

Les cours d'André-Louis Cholesky à l'École spéciale des travaux publics, du bâtiment et de l'industrie

Dominique Tournès

► **To cite this version:**

Dominique Tournès. Les cours d'André-Louis Cholesky à l'École spéciale des travaux publics, du bâtiment et de l'industrie. Évelyne Barbin et Marc Moyon (éds). Les ouvrages de mathématiques dans l'Histoire. Entre recherche, enseignement et culture, Presses universitaires de Limoges, pp.319-332, 2013. hal-01186482

HAL Id: hal-01186482

<http://hal.univ-reunion.fr/hal-01186482>

Submitted on 28 Feb 2017

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

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



Les cours d'André-Louis Cholesky à l'École spéciale des travaux publics, du bâtiment et de l'industrie

Dominique TOURNÈS

*IREM de la Réunion, Laboratoire d'informatique et de mathématiques
(LIM, EA 2525), Université de la Réunion*

Une tendance actuelle de l'histoire des mathématiques est de ne plus se centrer seulement sur quelques grands mathématiciens et quelques grands concepts, mais de s'intéresser à la pratique des mathématiques – au sens le plus large du terme – dans divers milieux sociaux (mathématiciens, physiciens, astronomes, ingénieurs, enseignants, marchands...). Se pose alors le problème complexe de la construction et de la circulation des savoirs entre ces différents milieux. Dans ce cadre général, je me consacre plus particulièrement à l'étude des mathématiques des ingénieurs au 19^e siècle et dans la première moitié du 20^e, et aux interactions entre savoirs des ingénieurs et savoirs des mathématiciens. On peut se demander tout d'abord comment se faisait la formation mathématique des ingénieurs : dans des universités généralistes ou dans des écoles techniques spécialisées ? Par des mathématiciens ou directement par des ingénieurs de métier ? Dans ce type de formation, on doit s'attendre à trouver des compromis pragmatiques entre la nécessité de diffuser les acquis les plus récents des mathématiques académiques (calcul différentiel et intégral, mécanique analytique, géométrie projective...) et celle de transmettre des pratiques calculatoires immédiatement efficaces sur le terrain, d'où une situation propice à l'identification de savoirs mathématiques d'origines diverses en position d'interaction conflictuelle. En outre, la structuration des ingénieurs en branches spécialisées (génie civil, génie maritime, artillerie, mécanique industrielle...) avec chacune ses

écoles, ses enseignements et ses publications, a conduit à la coexistence de traditions relativement étanches les unes aux autres. Par suite, la circulation des pratiques mathématiques entre ingénieurs de différentes branches, ou entre ingénieurs de la même branche, mais de pays différents, est également intéressante à étudier.

Je me propose d'aborder ici ces questions à travers le personnage d'André-Louis Cholesky, polytechnicien, artilleur et ingénieur militaire ayant vécu au tournant du 20^e siècle. Aubaine pour les historiens, le petit-fils de Cholesky a déposé les archives de son aïeul à la bibliothèque de l'École polytechnique il y a une dizaine d'années¹. Claude Brezinski², qui s'est chargé de les classer et de les inventorier, y a trouvé au passage un petit trésor : le manuscrit original de la fameuse « méthode de Cholesky », une méthode de résolution des systèmes d'équations linéaires qui est encore utilisée de nos jours et qui n'était connue jusque-là que de seconde main³.

Ces archives contiennent également de nombreux documents scientifiques à caractère militaire concernant l'artillerie, la photographie aérienne, le combat aérien, la topographie et la cartographie. On y trouve enfin divers manuscrits relatifs au travail de Cholesky comme professeur à l'École spéciale des travaux publics, du bâtiment et de l'industrie (ESTP), la fameuse école d'ingénieurs civils fondée par Léon Eyrolles. C'est sur cette partie civile de son travail que je vais me pencher. Il s'agit essentiellement de trois cours : les pages 44 à 218 du manuscrit d'un livre intitulé *Cours de topographie*, publié par l'ESTP à une date inconnue ; un cours manuscrit de 239 pages, intitulé *Complément de topographie* ; un cours manuscrit de 83 pages, intitulé *Cours de calcul graphique*.

