



HAL
open science

Les archives nomographiques de l'ENPC : un nouveau regard sur Maurice d'Ocagne et l'histoire de la nomographie

Nathalie Daval

► To cite this version:

Nathalie Daval. Les archives nomographiques de l'ENPC : un nouveau regard sur Maurice d'Ocagne et l'histoire de la nomographie. Histoire et perspectives sur les mathématiques [math.HO]. Université de la Réunion, 2020. Français. NNT : 2020LARE0029 . tel-03124973

HAL Id: tel-03124973

<https://theses.hal.science/tel-03124973v1>

Submitted on 29 Jan 2021

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

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

École doctorale STS
Unité de recherche LIM

Thèse présentée par **Nathalie DAVAL**

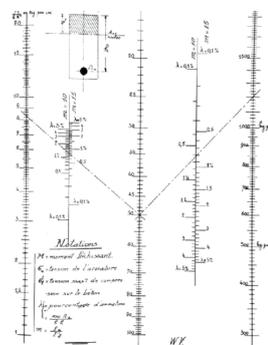
Soutenue le **11 décembre 2020**

En vue de l'obtention du grade de docteur de l'Université de la Réunion

Discipline **Histoire des mathématiques**

Les archives nomographiques de l'ENPC :

un nouveau regard sur Maurice d'Ocagne
et l'histoire de la nomographie



Composition du jury

<i>Rapporteurs</i>	Konstantinos CHATZIS	Chargé de recherche HDR, IFSTTAR et LATTS, École des Ponts ParisTech
	Philippe NABONNAND	Professeur, Archives Henri-Poincaré, Université de Lorraine
<i>Examineurs</i>	Christian DELHOMMÉ	Professeur, LIM, Université de la Réunion
	Marianne MORILLON	Professeure, LIM, Université de la Réunion
	Loïc PETITGIRARD	Maître de conférence HDR, Conservatoire national des arts et métiers, Paris
	Rossana TAZZIOLI	Professeure, Laboratoire Paul-Painlevé, Université de Lille
<i>Directeur de thèse</i>	Dominique TOURNÈS	Professeur, LIM, Université de la Réunion

COLOPHON

Mémoire de thèse intitulé « Les archives nomographiques
de l'ENPC : un nouveau regard sur Maurice d'Ocagne
et l'histoire de la nomographie », écrit par Nathalie DAVAL, achevé le 11 novembre 2020,
composé au moyen du système de préparation de document \LaTeX et de la classe yathesis
dédiée aux thèses préparées en France.

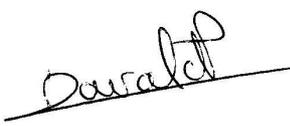


FIGURE 1 – Photo de Maurice d'Ocagne envoyée à son élève Farid Boulad Bey. Source : Maxime Boulad, descendant de Farid Boulad Bey

LETTRE D'ENGAGEMENT DE NON-PLAGIAT

Je, soussignée Nathalie Daval en ma qualité de doctorante de l'Université de La Réunion, déclare être consciente que le plagiat est un acte délictueux passible de sanctions disciplinaires. Aussi, dans le respect de la propriété intellectuelle et du droit d'auteur, je m'engage à systématiquement citer mes sources, quelle qu'en soit la forme (textes, images, audiovisuel, internet), dans le cadre de la rédaction de ma thèse et de toute autre production scientifique, sachant que l'établissement est susceptible de soumettre le texte de ma thèse à un logiciel anti-plagiat.

Fait à Clapiers le : 11 novembre 2020.

Signature : 

Extrait du Règlement intérieur de l'Université de La Réunion
(validé par le Conseil d'Administration en date du 11 décembre 2014)

Article 9. Protection de la propriété intellectuelle – Faux et usage de faux, contrefaçon, plagiat

L'utilisation des ressources informatiques de l'Université implique le respect de ses droits de propriété intellectuelle ainsi que ceux de ses partenaires et plus généralement, de tous tiers titulaires de ces droits.

En conséquence, chaque utilisateur doit :

- utiliser les logiciels dans les conditions de licences souscrites ; - ne pas reproduire, copier, diffuser, modifier ou utiliser des logiciels, bases de données, pages Web, textes, images, photographies ou autres créations protégées par le droit d'auteur ou un droit privatif, sans avoir obtenu préalablement l'autorisation des titulaires de ces droits.

