

ENSEIGNER LES MATHÉMATIQUES DANS UN DOMAINE TECHNIQUE. ÉCOLES ET ACADEMIES DES MINES AU XVIII^e SIECLE

Thomas MOREL

Technische Universität Berlin

thomas_morel@msn.com

Résumé

Cet article propose une esquisse de l'histoire de l'enseignement des mathématiques dans les écoles et académies des mines. Dans l'Europe du XVIII^e siècle, l'exploitation minière constitue une source de revenus cruciale pour de nombreux états. La nécessité de former des ingénieurs, machinistes et administrateurs compétents va entraîner une institutionnalisation progressive de leur formation. Si les chronologies et les modalités varient d'une région à l'autre, les mathématiques occupent dans tous les cas une place de premier plan.

Dans une première partie, je me focaliserai sur l'institutionnalisation de la formation des géomètres souterrains, qui précède la création d'établissements d'enseignement proprement dits. La seconde partie décrit le lent et difficile processus d'institutionnalisation dans l'espace germanophone au cours du XVIII^e siècle. Une dernière partie est consacrée à un tour d'horizon des institutions et des rapports entre sciences mathématiques et sciences des mines dans divers pays européens.

Mots clés : histoire des mathématiques ; enseignement technique ; géométrie souterraine ; académie des mines de Freiberg ; académie des mines de Schemnitz ; Johann Friedrich Lempe.

INTRODUCTION

Le but de cet article est de décrire un aspect de l'histoire des mathématiques pratiques au XVIII^e siècle, à savoir l'enseignement des mathématiques pour l'exploitation des mines. Pour des raisons sur lesquelles je reviendrai au cours de l'exposé, je parlerai dans un premier temps essentiellement de l'exploitation des mines dans l'espace germanophone, c'est-à-dire dans les états d'Europe centrale¹. Cette thématique a été très peu travaillée, comme souvent lorsqu'on s'intéresse à l'histoire de l'enseignement des mathématiques pratiques. Une première raison est très concrète : les sources sont dispersées et peu facile d'accès. Plus fondamentalement, l'intérêt que la transmission de connaissances mathématiques pouvait avoir dans des domaines techniques comme les mines aux XVII^e et XVIII^e siècle a aujourd'hui largement été oublié. Des disciplines comme la « géométrie souterraine » ou, pour prendre un exemple complètement différent, « l'arithmétique forestière », nous semblent aujourd'hui étranges, alors même qu'elles étaient abondamment utilisées et discutées, et jouaient un rôle économique et social bien plus important que des disciplines prestigieuses comme la mécanique céleste.

¹ Cette publication s'inscrit dans le cadre du projet post-doctoral « *Markscheidekunst and Mathematics Teaching in the German Mining Academies* », que j'effectue à la *Technische Universität Berlin*, 2013-2016.

Ma question centrale sera : « Comment l'enseignement des procédés calculatoires et géométriques qui existaient depuis des générations dans les régions montagneuses d'Europe centrale s'est-il progressivement formalisé et institutionnalisé, jusqu'à prendre la forme d'académies des mines ? » Ce travail se base sur une exploitation systématique des archives des administrations et académies des mines des régions de Freiberg (Saxe, Allemagne) et Schemnitz (alors en Basse-Hongrie, dans la monarchie austro-hongroise, aujourd'hui en Slovaquie)². En collectant des manuscrits mathématiques, mais aussi de nombreux documents administratifs, j'essaie de reconstituer les lents processus qui eurent lieu en Europe centrale au cours du XVIII^e siècle et finirent par aboutir à la création d'écoles et académies des mines un peu partout sur le continent.

Un autre intérêt de cet article est ainsi d'apporter un éclairage différent sur des établissements célèbres comme l'*École des Mines*, créée à Paris en 1783, ou encore de l'*École centrale des travaux publics*, future École polytechnique, fondée en 1794³. On attribue à ces institutions, et dans une certaine mesure avec raison, un bouleversement de l'enseignement des mathématiques, en particulier dans la formation des ingénieurs. Il est vrai que la concomitance entre des événements politiques – la révolution Française et l'Empire Napoléonien – et l'essor de l'école de mathématiques française puis la révolution industrielle, interpelle⁴. Il semble presque que l'ingénieur moderne, qui a reçu une formation solide dans une école spécialisée, basée sur des méthodes fortement mathématisées, apparaisse spontanément entre 1800 et 1825. Mais il ne faut pas occulter le lent mouvement d'institutionnalisation à l'œuvre au cours du XVIII^e siècle, dont cet exposé donne un aperçu en ce qui concerne le domaine des mines⁵. Les académies des mines ne seront donc pas ici présentées comme l'origine d'une nouvelle manière d'enseigner les mathématiques, mais au contraire comme l'aboutissement d'un long processus d'institutionnalisation.

À quoi servaient les mathématiques dans l'exploitation minière avant la révolution industrielle ? Comment les connaissances étaient enseignées, et selon quelles méthodes ? Pourquoi le modèle académique s'est finalement imposé face au perfectionnement de l'apprentissage maître-élève traditionnel ? Dans une première partie, je ferai le point sur la situation au début du XVIII^e siècle, en décrivant le métier de géomètre souterrain et la transmission des connaissances sous forme de compagnonnage. Dans un second temps, je décrirai les premières tentatives – infructueuses – visant à créer des écoles où former les ingénieurs des mines. Le but est de rendre compte des enjeux complexes et multiples liés à l'institutionnalisation. La dernière partie dresse un panorama de l'enseignement des mathématiques dans les écoles et académies des mines à la fin du XVIII^e siècle. Comme les enjeux sont complexes, il est cohérent que les solutions choisies par les états européens soient variées et adoptent des approches diverses vis-à-vis des sciences mathématiques.

1. LES GEOMETRES SOUTERRAINS, LEURS MANUSCRITS ET LEURS APPRENTIS

1.1. Géométrie et géomètres souterrains en Europe Centrale

Depuis le début de l'époque moderne, l'industrie minière a été très importante pour les États allemands et plus généralement en Europe centrale. Dès la fin du XV^e siècle,

² Il s'agit principalement, à Freiberg, des archives de l'université technique (*Universitätsarchiv Freiberg*, UAF dans la suite du texte) et du fond ancien de la bibliothèque (TU BAF-UB) et, à Schemnitz, des archives minières (*Štátny ústredný banský archív*, ŠÚBA).

³ Sur l'histoire de l'École polytechnique, l'ouvrage de référence est (Belhoste, 2003).

⁴ Sur l'essor des mathématiques françaises dans la première moitié du XIX^e siècle, voir (Grattan-Guinness, 1990).

⁵ Pour un aperçu plus général de l'essor des mathématiques pratiques au XVIII^e siècle, qui ne traite cependant pas de l'enseignement, voir (Frängsmyr *et al*, 1990).

l'exploitation de mines d'argent, d'or, de plomb et de cuivre prend son essor et joue un rôle de premier plan dans les débuts de l'industrialisation du continent⁶. De nouvelles villes sont fondées et des systèmes économiques et juridiques très organisés se mettent en place. Les royaumes créent des administrations des mines, chargées d'apporter une expertise technique et de permettre une exploitation en profondeur. Pour se faire une idée du niveau technique atteint dans les sciences mécaniques, métallurgiques et géognosique, il suffit de feuilleter le *De Re Metallica* publié en 1556 par Georgius Agricola, célèbre pour ses machines hydrauliques, mais où l'on voit déjà des géomètres souterrains⁷.

Au cœur des États miniers, (*Bergstaaten*) les géomètres jouent un rôle central. Ils sont employés par l'administration et payés par les compagnies, ce qui doit garantir leur impartialité. Leur mission fondamentale est de faire respecter les limites de propriétés, d'où leur nom de *Markscheider*, qui désigne l'activité de borner une concession. Pour encourager l'exploitation, la prospection est partout autorisée et chacun peut obtenir une concession bornée. La difficulté vient des nombreuses règles qui visent à faire respecter les limites des propriétés sous terre, alors que celles-ci suivent des filons dont la trajectoire est peu prévisible.