Ces manuscrits, notamment le dernier, constituent un témoignage digne d'intérêt sur un type très particulier d'ouvrage de mathématiques. Tout d'abord, ces cours ont été rédigés pour les élèves de l'ESTP, qui fut l'une des premières écoles par correspondance au monde. Par ailleurs, Cholesky a toujours été un homme de terrain : c'est lors de ses missions géodésiques en France et à

¹ Fonds André-Louis Cholesky, 5 cartons, cote BCX IX CHOLESKY, Centre de ressources historiques de l'École polytechnique, Palaiseau.

² Je remercie amicalement Claude Brezinski, à qui je dois une grande partie des informations utilisées pour l'écriture de cet article.

³ Claude BREZINSKI, « La méthode de Cholesky », *Revue d'histoire des mathématiques*, 11 (2005), p. 205-238.

l'étranger, puis sur le front pendant la Première Guerre mondiale qu'il a mis au point ses découvertes scientifiques. Il n'a jamais été ni un ingénieur de cabinet, ni un enseignant professionnel. À ce titre, on peut penser que ses cours rassemblent les connaissances réellement nécessaires à un ingénieur sur le terrain, telles que Cholesky a pu les mettre effectivement en œuvre dans sa propre pratique.

André-Louis Cholesky (1875-1918)

André-Louis Cholesky est né le 15 octobre 1875 à Montguyon, en Charente-Maritime. Son père était gérant d'hôtel et descendait d'une famille polonaise qui avait émigré en France à l'époque napoléonienne. Après avoir obtenu les deux parties de son baccalauréat à Bordeaux en 1892 et 1893, Cholesky entre à l'École polytechnique en 1895. De 1897 à 1899, il est sous-lieutenant, élève à l'École d'application de l'artillerie et du génie de Fontainebleau.

Jusqu'en 1914, il reçoit diverses affectations, tantôt dans des régiments d'artillerie, tantôt au Service géographique de l'armée, où il est chargé d'opérations de géodésie et de topographie : il participe à la mesure de la méridienne de Lyon ; il s'occupe, en Crète, de la triangulation des secteurs français et anglais ; on lui confie enfin la direction du nivellement en Algérie et en Tunisie.

Au début de la guerre, après trois mois comme commandant de batterie, il est affecté au Service géographique pour travailler sur les canevas de tir. Il fut l'un des officiers qui comprirent le mieux et développèrent le plus le rôle de la géodésie et de la topographie dans l'organisation des tirs d'artillerie. De septembre 1916 à février 1918, il est envoyé en Roumanie, entrée en guerre aux côtés des alliés, afin d'y réorganiser complètement le Service géographique. En juin 1918, il rejoint le 202^e régiment d'artillerie de l'armée du général Mangin. Cette armée était engagée dans la bataille de Picardie entre l'Aisne et Saint-Gobain. Le 31 août 1918, le commandant Cholesky décède des suites de ses blessures reçues sur le champ de bataille⁴.

⁴ Pour davantage de détails sur la vie de Cholesky, on pourra consulter : Claude BREZINSKI et Michel GROSS-CHOLESKY, « La vie et les travaux d'André Cholesky », *Bulletin de la Société des amis de la bibliothèque de l'École polytechnique*, 39 (2005), p. 7-32.

L'École spéciale des travaux publics

Avant d'analyser les cours de Cholesky, il convient de préciser le cadre dans lequel ils ont été conçus, à savoir l'École spéciale des travaux publics. Pour cela, je vais faire appel aux travaux d'Hélène Vacher⁵, qui a étudié cette école dans le contexte de l'émergence simultanée, à la fin du 19^e siècle, de la figure de l'ingénieur civil et de celle de l'ingénieur colonial. Il s'agit effectivement du moment où les ingénieurs tendent à se constituer en groupe social autonome, avec notamment la création d'associations corporatistes (il existait avant cela des associations liées à des écoles, comme la fameuse « Association polytechnicienne »).