La contrefaçon et le faux

Conformément aux dispositions du code de la propriété intellectuelle, toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle d'une œuvre de l'esprit faite sans le consentement de son auteur est illicite et constitue un délit pénal.

L'article 444-1 du code pénal dispose : « Constitue un faux toute altération frauduleuse de la vérité, de nature à cause un préjudice et accomplie par quelque moyen que ce soit, dans un écrit ou tout autre support d'expression de la pensée qui a pour objet ou qui peut avoir pour effet d'établir la preuve d'un droit ou d'un fait ayant des conséquences juridiques ».

L'article L335-3 du code de la propriété intellectuelle précise que : « Est également un délit de contrefaçon toute reproduction, représentation ou diffusion, par quelque moyen que ce soit, d'une œuvre de l'esprit en violation des droits de l'auteur, tels qu'ils sont définis et réglementés par la loi. Est également un délit de contrefaçon la violation de l'un des droits de l'auteur d'un logiciel (...) ».

Le plagiat est constitué par la copie, totale ou partielle d'un travail réalisé par autrui, lorsque la source empruntée n'est pas citée, quel que soit le moyen utilisé. Le plagiat constitue une violation du droit d'auteur (au sens des articles L 335-2 et L -353 du code de la propriété intellectuelle). Il peut être assimilé à un délit de contrefaçon. C'est aussi une faute disciplinaire, susceptible d'entraîner une sanction.

Les sources et les références utilisées dans le cadre des travaux (préparations, devoirs, mémoires, thèses, rapports de stage...) doivent être clairement citées. Des citations intégrales peuvent figurer dans les documents rendus, si elles sont assorties de leur référence (nom d'auteur, publication, date, éditeur...) et identifiées comme telles par des guillemets ou des italiques.

Les délits de contrefaçon, de plagiat et d'usage de faux peuvent donner lieu à une sanction disciplinaire indépendante de la mise en œuvre de poursuites pénales.

Mots clés: calcul graphique, nomographie, nomogramme, mathématiques, histoire, ocagne, abaqes, archives enpc.

Keywords: graphic calculation, nomography, nomogram, mathematics, history, ocagne, abacus, archives enpc.

Cette thèse a été préparée au

LIM

Laboratoire d'Informatique et de Mathématiques

Parc Technologique Universitaire

Bâtiment 2

2 rue Joseph Wetzell

97490 Sainte Clotilde

France

☎ +262 262 48 33 95

📠 +262 262 48 33 91

✉ Magalie.Clain@univ-reunion.fr

Site <http://lim.univ-reunion.fr>



Les propositions mathématiques sont reçues comme vraies parce que personne n'a intérêt qu'elles soient fausses.

Montesquieu

**LES ARCHIVES NOMOGRAPHIQUES DE L'ENPC :
un nouveau regard sur Maurice d'Ocagne et l'histoire de la nomographie**

Résumé

La nomographie est une branche des mathématiques appliquées née vers la fin du 19^e siècle qui a pour objet la théorie et les méthodes de construction de graphiques cotés qui permettent, par simple lecture, d'effectuer des calculs numériques rapidement. Les archives nomographiques déposées à l'École nationale des ponts et chaussées (ENPC) par Maurice d'Ocagne à sa retraite en 1927 et retrouvées il y a une dizaine d'années, permettent un regard nouveau sur cet ingénieur et sur l'histoire de la nomographie en général. L'objet de cette thèse est donc, au travers des documents de ces archives (articles récoltés, nomogrammes édités et lettres reçues), d'effectuer une étude historique et sociale de la nomographie, et plus particulièrement du rôle de d'Ocagne, considéré comme le père de la discipline. En complément, nous apporterons quelques éléments nouveaux à la biographie de ce dernier.

Mots clés : calcul graphique, nomographie, nomogramme, mathématiques, histoire, ocagne, abaques, archives enpc.

Abstract

Nomography is a branch of applied mathematics which appeared towards the end of the 19th century. It deals with the theory and methods of constructing rated graphs that enable numerical calculations to be carried out quickly by simply reading them. The nomographic archives deposited at the École nationale des ponts et chaussées (ENPC) by Maurice d'Ocagne on his retirement in 1927, and found about ten years ago, allow a new vision of this engineer and of the history of nomography in general. The purpose of this thesis is therefore to carry out a historical and social study of nomography through the documents in these archives (articles collected, nomograms published and letters received), and more particularly to study the role of d'Ocagne, considered as the father of nomography. In this thesis we will also bring some new elements to his biography.