À cette tâche initiale s'ajoutent bientôt d'autres devoirs. Le géomètre souterrain doit diriger le percement des galeries d'évacuation d'eau (*Wasserlösungsstollen*). Comme celles-ci atteignent couramment des longueurs de plusieurs kilomètres et que les travaux durent souvent des dizaines d'années, toute erreur se révèle extrêmement coûteuse. Il est ensuite chargé de relier les multiples puits de mines à ces galeries d'évacuation. Au milieu du XVIII^e, un fonctionnaire des mines a cette remarque :

« dans aucun autre domaine de la géométrie pratique le point ne doit être atteint aussi exactement, et dans aucun autre les erreurs ne se font plus sentir, pour l'œil comme pour le porte-monnaie, que dans la géométrie souterraine »⁸.

Enfin, à partir du milieu du XVII^e siècle, les géomètres souterrains sont chargés de cartographier d'une part chaque exploitation de manière individuelle, et d'autre part chaque région minière, c'est-à-dire l'ensemble des puits reliés aux mêmes galeries d'évacuation des eaux. Concrètement, le géomètre souterrain doit descendre dans chaque puits, ce qui est à l'époque extrêmement dangereux. À l'étroit et mal éclairé, il doit ensuite relever la suite des angles, horizontaux et verticaux, de la ligne brisée que forme le puits, sans pouvoir vérifier ses mesures par d'autres mesures comme pourrait le faire un arpenteur à la surface. Portant ces données sur papier, il doit rendre visible et compréhensible l'enchevêtrement des galeries, faire respecter les droits de chacun et calculer la direction des futurs travaux.

1.2. Les manuscrits de géométrie souterraine

La profession et les devoirs du géomètre souterrain sont relativement bien connus. Du fait de son importance, les nombreux règlements des mines et les archives des administrations en parlent fréquemment⁹. Les difficultés commencent lorsque l'historien essaie de savoir non pas ce que ces praticiens faisaient, mais comment. Comme bien d'autres disciplines mathématiques pratiques, la géométrie souterraine est à l'époque un savoir protégé, qui n'est pas enseigné dans des universités ou dans des écoles. Les géomètres n'ont aucun intérêt à publier ou à laisser imprimer ces connaissances, qui les rendent indispensables et leur permettent de négocier face aux puissants actionnaires des mines (*Kuxen-Inhaber*). D'un autre côté, la discipline se structure en même temps qu'elle se complexifie. On assiste à des

⁶ L'ouvrage de référence sur l'histoire de l'exploitation minière en Europe centrale est (Bartels et Slotta, 2012).

⁷ Voir en particulier, dans (Agricola, 1556), livres 4 et 5.

⁸ (Beyer, 1748, p. 313-314) Sauf indication contraire, toutes les traductions de l'allemand au français sont faites par l'auteur.

⁹ Voir par exemple (Meixner *et al.*, 1980, p. 12 ; 37-43).

échanges entre les différentes régions minières, de nouveaux instruments apparaissent et le nombre des géomètres souterrains augmente. Comme elle appartient aux sciences minières, la géométrie souterraine profite de l'essor des connaissances sur la disposition des filons et du développement du droit minier. Les méthodes sont devenues trop complexes, et les problèmes à résoudre trop nombreux pour ne pas les coucher sur papier.

Voilà sans doute certaines des raisons pour lesquelles de nombreux manuscrits sont rédigés à partir de la seconde moitié du XVII^e siècle. Il s'agit de textes parfois signés et datés, qui se présentent comme de véritables compendiums ou manuels – certains possèdent même des tables des matières –, à la différence qu'ils ne sont pas imprimés¹⁰. Ils ont tous été écrits par des géomètres souterrains ou du moins par des administrateurs des mines possédant de bonnes connaissances sur ce sujet. Si leur structure est souvent similaire, il est cependant possible de distinguer des groupes de textes plus proches les uns des autres et de créer des généalogies entre eux. Ces textes doivent contenir l'ensemble des connaissances dont un géomètre souterrain peut avoir besoin dans sa carrière. Sans entrer dans une analyse détaillée de ces ouvrages, on peut distinguer plusieurs types de savoirs différents.

On trouve, d'une part, les savoirs fondamentaux, nécessaires pour pouvoir appréhender la résolution des problèmes spécifiques à la géométrie souterraine et, d'autre part, un vocabulaire technique spécialisé. Si les galeries et les filons peuvent, de notre point de vue, être modélisés par des figures mathématiques et réduits à des problèmes de positions relatives de droites et plans dans l'espace, ce n'est bien sûr pas ainsi que les géomètres souterrains les conçoivent. Les mineurs possèdent de multiples noms et verbes décrivant les objets et les actions relatives à leur métier. Ce langage technique (*Bergmannsprache*) est incompréhensible, y compris pour leurs contemporains, et nécessite des dictionnaires particuliers. On trouve ensuite une arithmétique particulière, puisque le système de mesure de longueur n'est pas décimal, tandis que plusieurs systèmes de mesure d'angles cohabitent. Il faut également enseigner le calcul, par exemple les règles de trois et de cinq, à des personnes qui ne sont parfois pas même allés à l'école secondaire et habitent dans de petites villes sans imprimeur, librairie ou bibliothèque. Les manuscrits doivent être un support indépendant qui permette à la fois l'apprentissage et l'exercice du métier.

Il faut ensuite des connaissances géométriques, qui vont de la connaissance du théorème de Pythagore à l'utilisation de la trigonométrie pour déterminer les longueurs recherchées par résolution de triangles. Une partie importante est consacrée à la description des instruments de la géométrie souterraine, indiquant comment les utiliser et les combiner. On trouve également des tables numériques. La plupart sont des tables de sinus qui permettent de résoudre les triangles et donc *in fine* de déterminer les longueurs demandées. Elles sont commentées et adaptées pour simplifier les calculs, et se conformer aux unités de mesures en vigueur dans les régions minières. Les manuscrits contiennent enfin des listes de propositions. Il s'agit des tâches que le géomètre souterrain peut avoir à accomplir, et des problèmes auxquels il est susceptible d'être confronté.

1.3. Enseigner les mathématiques pratiques au début du XVIII^e siècle

Ces manuscrits, qui n'ont jusqu'ici jamais été étudiés, constituent à mon avis un genre de littérature scientifique ou technique à part entière. Il est clair que leur but est double. Ils servent de vade-mecum, c'est à dire d'outil de travail pour le géomètre souterrain qui peut s'y référer dans la pratique de son art. Ils ont également clairement un but didactique et étaient forcément impliqués dans le processus de diffusion des connaissances. Ils ne sont cependant pas suffisants pour reconstruire la manière dont était enseignée la géométrie souterraine au sens strict, et plus généralement les mathématiques pratiques des mines, dans la seconde

¹⁰ Une liste de ces manuscrits et des lieux où ils sont conservés, régulièrement mise à jour, se trouve à l'adresse suivante <http://morelthomas.wordpress.com/documents/>.

partie du XVII^e et la première moitié du XVIII^e siècle. Pour appréhender comment la géométrie souterraine était enseignée, il faut comprendre la structure sociale des États miniers. Nous pouvons ainsi éclairer l'utilisation des manuscrits en utilisant les archives et documents administratifs de l'époque.