C'est sur un fond de bouleversements techniques, de réformisme social et de politique expansionniste outre-mer qu'on assiste alors à l'apparition de deux entités nouvelles : la Société française des ingénieurs coloniaux (SFIC) et l'École spéciale des travaux publics (ESTP), appelée plus couramment École des travaux publics ou École Eyrolles.

La SFIC tient sa première assemblée générale en mai 1895. Elle revendique une filiation étroite avec la Société des ingénieurs civils de France. Sa politique est définie surtout par Émile Cheysson, un inspecteur général des Ponts et Chaussées. Il en appelle à la formation d'ingénieurs qui soient rompus aux questions d'organisation du travail, de gestion de la main-d'œuvre et de maîtrise des coûts. L'ingénieur colonial est chargé d'exporter le génie civil, avec énergie et esprit d'organisation, en tant que troisième agent de la colonisation après l'explorateur et le soldat.

En parallèle, la création et le devenir de l'ESTP sont indissociables de la vie de son fondateur Léon Eyrolles (1861-1945). Né à Tulle dans un milieu modeste, Eyrolles est reçu en 1882 au concours de conducteur des Ponts et Chaussées. Il fait alors le raisonnement suivant : à côté de l'École nationale des ponts et chaussées et de l'École centrale des arts et manufactures, il y a place pour un établissement privé d'où sortiraient des personnels d'encadrement, intermédiaires entre les grands ingénieurs et les ouvriers les plus qualifiés. Un tel lieu doit offrir un enseignement technique de qualité avec une formation pratique ouverte sur un

⁵ Hélène VACHER, « Les figures de l'ingénieur colonial à la fin du XIX^e siècle : la formation de la Société française des ingénieurs coloniaux et de l'École spéciale des travaux publics », *Le Mouvement social*, 189 (1999) p. 47-65.

large registre et ajustée sur les attentes des entreprises du bâtiment et des travaux publics.

Eyrolles commence, en 1891, par dispenser des cours du soir pour préparer aux concours de conducteur du Service municipal des travaux de Paris et de conducteur des Ponts et Chaussées. Il organise parallèlement un cours par correspondance, dénommé « L'école chez soi », qui le fait connaître au-delà de Paris. L'affaire prospère à tel point qu'en 1898, il démissionne de ses fonctions dans l'administration pour créer l'École des travaux publics, dont les classes et les bureaux sont installés au Quartier Latin.

Cet enseignement par correspondance est assurément novateur puisque, ainsi qu'Eyrolles l'affirme dans une conférence donnée le 11 janvier 1907 devant la Société d'encouragement pour l'industrie nationale⁶, « L'école chez soi » est, en 1891, l'une des premières écoles professionnelles par correspondance fondées au monde, simultanément avec l'International Correspondence School de Scranton, aux États-Unis.

En 1902, Léon Eyrolles crée le campus de Cachan pour y installer l'espace nécessaire aux applications pratiques. En 1920, il constitue la société anonyme « École spéciale des travaux publics du bâtiment et de l'industrie » (ESTPBI). L'année suivante, il est nommé commandeur de la Légion d'honneur et membre du Conseil supérieur de l'enseignement technique, en même temps que l'ESTP est reconnue par l'État (décret du 5 février 1921).

Les effectifs croissent vite. De 15 étudiants inscrits en 1892, on passe à plus de 6000 en 1905 et plus de 12000 en 1913. Les enseignants, qui viennent de l'administration et de l'industrie, sont une quarantaine en 1902 et le double cinq ans plus tard : ce sont majoritairement des conducteurs, mais aussi des maîtres de métier, des ingénieurs civils ou militaires. Ils assurent une formation à deux niveaux, tout d'abord celui de conducteur, puis celui d'ingénieur avec la nouvelle École supérieure des travaux publics, créée en 1903. L'objectif de cette école est de former pour l'industrie des ingénieurs ayant à la fois des compétences théoriques solides et une expérience les rendant opérationnels dès l'embauche. Ils sont également préparés à devenir des gestionnaires ou des chefs d'entreprise.