Keywords: graphic calculation, nomography, nomogram, mathematics, history, ocagne, abacus, archives enpc.

LIM

Laboratoire d'Informatique et de Mathématiques – Parc Technologique Universitaire – Bâtiment 2 – 2 rue Joseph Wetzell – 97490 Sainte Clotilde – France

Remerciements

Ce mémoire de thèse est le fruit d'un long travail qui n'aurait pas pu se faire de manière solitaire. Ainsi, je remercie tout particulièrement Dominiqueournès, mon directeur de thèse, qui m'a proposé ce sujet si passionnant et qui a su m'aiguiller tout au long de cette aventure. Un grand merci pour sa confiance, ses conseils, sa patience, ses relectures minutieuses et sa grande bienveillance.

Je remercie également Konstantinos Chatzis et Philippe Nabonnand, les rapporteurs de cette thèse, qui m'ont fait l'honneur d'être également les membres de mon comité de suivi annuel et qui, par conséquent, ont apporté à chaque étape un regard extérieur à ma thèse et qui ont su me donner des idées pertinentes pour la marche à suivre. Merci à Christian Delhommé, Marianne Morillon, Loïc Petitgirard et Rossana Tazzioli qui m'ont fait l'honneur de bien vouloir faire partie du jury.

Aussi, je tiens à remercier les membres du Laboratoire d'informatique et de mathématiques de l'université de la Réunion pour leur écoute et leur soutien, notamment lors des séminaires annuels.

Mes remerciements vont également aux membres de la bibliothèque de l'École des Ponts ParisTech, et plus particulièrement à Anne Lacourt et à Guillaume Saquet qui m'ont accueillie dans les archives de leur école. Aussi, je n'oublie pas Étienne Ghys, Jean-Pierre Kahane et Cédric Villani pour leur parrainage m'ayant ouvert les portes de la bibliothèque de l'Institut de France.

J'adresse également une reconnaissance tout particulière à celles et ceux qui m'ont aidée dans la traduction d'articles ou de lettres : Julie Dumonteil pour l'allemand, Bati et Bernard pour le grec, Catherine Quilichini pour le japonais, Alessio Guarino pour l'italien, ma nièce Marie-Julie et sa maman Véronique pour le russe, et mes enfants pour l'aide apportée dans la transcription de lettres parfois difficilement lisibles.

Merci aux collègues du lycée Georges-Brassens et de l'INSPE de la Réunion, puis du collègue Simone-Veil et de l'INSPE de Montpellier de leur intérêt, leurs questionnements face à un thème qui leur était inconnu et leur soutien.

Enfin, j'exprime une très grande gratitude à mon mari Jérôme et à mes enfants Noé, Matéo et Quentin qui ont dû supporter les périodes les plus actives où plus grand chose n'existait en dehors de cette thèse. Merci pour leurs encouragements et leur compréhension.

Sommaire

Résumé	xiii
Remerciements	xv
Sommaire	xvii
Liste des tableaux	xxi
Table des figures	xxiii
Introduction	1
I Les données disponibles sur Maurice d’Ocagne et la nomographie : ses publications, ses archives nomographiques	9
1 État de l’art des publications de Maurice d’Ocagne avant la découverte du fonds d’archives de l’ENPC	13
1.1 Étude des livres écrits par d’Ocagne	14
1.2 Étude des articles publiés par d’Ocagne	20
1.2.1 Chronologie de ses publications	20
1.2.2 Étude des domaines	23
1.2.3 Étude des journaux	25
1.2.4 Étude des pays	28
1.3 Conclusion	29
2 De nouvelles sources	31
2.1 Les fonds d’archives déposés par d’Ocagne	32
2.2 Le cas particulier des archives nomographiques	33
2.3 Mise en place de l’exploitation de ces données	36