Tout d'abord il est clair qu'il était, dès le XVII^e siècle, possible de payer pour acquérir un enseignement en docimasiologie ou en géométrie souterraine, comme en témoignent non seulement les comptabilités locales, mais également des témoignages de voyageurs¹¹. En l'absence d'un lieu particulier pour apprendre, il faut en déduire que l'enseignement avait lieu sous la forme d'une transmission du maître à l'élève, soit chez le géomètre souterrain proprement dit, soit dans les mines. Des règlements, publiés dans la première moitié du XVIII^e siècle pour codifier des pratiques depuis longtemps en usage, nous informent plus précisément sur le déroulement. Celui qui apprend doit

« écouter la leçon avec la déférence qui convient, l'assimiler et s'en imprégner, et en même temps porter chaque leçon sur papier, et la présenter de temps en temps à l'instructeur [pour voir] s'il a quelque chose à y ajouter, et par la suite non seulement conserver ces *scripta notata* de cours en bon ordre, et les parcourir régulièrement, mais aussi garder la main dessus et ne les rendre publique ou ne les brader à quiconque, pour de l'argent ou pour toute autre raison. »¹²

Les manuscrits étaient donc lus et recopiés par les élèves. Le paiement du cours comportait ainsi vraisemblablement le droit d'établir une copie, strictement personnelle et qui ne devait sous aucun prétexte être diffusée. Ce système était étroitement contrôlé par l'État, qui depuis le début du XVIII^e siècle fournit également un système de bourses¹³, comme le montre l'existence même de ces règlements. En Saxe, par exemple, un petit nombre de géomètres souterrains sont assermentés et sont les seuls à pouvoir enseigner la discipline. À la fin de sa période d'apprentissage, qui dure un à deux ans, l'élève reçoit un certificat officiel détaillant les compétences qu'il a acquises. Ces documents possédaient une grande valeur, on en trouve par exemple en Scandinavie¹⁴ – ce qui suggère que les géomètres formés en Saxe étaient très demandés, mais je n'ai pas connaissance d'exemplaires conservés en France.

Si l'on étudie le contenu de ces certificats (voir Fig. 1. ci-dessous), on constate que les compétences attestées par les maîtres géomètres souterrains correspondent en tout point au système de propositions que l'on trouve dans les manuscrits étudiés dans la partie précédente. Ils attestent donc de l'acquisition des savoirs contenus dans ces manuscrits, prouvant par là-même que ceux-ci constituaient bien le socle de l'apprentissage. Cet ensemble de documents permet de reconstruire le fonctionnement, très organisé, du système d'enseignement. Un petit nombre de géomètres enseignaient selon leurs propres manuscrits, qui étaient recopiés, et établissaient des certificats à l'aide desquels leurs élèves pouvaient ensuite prouver leurs capacités et ainsi espérer obtenir un poste dans une administration des mines dans toute l'Europe, voire dans le nouveau Monde.

Avant de terminer cette partie, il faut introduire deux remarques. Premièrement, nous voyons qu'il peut exister des formes élaborées d'enseignement sans école ou académie officielle. Ces systèmes permettent au contraire une certaine maîtrise de la diffusion des connaissances. Deuxièmement, si cette organisation peut sembler artisanale, il faut garder à

¹¹ À Freiberg, il faut compter environ 50 talers, ce qui correspond au salaire annuel moyen d'un ouvrier mineur peu qualifié (voir par exemple UAF – OBA 6, ff. 244r-245r). Si l'on ajoute que la formation dure en moyenne un à deux ans, durant lesquels l'apprenti ne possède pas de revenus, on comprend que cet apprentissage était hors de portée des simples mineurs (sauf soutien exceptionnel) et concernait le plus souvent les fils d'administrateurs des mines.

¹² Règlement de la *Bergschule* Schemnitz, 22 juin 1735. Voir (Schmidt, 1834, p. 481).

¹³ (Sennewald, 2002). Un système de bourse est créé en 1702 en Saxe, et au cours de la décennie suivante en Autriche-Hongrie.

¹⁴ On en trouve un exemple dans (Berg, 2008, p. 154). On trouve également en Scandinavie un système de bourses pour financer les voyages dans les États allemands et la formation des géomètres souterrains.

l'esprit qu'elle a lieu à grande échelle et dans plusieurs régions¹⁵. De plus, ce système évolue pour s'adapter aux difficultés croissantes. Par exemple, on voit dans les années 1750 apparaître à Freiberg une procédure standardisée d'examens qui conditionnent l'attribution des bourses¹⁶. En étudiant la création d'institutions comme les Écoles et Académies des mines, il faut donc garder à l'esprit que, dans les régions possédant une tradition minière forte, il existait déjà d'autres modes efficaces de transmission des savoirs mathématiques pratiques.

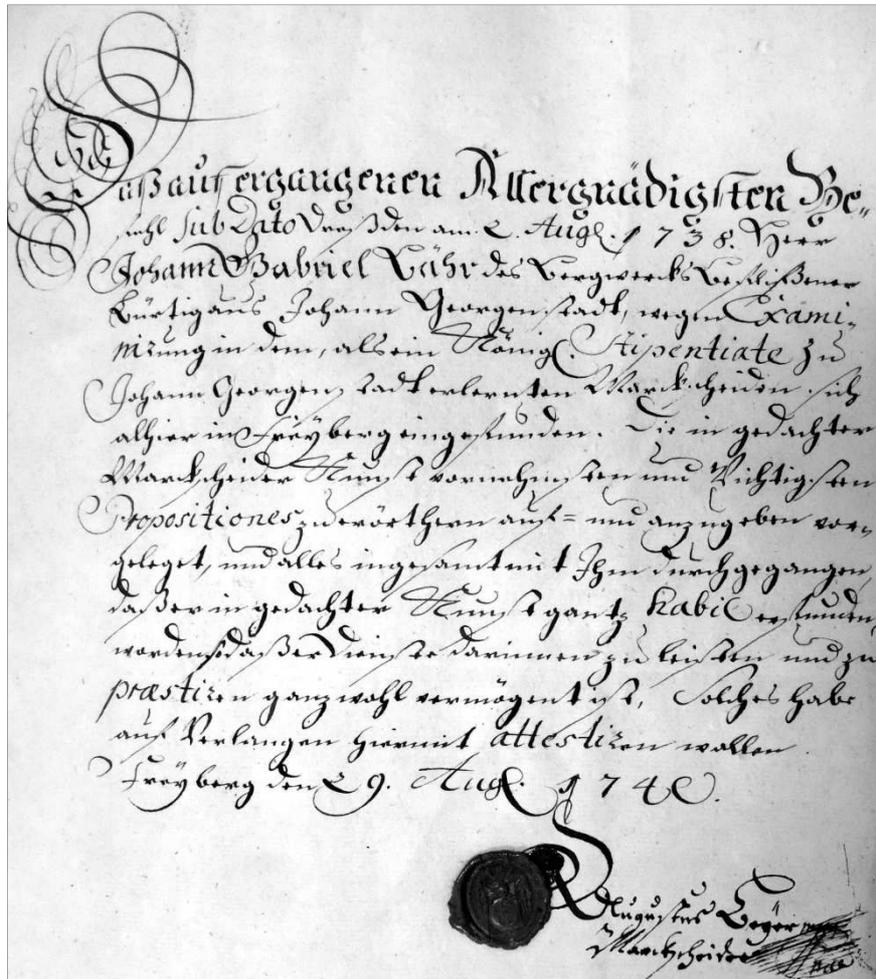


Fig.1 : Certificat d'aptitude à la géométrie souterraine, rédigé en 1740 par A. Beyer (1677-1753), Markscheider à Freiberg, Saxe, pour J.G. Bähr, apprenti depuis 1738.
Source : Universitätsarchiv Freiberg – OBA 5, f. 122r.

1.4. Une question ouverte : la formation des ingénieurs machinistes

Dans cette partie, je me suis focalisé sur les géomètres souterrains, d'une part car c'est la profession mathématisée la plus ancienne dans ce domaine et d'autre part car c'est celle pour laquelle le plus de sources ont été conservées. Il est cependant important de mentionner une autre utilisation très importante des mathématiques dans les mines : la construction de machines. Les situations étaient très variables selon les conditions d'exploitation dans chaque région. La Saxe, très en pointe sur la géométrie souterraine, faisait au XVIII^e siècle moins appel aux machines pour épuiser l'eau des mines.