⁶ Un exemplaire dactylographié du texte de cette conférence est conservé dans le Fonds Cholesky (carton n° 2, dossier B1 « École des travaux publics »). C'est à cet exemplaire que je fais référence dans la suite de l'article.

La SFIC envisageait dans ses statuts de 1895 la création d'une école d'ingénieurs coloniaux, comme il en existait dans d'autres pays. Une telle institution n'a pas vu le jour, mais l'éveil rapide de l'ESTP aux débouchés du champ colonial a répondu à cet appel. En 1903, le système d'enseignement par correspondance a été étendu aux colonies. À la veille de la Première Guerre mondiale, l'Association des anciens élèves de l'ESTP recensait 18 ingénieurs diplômés exerçant dans des pays coloniaux ou semi-coloniaux.

Les cours à l'ESTP

Dans sa conférence de 1907, Eyrolles annonce qu'à cette date, l'enseignement comprend 168 cours différents, tous imprimés. Cet enseignement « embrasse non seulement toutes les matières techniques du domaine des travaux publics, du bâtiment, de la mécanique et de l'électricité, des géomètres, mais encore toutes les connaissances générales utiles : Mathématiques, Physique, Chimie, Géographe, Français, Langues étrangères. Chaque matière comporte un cours élémentaire, un cours moyen et un cours supérieur ». Une pédagogie – à cette époque tout à fait nouvelle et innovante – de l'enseignement par correspondance est ainsi mise en place : le cours est divisé en leçons correspondant à une période de travail de 8 à 15 jours ; à la fin de chaque période, l'élève envoie ses exercices résolus, qui lui sont retournés corrigés avec des annotations et des conseils. Chacun peut ainsi travailler chez lui et avancer à son rythme dans le cadre d'un enseignement fortement individualisé, en réalisant une économie significative de temps et d'argent, tout particulièrement s'il réside en province ou à l'étranger.

En 1923, d'après le catalogue publicitaire imprimé sur les pages de couverture de l'un de ses cours⁷, l'ESTP distribue plus de 360 volumes de cours et documents à ses auditeurs et correspondants. Dans cette liste, on trouve une douzaine de cours en rapport avec la topographie et le calcul graphique. Une brochure de 1918⁸ nous apprend par ailleurs quels étaient les diplômes préparés à l'ESTP dans le secteur de la topographie : aide-géomètre, géomètre, ingénieur-géomètre et ingénieur-topographe.

⁷ Joseph PRÉDHUMEAU, *Cours de calcul graphique des surfaces*, Paris : École spéciale des travaux publics, 1923.

⁸ *L'enseignement par correspondance*, Paris : École spéciale des travaux publics, du bâtiment et de l'industrie, 1918, 100 p.

Nul ne s'étonnera que l'on enseigne la topographie aux futurs géomètres-topographes. En revanche, quelques commentaires sont nécessaires pour expliquer la présence ici du calcul graphique, discipline visant à remplacer les calculs algébriques par des constructions géométriques⁹. L'une des parties du calcul graphique est la « statique graphique », corps de doctrine qui utilise systématiquement les notions de polygone des forces et de polygone funiculaire, ainsi que des méthodes graphiques issues de la géométrie projective, pour déterminer les conditions de stabilité et de résistance des constructions (poutres, ponts, toitures, voûtes, murs de soutènement...). Une autre partie substantielle de ce calcul est la « nomographie » ou science des abaques, dont le but est de construire des tables graphiques capables de remplacer avantageusement les tables numériques. C'est Léon-Louis Lalanne (1811-1892), ingénieur des Ponts et Chaussées, qui fit franchir un pas décisif à la théorie des tables graphiques en 1843, en énonçant que toute loi à trois variables peut être représentée graphiquement de la même manière qu'une surface topographique à l'aide de ses lignes de niveau cotées¹⁰. Après Lalanne, les abaques à lignes concourantes se répandirent rapidement, au point de devenir, dans le troisième quart du 19^e siècle, des outils courants dans le monde des ingénieurs français.

