combinaisons saline, pierreuse ou métallique*, 2 vol. Paris, 1783.

— **Traité de Cristallographie*, suivi d'une application des principes de cette science à la détermination des espèces miné-

- rales et d'une nouvelle méthode pour mettre les formes cristallines en projection. 2 vol. in-8°. Paris, 1822.
- G. DELAFOSSE. — *Sur la structure des cristaux considérée comme base de la distinction des systèmes cristallins*. Paris, 1840.
- *Recherches sur la cristallisation considérée sous les rapports physique et mathématique*. M. S. E., LXXVIII, 1843 (1).
- A. BRAVAIS. — *Mémoire sur les systèmes formés par des points distribués régulièrement sur un plan ou dans l'espace*. J. Ec. Polytech., XIX, 1850-1851.
- * *Études cristallographiques*. J. Ec. Polytech., XX, in-4°. Paris, Bachelier, 1851.
- E. MALLARD. — * *Traité de Cristallographie géométrique et physique*, 2 vol. in-8°. Paris, Dunod, 1879-1884.
- P. CURIE. — *Sur les questions d'ordre; Répétitions*. — *Sur la symétrie*. B. S. M., VII, 1884.
- H. DE SENARMONT. — *Note sur les groupements cristallins de l'aragonite, de la withérite et de l'alstonite*. A. C. P., XLI, 1854.
- E. MALLARD. — *Explications des phénomènes optiques anomaux que représentent un grand nombre de substances cristallisées*. A. M., X, 1876-1887.
- *Sur la théorie des macles*. B. S. M., VIII, 1885.
- *Les groupements cristallins* (Revue scientifique). 1887.
- F. WALLERANT. — *Groupements cristallins* (Scientia, n° 6). Petit in-8°. Paris, Gauthier-Villars, 1899.
- *Sur les enroulements hélicoïdaux dans les corps cristallisés*. B. S. M., XXX, 1907.
- * *Cristallographie. Déformation des corps cristallisés. Groupements. Polymorphisme. Isomorphisme*, 1 vol. Paris, 1909.
- G. FRIEDEL. — * *Leçons de Cristallographie, Structures, Macles*, in-8°. Paris, Hermann, 1911.
- * *Étude sur les groupements cristallins*, 1 vol. in-8°. Saint-Étienne. Thomas, 1904.

(1) Abréviations employées pour désigner les principaux périodiques cités : A. C. P. : *Annales de Chimie et de Physique*. A. M. : *Annales des Mines*. B. S. C. : *Bulletin du service de la carte géologique de France*. B. S. G. : *Bulletin de la Société géologique de France*. B. S. M. : *Bulletin de la Société française de minéralogie*. C. R. : *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*. J. P. : *Journal de Physique*. M. A. S. : *Mémoires de l'Académie des sciences*. M. S. E. : *Mémoires de l'Académie des sciences. Recueil des savants étrangers à l'Académie*. N. A. M. : *Nouvelles Archives du Muséum*.