On rencontre une situation complètement différente à Schemnitz, dans les mines de

¹⁵ Sur la circulation des connaissances mathématiques en géométrie souterraine, voir (Morel, 2015).

¹⁶ Pour un exemple de ces examens, qui contiennent des épreuves d'écriture, de calcul et de dessin, voir UAF – OBA 6, f. 66r-72v.

Basse-Hongrie. Dès les années 1720, des machines à vapeur de type Newcomen sont installées dans les mines¹⁷. Si elles sont rapidement abandonnées, de nouvelles machines hydrauliques alimentées par des systèmes de barrages sont bientôt installées. Une famille d'ingénieur, les Hell, s'illustre par leurs qualités de constructeurs. Ces machines n'étaient pas conçues de manière purement empirique et l'on parlait couramment à l'époque du « calcul d'une machine » pour désigner les études mathématiques préliminaires et les tests auxquels elles étaient soumises. Ces connaissances ont peut-être été diffusées de manière aussi systématique que pour la géométrie souterraine, mais les sources manquent sur ce point.

2. MATHÉMATIQUES ET EXPLOITATION DES MINES : UN PROCESSUS D'INSTITUTIONNALISATION COMPLEXE.

Au milieu du XVIII^e siècle, on assiste à plusieurs tentatives d'institutionnalisation de l'enseignement des mathématiques. Il s'agit de la création ou de réformes de structures existantes, dont le but est d'améliorer, de systématiser et d'augmenter l'utilité et l'utilisation des mathématiques dans l'exploitation des mines. On admet en général que les académies et écoles des mines ont été créées à partir des années 1760, au lendemain de la guerre de Sept Ans (1756-1763). Cette affirmation est vraie si l'on ne considère que les entreprises pérennes proposant un enseignement de type « académique », mais il ne faut cependant pas ignorer les nombreuses tentatives de la première moitié du siècle. L'échec même de ces projets est révélateur, en particulier pour l'histoire de l'enseignement des mathématiques. Je détaillerai ici trois tentatives ayant eu lieu dans les trois principales régions minières d'Europe centrale : dans l'Électorat de Hanovre (Allemagne centrale), en Autriche-Hongrie et en Saxe.

2.1. Le *Gymnasium* de Clausthal et le problème du public

Pour améliorer l'enseignement des mathématiques dans les régions minières, une première possibilité est de se servir d'institutions existantes et d'y modifier la formation pour mieux l'adapter aux problèmes géométriques, hydrauliques et arithmétiques rencontrés dans les mines. C'est le choix qui va être fait par l'Électorat de Hanovre. Les mines y sont concentrées dans une région, le Harz, dont la capitale Clausthal possède déjà un *Gymnasium*. Il s'agit d'un établissement secondaire classique, ce qui signifie que son rôle est de préparer les élèves, issus de la noblesse ou de la bourgeoisie locale, pour qu'ils puissent s'inscrire à l'université voisine de Göttingen. Par conséquent, les programmes scolaires se focalisent sur les langues anciennes : latin, grecs et parfois hébreux, ainsi que sur la religion¹⁸.

Mathématiques et sciences naturelles sont alors réduites à la portion congrue. Au début du XVIII^e siècle, le recteur de l'école, Calvör Henning (1686-1766), est très intéressé par les sciences mécaniques. Il affirme « que dans les écoles des villes de montagnes, la jeunesse devrait être introduite aux mathématiques et à la mécanique, afin d'aider ceux qui se destinent à l'exploitation des mines et de pouvoir être utile au pays » (Henning, 1763, introduction). En 1726, il publie dans le bulletin annuel de l'école un mémoire historico-scientifique décrivant l'ensemble des machines mécaniques utilisées dans la région.

Si Henning n'explique pas dans les détails du contenu et de la méthode qu'il a pu employer, il se propose d'aborder la géométrie, l'arithmétique et la trigonométrie, pour pouvoir ensuite enseigner aux élèves les bases de la statique, de la mécanique, de l'aérostatique, de l'hydrostatique et de l'hydraulique, ce qui est pour l'époque particulièrement ambitieux. Son aspiration est novatrice, mais ses efforts ne seront cependant pas couronnés de succès, comme il le reconnaît lui-même dans un livre publié en 1763 :

¹⁷ Voir par exemple (Vozar, 1976) sur ce sujet.

¹⁸ Sur l'histoire de l'enseignement des mathématiques dans les écoles classiques en Allemagne, nous renvoyons aux nombreux travaux de Gert Schubring.

« Au cours des 17 années durant lesquelles j'ai enseigné à Clausthal [...] j'ai instruit la jeunesse en mathématiques, et j'ai même formé des individus tout à fait capables, qui obtinrent dans toutes les parties mentionnées ci-dessus une science profonde et suffisante. Mais je ne puis me rappeler d'un seul, qui, après être sorti de l'école, se soit engagé dans les travaux des mines ou des charpentes, et qui ait ainsi tiré, par le moyens de la théorie, une utilité pratique de ces sciences mathématiques. »
(*Ibid.*, p. 7)

Henning a donc bien enseigné les mathématiques, mais à un public mal choisi. Il ne suffit donc pas d'enseigner les mathématiques dans une ville de montagne, mais il faut également s'assurer d'atteindre la bonne audience. Henning, qui connaît bien les techniciens et administrateurs locaux, ne peut que constater que ceux-ci manquent non seulement de connaissances, mais aussi de livres disponibles et utilisables en allemand. Seul, il ne peut cependant parvenir à réorienter l'école dans laquelle il enseigne.

2.2. L'école de Samuel Mikoviny (1735-1750) et le problème des enseignants

Une autre solution est de créer une institution dédiée à ce domaine particulier sans passer par une école classique existante. C'est ce qui va se passer en Autriche-Hongrie. En 1733, l'empereur envoie un de ses conseillers visiter les exploitations minières de Basse-Hongrie et demande un rapport sur l'amélioration de celles-ci. Le défaut principal semble venir du non-respect des procédures et du manque d'administrateurs compétents. On suggère de recruter un professeur de mathématiques, et une École des mines (*Bergschule*) est finalement créée en 1735.

L'école ne compte cependant qu'un professeur titulaire, Samuel Mikoviny (1700-1750). Après avoir étudié dans les universités d'Altdorf et Iéna, il devient cartographe et arpenteur. Mikoviny est ensuite actif comme ingénieur dans la province de Bratislava (à l'époque Pressburg, parfois Pozsony), et est élu au début des années 1730 membre correspondant de l'Académie des sciences de Berlin¹⁹. À Schemnitz, il est non seulement enseignant mais aussi ingénieur, mettant notamment en place un système complexe de réservoirs d'eau pour alimenter les machines des mines²⁰. Cette école est un prolongement du système de bourses qui existait auparavant. Les élèves doivent réaliser des travaux pratiques avec des géomètres souterrains et des essayeurs de minerai. Le programme de ces enseignements appliqués correspond, sans surprise, au contenu des manuscrits que nous avons étudié dans la première partie²¹. Le grand changement est la présence d'un mathématicien qui doit enseigner non seulement la résolution de problèmes pratiques, mais donner une perspective plus large en mathématiques théoriques.

Les cours de mathématiques et mécaniques de Mikoviny, regroupés sous le nom générique de *mathematica*, ont lieu en hiver, tandis que durant l'été, il parcourt la monarchie austro-hongroise pour réaliser des ouvrages d'art, aménager des rivières et établir des cartes. Le nombre des élèves, nommés *Expectanten*, est fixé à 8 par an. Ils suivent un cursus de deux ans : l'hiver, ils assistent aux cours de Mikoviny, suivis l'été de cours pratiques en géométrie souterraine, sur la métallurgie ou bien sur les machines à feu et les machines hydrauliques avec le *Kunstmeister* Jozef Carl Hell²².