La science des abaques fut ensuite profondément transformée à partir de 1884 par Maurice d'Ocagne (1862-1938), un autre ingénieur des Ponts et Chaussées¹¹. Ocagne partit du constat que la plupart des équations rencontrées dans la pratique sont représentables par un abaque à trois systèmes de droites et que trois de ces droites, prises chacune dans l'un des systèmes, se correspondent lorsqu'elles se coupent en un même point. Son idée fondamentale fut alors de construire par dualité, en substituant l'usage de coordonnées tangentiels à celui de coordonnées ponctuelles, une figure corrélative de la précédente : chaque droite de l'abaque initial est alors transformée en un point, et trois droites concou-

⁹ Dominique TOURNÈS, « Pour une histoire du calcul graphique », *Revue d'histoire des mathématiques*, 6 (2000), p. 127-161.

¹⁰ Léon-Louis LALANNE, « Mémoire sur la substitution de plans topographiques à des tables numériques à double entrée, sur un nouveau mode de transformation des coordonnées, et sur ses applications à ce système de tables topographiques », *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, 16 (1843), p. 1162-1164.

¹¹ Maurice D'OCAGNE, « Procédé nouveau de calcul graphique », *Annales des Ponts et Chaussées* (6), 8 (1884), p. 531-540 + pl. 40.

rantes sont transformées en trois points alignés. Les abaques à points alignés, appelés « nomogrammes », sont d'une utilisation particulièrement simple et efficace, ce qui explique qu'ils aient été immédiatement adoptés par un grand nombre d'ingénieurs au profit des applications les plus diverses. Au début du 20^e siècle, on comprend donc la nécessité, pour l'ESTP, de disposer de cours de calcul graphique dans ses programmes d'enseignement, non seulement pour les futurs topographes, mais plus généralement pour les ingénieurs de toutes spécialités.

Le cours de topographie de Cholesky

Venons-en aux cours de Cholesky. C'est dans la période d'expansion rapide qu'elle connaît avant la guerre que l'ESTP s'adresse à Cholesky pour la rédaction de deux cours, un cours de topographie et un cours de calcul graphique. En 1914, on lui demandera aussi de préparer un cours de « Notions de cosmographie et d'astronomie de position », mais la rédaction de ce troisième cours ne sera apparemment jamais entreprise.

Le cours de topographie de Cholesky a été publié par la Librairie de l'enseignement technique Léon Eyrolles à une date inconnue. Intitulé *Cours de topographie. 2^e partie : Topographie générale*, il faisait suite à un premier volume consacré à la topométrie, écrit par Léon Eyrolles, Eugène Prévot et Édouard Quanon. Le volume de Cholesky connut au moins sept éditions jusqu'en 1937. Un second livre de Cholesky sur le même sujet est paru sous le titre *Compléments de topographie. Levés d'études à la planchette* ; il a lui-même été réédité plusieurs fois, au moins jusqu'en 1931.

Dans son cours, Cholesky donne une présentation claire et complète de la méthode des moindres carrés, et discute finement de ses applications à la triangulation, procédé classique servant à établir les cartes topographiques en couvrant le terrain d'un réseau de triangles. Il y développe également tous les détails pratiques liés à l'usage de la planchette, ou goniographe, cet instrument capital du topographe qui sert à reporter sur une feuille les angles mesurés par un goniomètre. Il y détaille enfin le procédé opératoire du « double cheminement », une méthode de son invention qui est encore en usage de nos jours et qui consiste à effectuer les relevés topographiques en double, selon deux trajets très voisins, puis à prendre la moyenne des résultats obtenus afin de compenser certaines erreurs systématiques dues aux défauts inévitables des instruments de mesure.

Le fait que ce cours de topographie ait été réédité et utilisé pendant au moins une trentaine d'années témoigne de l'accueil

favorable qu'il a reçu et de l'influence durable qu'il a pu exercer sur la formation des topographes en France.