2.4	Étude de la correspondance reçue	43
2.4.1	Étude chronologique	44
2.4.2	Étude du contenu des lettres	46
2.4.3	Étude de la provenance des lettres	48
2.5	Conclusion	52
II	La nomographie, une branche des mathématiques en constante évolution depuis la fin du 19^e siècle	55
3	Une rapide histoire du calcul graphique et de la nomographie	59
3.1	Les premières méthodes de calcul graphique	60
3.1.1	Les prémices du calcul graphique	61
3.1.2	Les tableaux numériques	67
3.1.3	De Descartes aux premières représentations de lois par des graphiques	69
3.1.4	Le calcul par le trait et la statique graphique, naissance du calcul graphique	71
3.2	La nomographie	73
3.2.1	1797 : les abaques à courbes cotées de Pouchet	74
3.2.2	1842 : l'anamorphose de Lalanne et Massau	76
3.2.3	1885 : les abaques hexagonaux de Lallemant	78
3.2.4	1884 : les nomogrammes à points alignés de d'Ocagne	82
3.3	Étude de cas : déblais et remblais	84
3.3.1	Les chemins de fer en France au 19 ^e siècle	85
3.3.2	Le problème géométrique des déblais et remblais	86
3.3.3	La solution des nomogrammes	90
3.4	Conclusion	102
4	L'utilisation de la nomographie entre le 19^e et le 20^e siècle	105
4.1	Domaines d'utilisation	106
4.1.1	Terrassement et chemins de fer	108
4.1.2	Navigation navale, aérienne et astronomique	117
4.1.3	Balistique	128
4.1.4	Énergies	139
4.1.5	Résistance des matériaux	152
4.1.6	Économie et médecine	159

4.2 Étude de cas : le nomogramme pendant la Grande Guerre	168
4.2.1 Contexte : la Première Guerre mondiale	169
4.2.2 Le nomogramme : une solution aux préparations et aux réglages de tirs?	173
4.2.3 Le rôle de Maurice d'Ocagne et du bureau nomographique pendant la Première Guerre	183
4.3 Conclusion	190
5 La circulation de la nomographie dans les journaux	195
5.1 Étude des journaux du fonds d'Ocagne	196
5.1.1 Étude statistique des thèmes abordés dans les journaux . . .	198
5.1.2 Étude des journaux	202
5.1.3 Langues, pays et auteurs	207
5.2 Étude de cas : circulation d'un article sur la trigonométrie sphérique	220
5.2.1 Le triangle sphérique	220
5.2.2 Les nomogrammes du triangle sphérique de d'Ocagne . . .	222
5.2.3 Et ailleurs...	228
5.3 Conclusion	230
III Maurice d'Ocagne, un ingénieur-savant aux multiples facettes	235
6 La jeunesse de Maurice d'Ocagne	239
6.1 La famille d'Ocagne	244
6.1.1 Origine patronymique	244
6.1.2 Sa famille paternelle	245
6.1.3 Sa famille maternelle	248
6.2 L'enfance de d'Ocagne	248
6.2.1 Lieux d'habitation parisiens et guerre de 1870	249
6.2.2 Escapades estivales	250
6.2.3 Scolarité en institution et au collège Chaptal	252
6.3 Ses études d'ingénieur	253
6.3.1 L'École polytechnique	254
6.3.2 L'École des ponts et chaussées	255
6.4 Conclusion	257

7 La vie d'adulte de Maurice d'Ocagne	259
7.1 Sa vie personnelle	260
7.1.1 Vie familiale	260
7.1.2 Ses passions littéraires et théâtrales	262
7.1.3 Les salons de la princesse Mathilde	264
7.1.4 L'affaire Dreyfus et la Ligue de la patrie française	267
7.2 Sa vie professionnelle	271
7.2.1 Sa carrière d'ingénieur des Ponts et Chaussées	271
7.2.2 Sa carrière d'enseignant	282
7.2.3 Sa carrière de scientifique	288
7.3 Conclusion	300
8 Étude de cas : le lien singulier avec son élève Farid Boulad Bey	303
8.1 Farid Boulad Bey	305
8.2 Ses apports techniques à la nomographie	307
8.3 Un fervent défenseur de la nomographie et de d'Ocagne	309
8.4 Conclusion	317
Conclusion générale	319
Bibliographie de la thèse	325
Correspondance utilisée dans la thèse	341
A Frise chronologique de la vie de Maurice d'Ocagne	345
B Contenu des archives de l'École des ponts et chaussées	349
Articles et documents des archives	351
Correspondance des archives	381
C Articles écrits par Maurice d'Ocagne dans des journaux	407
D Description de personnes dans les livres de souvenirs	429
Index des noms propres	437
Table des matières	443