¹⁹ Pour une biographie de S. von Mikoviny, voir (Tarczy-Hornoch, 1937). Mikoviny est un ingénieur au sens large du XVIII^e siècle : typiquement, il est employé comme ingénieur militaire durant les guerres de Silésie, au lieu de développer les mines. Voir aussi plus récemment (Török, 2011) malheureusement en hongrois, mais les annexes sont en langue originale, avec de nombreuses lettres de Mikoviny en allemand et latin.

²⁰ Ces réservoirs sont nommés *Tajchy*, de l'allemand *Teich*, étang ou réservoir. Il s'agit d'une série de lacs artificiels ayant joué un rôle très important dans le développement technique et économique de la région.

²¹ Voir le règlement de l'école rédigé en 1735 dans (Schmidt, 1834, p. 472-494), et en particulier la liste de propositions de géométrie souterraine pp. 483-485.

²² Sur les autres, plus petites écoles fondées dans l'empire autrichien, voir (Hornoch, 1941). Ces écoles, qu'il s'agisse de celle de Sankt-Joachimstahl (1716) ou de celles de Schmölnitz et Orawitz (1747), n'ont eu qu'une existence éphémère.

Après avoir subi un examen terminal, les élèves sont ensuite envoyés dans d'autres régions minières de l'Empire, où ils restent en stage jusqu'à ce qu'un poste d'administrateur se libère. Ils forment de fait un corps de réserve dans lequel le gouvernement pioche pour recruter ses administrateurs, sur un modèle similaire aux écoles du Génie et des Ponts et Chaussées en France (Birembaut, 1986). À la mort de Samuel Mikoviny en 1750, son poste n'est cependant pas renouvelé. L'enseignement des *mathematica*, les matières mathématiques théoriques, est simplement confié à l'un des géomètres souterrains locaux, Johann Tobias Brinn²³. Les cours, qui avaient jusque-là lieu dans un espace public, la *Kameralhaus* de Schemnitz (centre local de l'administration des mines, où l'on trouve à la fois les cartes, les tables et le matériel), ont dorénavant lieu chez le géomètre souterrain. Il s'agit *de facto* d'un retour à la situation antérieure.

Si l'École des mines de Schemnitz a bien formé des administrateurs des mines, contrairement au *Gymnasium* de Clausthal, elle n'a pu survivre à la mort de son premier et unique professeur. La difficulté rencontrée est ici le manque de structure institutionnelle et de soutien politique. Cette école, comme plusieurs tentatives similaires en Europe à la même époque, était toute entière dépendante d'une personnalité exceptionnelle, en l'occurrence le mathématicien et ingénieur Samuel Mikoviny.

2.3. « L'Académie de papier » de C.F. Zimmermann

L'école de Clausthal ne s'adressait pas au bon public, tandis que celle de Schemnitz était si fortement dépendante de son unique professeur qu'elle disparut avec lui. La troisième et dernière tentative que nous étudierons, celle de Freiberg en Saxe, surmonte ces deux écueils. Son seul défaut est d'être restée, selon les mots de son créateur, une « académie de papier », c'est-à-dire un simple projet. En 1746, Carl Friedrich Zimmermann publie un ouvrage intitulé *Ober-sächsische Berg-Academie*. Il y propose une réflexion très détaillée sur la manière d'encourager l'exploitation des mines et plus généralement les activités techniques et économiques, par le biais d'institution d'enseignement et de recherche, qu'il nomme « académies ». Il analyse la situation avec perspicacité et se place immédiatement dans une perspective européenne : « Quand les autres pays veulent développer une science, ils essaient de lui apporter ordre et profondeur, et ceci peut seulement être atteint par la création d'académies » (Zimmermann, 1746, 13).

Il propose une analyse détaillée des besoins et suggère de fonder une académie avec deux professeurs de mathématiques, deux physiciens, deux chimistes et trois ou quatre ingénieurs mécaniciens. Il faudrait y ajouter des assistants, un géomètre souterrain, un maître de dessin et un juriste (*Ibid.*, 26-27). L'ambition de la proposition tranche avec les modestes tentatives de Clausthal et Schemnitz, d'autant plus que les étudiants devraient avoir déjà appris l'arithmétique et la géométrie élémentaires avant d'entrer à l'Académie. Ils suivraient alors un programme de mathématiques très ambitieux :

« Les disciplines suivantes pourraient ainsi être enseignées par le *Professores Matheseos*, à la place d'une introduction aux mathématiques : la géométrie, la trigonométrie, la statique et l'hydraulique. Il faudrait ensuite expliquer l'exploitation minière proprement dite et ses travaux manuels, ainsi que la géométrie souterraine et la construction des machines. Et si l'on avait un *Mathematicus* qui possède une compréhension solide de la physique, il serait le mieux placé pour enseigner la géographie souterraine, car il la connaît grâce à la géométrie pratique, au nivelage et à la géométrie souterraine pratique. » (*Ibid.*, 33-34)

Le plan de C.F. Zimmermann est novateur non seulement par son échelle, mais surtout par sa vision des sciences mathématiques et minières. Il est clair qu'il est à l'époque bien trop coûteux pour être réalisé, et l'auteur lui-même le reconnaît explicitement à plusieurs reprises. Mais là n'est pas l'essentiel. Zimmermann insiste avant tout sur le fait que tout domaine technique doit, pour se développer, s'appuyer sur un enseignement approfondi comportant une

²³ Voir par exemple un rapport de J.T. Brinn dans ŠÚBA – HKG VI, Kr. 655.

part de théorie et une part de pratique. Dans son projet, la transmission des connaissances va de pair avec la recherche de nouveaux résultats et chaque professeur aurait ainsi cette double mission. Cela est à l'époque loin de faire l'unanimité, comme il le reconnaît d'ailleurs lui-même :

« À ceux que mécontentent tous les instituts qui ressemblent trop à des écoles, cette manière d'améliorer l'exploitation des mines par l'investigation des sciences semblera ridicule, et ils croiront qu'il ne s'agit que d'élucubrations fantaisistes qui ne peuvent apporter aucune amélioration pratique réelle. » (*Ibid.*, § 21)

En 1746, lorsque ce livre est publié, on trouve en Allemagne des universités qui dispensent un enseignement théorique, tandis que les ingénieurs ne possèdent pas d'institutions spécialisées. En France même, l'École des Ponts et Chaussées ne sera fondée que l'année suivante par Daniel-Charles Trudaine (Birembaut, 1986, 376-379). Le projet de C.F. Zimmermann semble intéresser au plus haut point les dirigeants du royaume de Saxe, puisqu'il est nommé sur le champ *Oberbergkommissar*, un haut poste dans l'administration des mines. Il meurt cependant l'année suivante, et le projet ne sera jamais réalisé. Peu après commence la Guerre de Sept Ans, qui va ravager l'Europe centrale jusqu'en 1763.

3. DE FREIBERG A PARIS, DES SITUATIONS VARIEES A LA FIN DU XVIII^e SIECLE

À la fin de la Guerre de Sept Ans, les grands pays européens, et en particulier les États allemands, vont créer des écoles et académies des mines. Il serait cependant erroné de penser qu'il s'agit ici d'une catégorie fixe. Les termes « écoles » et « académies » des mines recouvrent selon les contextes des réalités bien différentes. Nous décrirons ici les deux modèles principaux, qui sont eux-mêmes loin d'être homogènes. Le premier est celui des académies créées dans des régions possédant une longue tradition minière. Le second est celui des académies créées *ex nihilo* par des États puissants, afin d'encourager le développement de l'exploitation des mines.