La gestation douloureuse du cours de calcul graphique

À propos maintenant du cours de calcul graphique, le fonds Cholesky des archives de l'École polytechnique contient une série de lettres de Léandre Étève, directeur adjoint de l'ESTP, à notre ingénieur¹², qui montre que la gestation de ce cours a été longue et douloureuse. Le 27 avril 1910, un premier courrier précise la commande, et fournit à Cholesky les documents dont il conviendrait de s'inspirer :

Je vous fais adresser en vue de la rédaction du cours de Calcul graphique des contenances les documents suivants :

La Mathématique de Laisant

Un Numéro des Annales des travaux publics de Belgique (qui contient une étude sur les abaques)

Le cours de Calcul graphique de M. Prince

Le cours de Géométrie analytique de M. Vasnier

Notre cours de Topographie 1^{ère} partie.

M. Danger nous avait communiqué des titres d'ouvrages pouvant vous intéresser à ce sujet, mais en ce qui concerne les ouvrages de Calcul graphique de M. Ocagne, je crois qu'il est préférable que vous vous contentiez de prendre connaissance du cours de M. Prince qui a déjà extrait des ouvrages de M. d'Ocagne les parties réellement intéressantes.

Par cette dernière phrase, le directeur adjoint met en garde Cholesky contre la tentation d'utiliser des ouvrages de niveau trop élevé. Il lui rappelle incidemment que l'ESTP s'adresse à un public très différent de celui de l'École polytechnique et de l'École des ponts et chaussées, pour lequel Ocagne avait écrit ses grands traités. Le 25 juillet 1911 (ou peut-être 1910, car la lettre mentionne seulement 191...), le directeur, ne voyant rien venir, commence à manifester son impatience :

J'espère que vous travaillez actuellement au cours de Calcul graphique des Contenances dont vous nous avez promis la rédaction. Ce cours ayant été annoncé depuis déjà longtemps et beaucoup d'Élèves y étant inscrits et l'attendant depuis deux ans, présente une urgence toute particulière. J'espère que vous ferez tout votre possible pour activer sa production.

Le 19 mars 1912, toujours rien. L'impatience du directeur adjoint va croissant :

¹² Carton n° 2, dossier B1 « École des travaux publics ».

Dominique TOURNÈS

Je vous prie de bien vouloir nous envoyer le manuscrit du cours de Topographie générale et nous indiquer en même temps l'état d'avancement du cours de Calcul graphique des Contenances que nous vous avons chargé de rédiger. J'espère que vous donnerez une prompte réponse (favorable : rajouté à la main) à cette question.

Enfin, dans la dernière lettre conservée, datée du 26 janvier 1914, le directeur adjoint, commençant sans doute à désespérer de recevoir un jour le cours tant promis, réitère sans grande conviction sa demande :

Je vous prie de bien vouloir faire le nécessaire pour terminer le plus rapidement possible le cours de calcul graphique des contenances qui, m'avez-vous dit, est déjà très avancé.

Cholesky était assurément l'auteur adéquat pour rédiger un tel cours de calcul graphique. Entre 1907 et 1914, il a effectué plusieurs missions à l'étranger, en Crète, en Algérie et en Tunisie sous les ordres de Charles Lallemand (1857-1938), directeur du Service du nivellement général de la France. Quand on sait que Lallemand a lui-même créé une méthode originale de calcul graphique, celle des « abaques hexagonaux » et qu'Ocagne a été l'adjoint de Lallemand entre 1891 et 1901, on comprend que Cholesky s'est trouvé au cœur d'interactions scientifiques fructueuses lui assurant beaucoup de recul sur le sujet.

Divers documents des archives montrent que Cholesky s'est réellement investi dans la préparation de ce cours. Plusieurs feuilles volantes contiennent des listes de références bibliographiques en rapport avec le calcul graphique (listes élaborées sans doute à partir de recherches dans des bibliothèques, car on y trouve parfois des cotes de livres). Quelques lettres¹³ témoignent qu'il a correspondu avec René Danger, l'ingénieur-géomètre mentionné par le directeur adjoint de l'ESTP dans son courrier du 27 avril 1910, et avec d'autres personnes, pour obtenir des renseignements sur les instruments de calcul graphique disponibles à son époque. Danger l'invite notamment à se rendre au Conservatoire national des arts et métiers pour y consulter divers instruments et abaques susceptibles de l'intéresser.

Cependant, quelle qu'ait été l'ampleur de ces recherches documentaires préparatoires, on conçoit facilement que Cholesky, accaparé par ses missions de terrain, puis envoyé au front peu après le début de la guerre, n'ait jamais disposé du temps nécessaire pour terminer la rédaction de son cours. Il nous en reste malgré tout le

¹³ Carton n° 3, dossier C3 « Papiers personnels ».

début, sous la forme d'un manuscrit de 83 pages, écrit sur des feuilles de format 15.5 cm x 20 cm.

Le contenu du cours inédit de calcul graphique

Il est instructif de comparer la table des matières de la partie du cours qui a été conservée avec un plan préliminaire qui figure par ailleurs dans les archives de Cholesky :

<i>Plan préliminaire</i>	<i>Plan du manuscrit</i>
<p>Calcul graphique Généralités. Graduations linéaires. Courbes. Surfaces. Abaques Jeu du papier. Erreurs. Approximation. Conséquences : choix des variables ou arguments Résolution graphique des équations. Intégration graphique Étude des instruments de calcul : Règles. Curvimètres. Rapporteurs. Planimètres. Vernier graphique. Machines à calculer. Compas de réduction. Appareils Genaille Abaques. Nomogrammes Compensation graphique</p>	<p>Cours de calcul graphique Avant-Propos Chapitre I. Généralités Représentation graphique des nombres Courbes. Diagrammes. Équations à 2 variables Surfaces. Équations à 3 variables Chapitre II. Abaques Abaques à deux variables Théorie générale des abaques</p>

La lecture du plan préliminaire montre que Cholesky avait en vue un programme ambitieux couvrant, en plus des éléments de nomographie, des questions assez avancées du point de vue mathématique comme la résolution graphique des équations et l'intégration graphique, et l'étude d'un certain nombre d'instruments de calcul reposant sur des principes graphiques. Le manuscrit conservé ne correspond malheureusement qu'à la première partie de ce plan. On peut toutefois se faire une idée vraisemblable de ce qu'aurait été le cours complet de Cholesky en se référant aux autres cours de calcul graphique publiés ultérieurement par l'ESTP, par exemple le *Cours de calcul graphique des surfaces* de J. Prédhumeau mentionné plus haut.

Par ailleurs, une bibliographie trouvée dans les papiers de Cholesky, écrite de sa main et datée de 1910, montre qu'il n'a pas suivi la recommandation du directeur adjoint de s'inspirer avant

tout d'ouvrages relativement simples, mais qu'au contraire il a travaillé sur plusieurs ouvrages importants d'Ocagne¹⁴.

Au début du cours manuscrit, Cholesky énonce clairement l'objet du calcul graphique et met en évidence le gain de temps qu'il est susceptible de procurer à l'ingénieur, en particulier lorsqu'il s'agit d'effectuer des opérations nombreuses et répétitives :

Il est inutile d'insister sur l'intérêt que présente toute réduction dans la durée des calculs, cette réduction se traduisant toujours par une économie de temps et par suite d'argent ; c'est pour cette raison qu'on a cherché à réduire la durée des calculs numériques en calculant à l'avance des Tables numériques constituant absolument l'équivalent des épures employées dans le calcul graphique. L'avantage de ces dernières est que généralement elles sont plus faciles et moins longues à établir ; de plus leur emploi est moins pénible pour le calculateur.

Dans son ensemble, le cours de Cholesky reste relativement standard, bien qu'on trouve vers la fin du manuscrit l'ébauche d'une théorie des abaques assez personnelle, dont on ne peut hélas pas savoir comment elle aurait été développée et exploitée dans les chapitres ultérieurs. Le manuscrit nous offre surtout un cours très soigné donnant une image fidèle de ce qui pouvait être enseigné concrètement à tout ingénieur. Cholesky a le souci d'y présenter les résultats théoriques et les techniques utiles de la manière la plus élémentaire qui soit, en faisant appel aussi rarement que possible au calcul infinitésimal et jamais à des notions de géométrie projective. Enfin, c'est un cours par correspondance et donc, par nature, un texte contenant des explications détaillées que l'on ne trouve pas habituellement dans la plupart des traités publiés, lesquels, de par leur niveau élevé et leur concision, soit sont destinés à des professionnels avancés ou à des enseignants, soit doivent être complétés par un enseignement oral.