3.1. Mathématiques dans les régions minières : les cas de Freiberg et Schemnitz

Bien qu'il y ait quelques différences notables entre les académies des mines de Freiberg, en Saxe et Schemnitz, en Basse-Hongrie, je me focaliserai ici sur les nombreux points communs. Les deux établissements, qui se disputent la couronne de plus ancienne académie des mines au monde, sont créés au cours des années 1760²⁴. Dans les deux cas, un système de bourses existait auparavant et fonctionnait avec succès à grande échelle. Certains élèves pouvaient suivre des cours, uniquement pratiques, de géométrie souterraine et d'essayage des métaux. Dans les deux cas, enfin, on trouve des raisons à la fois politiques et scientifiques à la création des institutions. D'un point de vue politique, il s'agit de réorganiser, de mieux former et de mieux contrôler l'administration des mines. D'un point de vue scientifique, on cherche à encourager le développement et la diffusion des sciences minières, notamment en proposant une formation solide en mathématiques.

En ce qui concerne l'organisation générale, il faut tout d'abord souligner que les étudiants doivent, en majorité désormais, suivre un cursus cohérent de trois années²⁵. Ce cursus est conçu, discuté et éventuellement réformé par les professeurs et l'administration des mines. Ce qui nous semble aujourd'hui évident, du moins dans le système d'enseignement

²⁴ Une première chaire est créée en 1762 à Schemnitz, mais le statut d'académie n'y est délivré qu'en 1770, tandis qu'une académie avec deux chaires est créée en 1765 à Freiberg.

²⁵ Ceci s'applique aux étudiants boursiers, dont les études sont financées par les États et qui s'engagent à entrer dans l'administration à la fin de leurs études.

supérieur français, est à l'époque une innovation considérable²⁶. Il est remarquable que les mathématiques occupent toujours une place de premier plan. Bien qu'il n'y ait que deux ou trois professeurs par académie, on trouve toujours une chaire de mathématiques, considérée à Freiberg comme « la plus importante de toutes nos chaires académiques » (UAF – OBA 62, f. 116r). À Schemnitz, la situation est tout à fait similaire, comme l'explique le professeur C.T. Delius (1728-1779) en 1773 :

« Comme la science des mines est fondée, pour la plus grande partie, sur la *Physique & les mathématiques*, ces deux objets sont la base des deux premières classes : dans la première, on enseigne l'*Arithmétique*, l'*Algèbre*, la *Géométrie*, la *Trigonometrie*, l'*Aérométrie*, la *Mécanique*, l'*Hydraulique*, l'*Hydrostatique* ; dans la seconde, la *Minéralogie & la Chimie métallurgique* [...]. Dans la troisième, l'*Art d'exploiter les mines* dans toutes leurs parties, la *Géométrie souterraine*, les *Loix des Mines*, les *Finances*, & la connaissance que les officiers des Mines doivent avoir de la *Régie des Forêts* : toutes ces sciences y sont traitées d'après les principes de la pratique théorique. » (Delius, 1773, p. ix, traduction française de Schreiber, 1778)

Au niveau des mathématiques, ce nouveau système est décrit comme un enseignement « pratique théorique », c'est-à-dire d'un enseignement à but pratique réalisé dans un cadre scolaire (c'est le sens que possède « théorique » à cette époque). Il a plusieurs conséquences majeures que nous allons brièvement esquisser. D'une part, cela permet d'enseigner à un niveau bien supérieur les « mathématiques appliquées », qui comprennent à l'époque entre autres l'hydrodynamique, la mécanique et la construction des machines. D'autre part cela permet de proposer un enseignement dans lequel les cours de mathématiques ont une utilisation immédiate dans la pratique. Enfin, l'encadrement étroit des étudiants par les enseignants permet de s'assurer de la mise en pratique, dans des cas concrets, des connaissances acquises. Pour comprendre le rôle central des mathématiques, mais aussi à quel point le programme est conçu dans sa globalité, voici quelques explications données par Johann Friedrich Lempe (1757-1801), le professeur de mathématiques et mécaniques de l'Académie des mines de Freiberg, en 1798. Au début de son long rapport annuel, il écrit :

« Comme les mathématiques pures élémentaires forment la bases des sciences susmentionnés [mathématiques appliquées] et sont même indispensables dans de nombreuses expériences de physique, leur plan d'enseignement figure ici en premier. Et tous les plans se suivent, tout comme chacune de ces sciences donne un coup de main aux autres »²⁷.

Cette articulation s'observe également dans les tableaux annuels fournis par J.F. Lempe, dont un extrait est reproduit en Fig. 2. ci-dessous. On remarquera que ces tableaux se placent dans la plus pure tradition des sciences administratives et camérales du XVIII^e siècle, visant à fournir une vision panoptique de l'enseignement. Les étudiants qui participent au cours de « mathématiques appliquées » ont tous suivi le cours de « mathématiques pures », et de même ceux qui suivent le cours de « physique » ou de « théorie des machines » ont tous suivi le cours de « mathématiques appliquées ». Les classes, dont l'effectif est réduit à une dizaine d'étudiants, sont donc relativement homogènes, d'autant plus que ces sciences ne sont pas enseignées *in abstracto*, mais en lien constant avec leur mise en pratique dans les mines.

Outre les professeurs de mathématiques, plusieurs autres personnes sont impliquées dans l'enseignement des sciences géométriques et calculatoires. Des cours de dessin technique, d'arpentage et de géométrie souterraine sont assurés, le plus souvent par des géomètres souterrains qui font partie de l'administration des mines. Il faut souligner que ces cours ont lieu directement sur le terrain. À Schemnitz par exemple, les cours de géométrie souterraine pratique sont assurés par le géomètre Lorenz Siegel. Ils ont lieu dans la

²⁶ Pour une comparaison avec l'enseignement des sciences mathématiques dans les universités allemandes de l'époque, et en particulier à Leipzig, voir (Morel, 2013, pp. 180-187).

²⁷ UAF – OBA 12, f. 21v : « Da aber die reine elementare Mathematik die Grundlage von alle den obgenannten Wissenschaften und selbst bey sehr vielen physikalischen Experimenten unentbehrlich ist, so steht hier, ihr Plan zuerst: und alle Pläne folgen so aufeinander, wie eine von diesen Wissenschaften der andern die Hand bittet. »

Markscheiderei, le quartier général des arpenteurs et géomètres, où sont stockés les cartes et les instruments, et où travaillent les professionnels²⁸.

Un dernier point important concerne l'encadrement des étudiants et le déroulement des enseignements. Comme chaque cours comporte, selon son niveau, d'une poignée à une ou deux douzaines d'étudiants, le professeur de mathématiques peut produire pour chaque personne un rapport détaillé. Contrairement à l'université, où le système des cours magistraux prévaut largement, un cours de l'Académie inclut des exercices concrets. Sur une question générale du professeur, l'étudiant doit aller dans un puits de mine et modéliser le problème pour pouvoir lui apporter une solution mathématique²⁹. Les progrès de chaque étudiant sont suivis par le professeur, et il n'est pas rare que les meilleurs étudiants suivent un cours plusieurs fois de suite pour s'y spécialiser.

Enfin, il faut souligner une dernière caractéristique des académies des mines situées dans des régions minières. Même si elle ne concerne pas directement l'enseignement, elle joue indirectement un rôle absolument décisif : les professeurs de mathématiques ont un profil et une activité très spécifiques. Ils sont presque toujours d'anciens étudiants de l'académie, ou tout au moins des mathématiciens pratiques, par exemple des géomètres souterrains ou des ingénieurs hydrauliques. Ils sont ensuite en dialogue constant avec les autres membres de l'administration des mines. Ils apportent leur expertise, par exemple lors de la planification de nouvelles machines, pour résoudre des questions de propriété complexes, c'est-à-dire dans tous les domaines où ils peuvent faire usage de leurs compétences scientifiques. Les étudiants sont donc placés dans un cadre où théorie et pratique sont étroitement imbriquées, si bien que les frontières entre l'Académie proprement dite et l'exploitation des mines sont parfois plus des catégories de l'historien qu'une réalité de l'époque.