L'une des caractéristiques pédagogiques remarquables de ce cours est de proposer régulièrement à l'étudiant plusieurs approches et plusieurs solutions pour résoudre un même problème. Par exemple, une certaine relation à trois variables peut être figurée, soit par une seule courbe cotée, soit par deux courbes reliées entre elles grâce à une variable commune ; ou encore, une certaine

¹⁴ Maurice D'OCAGNE, *Nomographie. Les calculs usuels effectués au moyen des abaques*, Paris : Gauthier-Villars, 1891 ; *Calcul graphique et nomographie*, Paris : Doin, 1904 ; *Leçons sur la topométrie et la cubature des terrasses*, Paris : Gauthier-Villars, 1904 ; *Le calcul simplifié par les procédés mécaniques et graphiques*, Paris : Gauthier-Villars, 1905.

fonction de deux arguments peut être représentée par un abaque rectiligne ou par un abaque circulaire. L'objectif principal affiché ici, tout comme dans les autres cours de Cholesky, est de laisser à l'étudiant une grande autonomie, de l'inciter à penser par lui-même, de lui recommander d'exploiter avant tout son bon sens, car, plus tard, il aura sans cesse à s'adapter à des situations nouvelles et imprévues rencontrées sur le terrain.

Conclusion

Cholesky, tout comme Lalanne, Lallemand et Ocagne que nous avons rencontrés plus haut, est un pur produit du modèle français de formation des ingénieurs fonctionnant depuis le début du 19^e siècle. Ce modèle, celui de l'École polytechnique instituée en 1794 sous l'impulsion principale de Gaspard Monge, a produit des « ingénieurs savants » capables d'utiliser les ressources théoriques acquises durant leurs études pour réaliser une mathématisation sans précédent de l'art de l'ingénieur. En particulier, ces ingénieurs de haut niveau devaient être en mesure de créer par eux-mêmes les outils mathématiques dont ils avaient besoin lorsque les mathématiciens de l'Académie étaient incapables de les leur fournir clés en main.

Le polytechnicien Cholesky correspond incontestablement à cette figure emblématique de l'ingénieur savant. Grâce à la formation très solide qu'il a reçue, il s'est montré capable de travailler avec efficacité et inventivité dans trois domaines : en tant qu'ingénieur militaire, en tant que mathématicien et en tant qu'enseignant. Pour ses besoins de topographe curieux et exigeant, il a notamment créé, d'une part, le protocole opératoire du double cheminement, d'autre part, la méthode de résolution des systèmes linéaires qui porte son nom, tout simplement parce qu'il n'avait rien trouvé de pleinement satisfaisant parmi les méthodes alternatives disponibles à son époque. Par ailleurs, dans ses cours, on perçoit constamment le souci de l'ingénieur militaire, homme de terrain, de proposer des méthodes performantes, parfois originales, mais toujours pratiques et facilement utilisables par des techniciens ou des ingénieurs n'ayant pas nécessairement une formation mathématique de haut niveau.

Au-delà du cas singulier et significatif de Cholesky, l'analyse d'autres cours de mathématiques conçus pour la formation des ingénieurs devrait nous éclairer davantage sur les corrélations subtiles qui ont existé dans le passé entre mathématiques créées, mathématiques pratiquées et mathématiques enseignées. Plus généralement, je suis convaincu qu'une meilleure prise en compte

Dominique TOURNÈS

des mathématiques des ingénieurs, notamment telles qu'elles s'expriment dans les revues de sciences de l'ingénieur, serait féconde pour approfondir certains pans jusqu'ici négligés de l'histoire des mathématiques.