²⁸ Voir le rapport de Lorenz Siegel, ŠÚBA – HKG VI, *Ordinaria*, 06.04.1778, dans lequel il décrit précisément à la fois le contenu et l'organisation de son enseignement.

²⁹ On trouve des exemples concrets d'exercices pour l'Académie des mines de Freiberg dans (Morel, 2013, 166-170).

de conquérir la Silésie suite aux guerres de succession d'Autriche (1740-1748). Le développement économique au cours du XVIII^e ainsi que des raisons politiques poussent les gouvernements à encourager la recherche de nouvelles mines et leur exploitation rationnelle³⁰. Cependant, les traditions politiques font que, dans les deux cas, les institutions seront créées dans les capitales, où il n'y a bien sûr aucune exploitation minière.

Un rapide point sur le cas prussien va permettre de montrer les limites et les différences de cette approche. Je me base ici sur l'étude de cas réalisée par Ursula Klein sur l'École des mines de Berlin (Klein, 2010). Dans les années 1760, la Prusse cherche à se remettre de la Guerre de Sept Ans et observe la création d'une Académie des mines en Saxe. Un important conseiller et minéralogiste, Carl Abraham Gerhard (1738-1821), est envoyé à Freiberg en 1770. Après de nombreux compte-rendu et réunions, l'idée d'une académie en bonne et due forme est abandonnée, et le gouvernement se contente de créer une série de cours de type universitaire. En effet, le modèle de Freiberg est considéré comme trop coûteux et trop imparfait dans la mise en pratique des connaissances. Les cours dans des institutions existantes de Berlin ont au contraire un grand avantage : il y a déjà de nombreux professeurs de mathématiques et des autres sciences physiques dans la capitale. L'inconvénient est bien sûr que l'on n'y retrouve pas l'étroite interaction entre théorie et pratique qui fait le succès des académies de Freiberg et Schemnitz. Dans le domaine des mathématiques, cela signifie que l'enseignement est tout à fait semblable à un enseignement universitaire. On considère simplement que la géométrie souterraine ou la construction de machine ne sont que de « simples applications » de la géométrie et de la mécanique.

La situation est assez similaire dans le cas de la France. Le problème est là-aussi que, pour des raisons variées et notamment juridiques, il n'y a pas au XVIII^e siècle de tradition minière forte. Le problème est bien résumé par Denis-Charles Trudaine (1703-1769) intendant des finances et créateur des Ponts et Chaussées : « Les obstacles viennent principalement du défaut de bons mineurs. Il ne dépend pas du gouvernement de faire que ceux qui n'ont ni théorie ni pratique, en aient ; mais il peut [...] travailler à la propagation des lumières en faisant former les élèves qui ne soient pas de vains discoureurs » (Birembaut, 1986, 375-376). Dans les années 1740 et 1750, on envoie pour cela de nombreux savants et ingénieurs dans les états allemands, et en particulier en Saxe. Dans le même temps, on recrute des ingénieurs allemands, dont les géomètres souterrains König ou Broelmann, pour les mines de Bretagne et du Dauphiné.

L'école des Ponts et Chaussées, créée en 1747, tente de fournir un enseignement de substitution. Mais le principe d'enseignement mutuel qui y prévaut, ainsi que l'utilisation de manuels non-spécialisés, comme le *Cours de mathématiques* de Bossut ou les *Éléments d'algèbre* de Clairaut, limitent son utilité (Birembaut, 1986, 375-377). Dans le même temps, les savants français revenus de Saxe écrivent des rapports qui montrent toute la spécificité de l'utilisation des sciences dans les mines³¹. Plusieurs projets pour créer des écoles en province, notamment dans les Vosges, échouent.

Finalement, en 1783, une École des mines est créée à Paris. Le cursus dure trois ans et comprend l'enseignement de « la physique, la géométrie souterraine, l'hydraulique et la manière de faire avec le plus de sûreté et d'économie les percements [...] et les machines nécessaires à leur exploitation » (article second de l'arrêt du 19 mars 1783, d'après (Birembaut, 1986, 390-391). Les élèves doivent suivre en hiver et au printemps des cours théoriques, avant de faire des stages en province dans les exploitations. L'influence de l'Allemagne, et en particulier de l'Académie de Freiberg, est claire. Le premier professeur de géométrie souterraine et de science des machines est Jean-Pierre-François Guillot-Duhamel

³⁰ Pour la Prusse, on trouve la volonté d'assurer son indépendance en matière d'armement vis-à-vis de la Suède. La France cherche à diversifier son économie en encourageant les fabriques et manufactures, suite à la perte d'une grande partie de ses colonies au profit de l'Angleterre après la Guerre de Sept Ans.

³¹ Voir en particulier les *Voyage Métallurgiques* (Jars, 1774).

(1730-1816), qui a étudié avec les géomètres allemands dans les années 1750. En 1787, il publie d'ailleurs une *Géométrie souterraine, élémentaire, théorique et pratique*, où il affirme :

« Afin d'étendre sur toutes ces parties les détails d'une instruction proportionnée à leur importance & aux besoins des Elèves, je dicte des cahiers sommaires sur tout ce qui est relatif aux procédés & à la manutention, de manière que l'art unit sans cesse à la théorie une pratique sûre ; car sans cette double connoissance, il n'y a point de vraie lumière capable de diriger les exploitations des mines : je m'en suis convaincu par une expérience de trente-cinq années. » (Duhamel, 1787, p. v)

Il existe cependant un problème fondamental dans la question des publics. Cette école s'adresse, tout comme les Ponts et Chaussées ou plus tard Polytechnique, à un nombre réduit d'élèves au profil bien spécifique. Cette élite d'inspecteurs des mines est ensuite chargée de parcourir les territoires, mais ne sont pas, ou pas principalement, des techniciens impliqués dans la production. Le problème n'est donc pas seulement d'avoir une institution qui enseigne les mathématiques et la minéralogie. Encore faut-il savoir comment et à qui l'on enseigne, un problème similaire à celui rencontré à Clausthal quelques années auparavant (voir 2.1 ci-dessus). Les cours forcément théoriques de l'école de la capitale ne peuvent pas toujours être rendus pratiques dans les mines de province, car celles-ci n'ont pas, en cette fin de XVIII^e siècle, un personnel compétent comme leurs homologues allemands. Et formant principalement des inspecteurs et des savants, l'école ne se donne pas vraiment les moyens de remédier à cette difficulté.

L'histoire de l'École des mines de Paris est par la suite aussi agitée que celle de la France révolutionnaire. Refondée en 1794 par le Comité de Salut Public, elle est finalement supprimée en 1802 au profit de deux écoles pratiques, à Geislerlautern en Sarre et à Pesey en Savoie (Garçon, 2004, pp. 55-85). Si les modes d'organisation changent, la dichotomie subsiste : la pratique, au lieu d'accompagner la théorie, la remplace souvent. En 1814, l'École des mines de Paris est réinstaurée, sans qu'un véritable lien avec les exploitations ne soit introduit. Le haut niveau de mathématiques théoriques développé à Paris n'a que peu d'impact sur la formation des techniciens proprement dits. En 1816, lorsqu'une école pratique est créée à Saint-Étienne (Garçon, 2004), le directeur Schreiber écrit ainsi que l'« on ne trouverait peut-être pas dans nos exploitations un seul maître-mineur, d'origine française, sachant lever un plan souterrain » (Babu, 1900, p. 17). Johann Gottfried Schreiber (1746-1827) est lui-même, comme son nom l'indique, d'origine allemande. Il a étudié à l'École des mines de Freiberg, dans la tradition allemande de géométrie souterraine et de mathématiques pratiques.

CONCLUSION

En conclusion, il ressort de cet exposé que les institutions créées à la fin du XVIII^e siècle sous les noms d'académies ou d'écoles des mines ne sauraient être abordées d'une manière réductrice ou simpliste. Il ne s'agit nullement de l'introduction d'un enseignement en mathématiques dans un domaine technique jusque-là réfractaire. On a parfois écrit que la nouveauté principale est l'introduction d'une formation théorique de haut niveau en mathématiques³². Il me semble que ce point de vue est réducteur à deux niveaux. D'une part, il existait de riches traditions d'enseignement dans certaines régions d'Europe bien avant la création des académies. Si ces traditions peuvent rétrospectivement sembler insuffisantes sur certains points, dont celui de la formation initiale en mathématiques, elles sont adaptées à un contexte social particulier. Dans ce cadre, elles ont permis de former pendant près de deux siècles des géomètres souterrains et d'affronter des problèmes d'une complexité croissante. D'autre part, il nous semble que l'innovation principale n'est pas l'introduction des mathématiques pures, mais la notion d'un cursus d'enseignement coordonné. La concertation entre les différents professeurs, la difficulté croissante des matières et la collaboration avec les

³² Voir par exemple (Tok, 1983) sur Schemnitz.

ingénieurs, géomètres et maîtres de machines dans les États-miniers constituent un véritable nouveau modèle d'enseignement des mathématiques pratiques.

Il faut cependant dans le même temps reconnaître la variété des situations et les limites des concepts de « modèle » et « d'influence ». Les tentatives françaises font certes appel à des connaissances allemandes, faisant venir des spécialistes et envoyant de nombreux étudiants à Freiberg et Schemnitz. Lors de la création de l'École polytechnique, l'Académie des Mines de Schemnitz est même explicitement citée comme modèle³³. Il n'empêche que toutes les tentatives françaises sont bien différentes, centrées sur Paris et sur l'enseignement des mathématiques pures. En Allemagne même, d'autres États choisissent des solutions hybrides, où de petites académies collaborent avec une université voisine, comme dans le cas du Hanovre avec l'université de Göttingen et l'École des mines de Clausthal fondée en 1775. Enfin, les autres académies militaires, forestières ou de commerce offrent de multiples exemples. Ces méthodes d'enseignement des mathématiques et ces tentatives variées vont inspirer de multiples réformes des formations techniques au cours de la première moitié du XIX^e siècle. Celles-ci sont cependant presque toujours l'aboutissement de processus d'institutionnalisation de long terme visant à utiliser les mathématiques pratiques dans des domaines techniques particuliers.

Remerciements

Je tiens à remercier les archivistes des différentes institutions de Freiberg et Schemnitz, et en particulier le Dr. Herbert Kaden et Roland Volkmer, pour leur aide précieuse et leurs conseils durant mes recherches en archives.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AGRICOLA, G. (1556), *De Re Metallica libri XII*, Froben, Basileae.
- BARTELS, C., SLOTTA, R. (2012), *Der alteuropäische Bergbau. Von den Anfängen bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts vol. 1*, Münster, Aschendorff.
- BELHOSTE, B. (2003), *La formation d'une technocratie. L'École polytechnique et ses élèves de la Révolution au Second Empire*, Paris, Belin.
- BERG, B.I. (2008), *Das Bergseminar in Kongsberg in Norwegen (1757-1814)*, in *Der Anschnitt*, vol. 60, pp. 152-165.
- BEYER, AD. (1748), *Otia Metallica oder Bergmännische Neben-Stunden*, Schneeberg, Fulde.
- BEYER, AU. (1749), *Gründlicher Unterricht von Berg-Bau, nach Anleitung der Marckscheider-Kunst*, Schneeberg, Fulde.
- BIREMBAUT, A. (1986), *Écoles techniques et militaires au XVIIIe siècle*, in Roger Hahn et René Taton (éds.), *Enseignement et diffusion des sciences au XVIIIe siècle*, vol. 4 et 5, Hermann, Paris.
- DELIUS, C.T. (1773), *Anleitung zu der Bergbaukunst nach ihrer Theorie und Ausübung, nebst einer Abhandlung von den Grundsätzen der Berg-Kammeralwissenschaft für die Kaiserl. Königl. Schemnitzer Bergakademie entworfen*, Vienne, Trattner.
- DUHAMEL, J.-P.-F.-G. (1787), *Géométrie souterraine, élémentaire, théorique et pratique*, Paris, Imprimerie Royale.
- FRÄNGSMYR, T., HEILBRON, J.L. ET RIDER, R.E. (Eds.) (1990), *The Quantifying Spirit in the 18th Century*, Berkeley, University Press.
- GARÇON, A.-F. (2004), *Entre l'État et l'usine, l'École des Mines de Saint-Étienne au XIX^e siècle*, Rennes, PUR.
- GRATTAN-GUINNESS, I. (1990), *Convolutions in French Mathematics 1800-1840*, Basel, Boston, Berlin, Birkhäuser Verlag, 3 volumes.
- HENNING, C. (1763), *Acta historico-chronologico-mechanica circa metallurgiam in Hercynia*

³³ Dans un discours de Fourcroy daté du 24 septembre 1794, reproduit dans (Rapports, 1821, pp. 283-294)

- superiori*, vol. 1., Braunschweig, Waysenhausbuchhandlung.
- HORNOCH, A.T. (1941), *Zu den Anfängen des höheren bergtechnischen Unterrichtes in Mitteleuropa*, in *Berrg- und Hüttenmännische Monatshefte*, 89(2), pp. 16-22.
- JARS, G. (1774), *Voyages métallurgiques: ou, Recherches et observations sur les mines*, Lyon, Regnault.
- KLEIN, U. (2010), *Ein Bergrat, zwei Minister und sechs Lehrende Versuche der Gründung einer Bergakademie in Berlin um 1770*, in *NTM*, 18(4), pp. 437-468.
- MEIXNER, H., SCHELLAS, W., SCHMIDT, P. (1980), *Balthasar Rösler, Persönlichkeit und Wirken für den Bergbau des 17. Jahrhunderts*, Leipzig, VEB Verlag.
- MOREL, T. (2013), *Mathématiques et politiques scientifiques en Saxe (1765-1851). Institutions, acteurs et enseignements*, Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux.
- MOREL, T. (2015), *Le microcosme de la géométrie souterraine : échanges et transmissions en mathématiques pratiques*, in *Philosophia Scientiae*, dans le cahier thématique « Échanges mathématiques : études de cas (XVIII^e-XX^e siècles) », 19/2, à paraître.
- RAPPORT (1821), *Choix de rapports, opinions et discours: prononcés à la Tribune Nationale depuis 1789 jusqu'à ce jour*, vol. 15, Paris, Eymery.
- SCHMIDT, F.A. (1834), *Chronologisch-systematische Sammlung der Berggesetze der österreichischen Monarchie*, section 2, vol. 6, Vienne, Staats-Aerial-Druckerey.
- SENNEWALD, R. (2002), *Die Stipendiatenausbildung von 1702 bis zur Gründung der Bergakademie Freiberg 1765/66*. in *Beiträge zur Geschichte der TU Bergakademie Freiberg 1965-2002*, Freiberg, TU Bergakademie, pp. 407-429.
- TARCZY-HORNOCH A. (1937), *Samuel v. Mikoviny, der erste Professor technischer Wissenschaften in Ungarn*. in: József Nádor Müszaki és Gazdaságtudományi Egyetem bányászati és kohómérnöki osztályának közleményei, vol. 9, pp. 47–52.
- TÖRÖK, E. (2011), *Mikoviny Samuel (1698-1750)*, Budapest.
- Vozar, J. (1976), *Isaac Potter, constructeur anglais, et les premières « machines à feu » en Slovaquie*, *Historické štúdie*, vol. 20, pp. 73-100 (en Slovaque).
- ZIMMERMANN, C.F. (1746), *Obersächsische Berg-Academie*, vol.1, Dresde, Hekel