Liste des tableaux

2.1	Inventaire des boîtes d'archives nomographiques de l'ENPC (2015)	38
2.2	Inventaire des planches avant leur restauration (2016)	40
2.3	Pays de provenance des lettres reçues par d'Ocagne	51
3.1	Programme de construction de l'analemme de Vitruve traduit en langage moderne (63)	63
4.1	Liste des abaques financiers de Kraitchik et Mounier (1920) . . .	165
4.2	Inconvénients et améliorations relatifs à l'utilisation d'abaques au front	190
5.1	Classement des journaux selon les catégories utilisées par Cirmath	203
5.2	Nombre de journaux en fonction du nombre d'articles récoltés dans la catégorie sciences et techniques	205
5.3	Récapitulatif des trois dispositions possibles de quatre éléments d'un triangle sphérique et les conséquences sur les formules et les nomogrammes	227
7.1	Écoles ayant un cours de nomographie en 1905	286

Table des figures

1	Photo de Maurice d’Ocagne envoyée à son élève Farid Boulad Bey. Source : Maxime Boulad, descendant de Farid Boulad Bey	iii
2	Bobine cylindrique à une seule couche. Source : ENPC	2
3	Nomogramme à points alignés pour calculer l’inductance d’une bobine (1926). Source : ENPC	3
1.1	Diagramme en bâtons du nombre de livres publiés par d’Ocagne en fonction du domaine	19
1.2	Diagrammes de Tuckey des livres publiés par d’Ocagne en fonction du domaine et de la date	19
1.3	<i>Diagramme en bâtons du nombre d’articles publiés par d’Ocagne dans les journaux en fonction des années</i>	21
1.4	Nuage de points pondérés du nombre d’articles publiés par d’Ocagne en fonction des années	21
1.5	Diagramme en bâtons du nombre d’articles publiés par d’Ocagne en fonction des domaines scientifiques	23
1.6	Diagrammes de Tuckey des domaines de publication en fonction des années	24
1.7	Diagramme en bâtons du nombre d’articles publiés par d’Ocagne en fonction des journaux	26
1.8	Diagrammes de Tuckey des journaux en fonction des années	27
1.9	Cartographie des pays dans lesquels d’Ocagne a publié des articles	28
2.1	Lettre d’abandon de d’Ocagne de ses archives nomographiques (1927). Source : ENPC	34
2.2	Boîtes actuelles des archives de d’Ocagne à l’ENPC (2015)	36
2.3	Petites boîtes d’origine dans lesquelles d’Ocagne a pris soin de déposer ses tirés à part et ses correspondances (2015)	37

2.4	Un exemple d'entrée de la base des articles de l'ENPC	41
2.5	Un exemple de lettre « de justification » de d'Ocagne à Clark (24 septembre 1907). Source : ENPC	44
2.6	Diagramme en bâtons du nombre de lettres reçues par d'Ocagne selon les années	45
2.7	Diagramme en bâtons du nombre de lettres reçues par d'Ocagne en fonction de leur contenu	46
2.8	Cartographie des provenances mondiales des lettres reçues par d'Ocagne	48
2.9	Cartographie des provenances européennes des lettres reçues par d'Ocagne	49
3.1	Analemme de Vitruve (63). Source : gallica.bnf.fr	62
3.2	Différents éléments pouvant être lus sur l'analemme de Vitruve .	64
3.3	Astrolabe arabe construit par Ahmed-Ben-Khalaf (10 ^e siècle). Source : gallica.bnf.fr	65
3.4	Quadratum horarium generale (15 ^e siècle). Source : ENPC	66
3.5	Table d'inverses babylonienne, Uruk, période séleucide (v. 300 av. J.-C.). Source : musée du Louvre	68
3.6	Schéma de Descartes dans La géométrie(1637). Source : gallica.bnf.fr	70
3.7	Détermination graphique des puissances successives de a : $og = a$, $od = a^2$, $oe = a^4$, $om = a^5$ Cousinery (1839). Source : archive.org	72
3.8	Dynamique et funiculaire d'un solide en équilibre	73
3.9	Table graphique de Pouchet pour la multiplication et la division (1797). Source : gallica.bnf.fr	75
3.10	Comparaison table-tableau graphique par Lalanne (1846). Source : gallica.bnf.fr	77
3.11	Tables graphiques de la multiplication sans et avec anamorphose. Lalanne (1846). Source : gallica.bnf.fr	78
3.12	Représentation graphique de la somme dans un abaque hexagonal : nous avons ainsi $\overline{AM_Z} = \overline{AM_X} + \overline{AM_Y}$	79
3.13	Somme de 3,4 et 1,8 à l'abaque de Lallemand (1885). Source : ENPC	80
3.14	Abaque hexagonal universel de la multiplication de Lallemand (1885). Source : ENPC	81
3.15	Système de trois courbes cotées. D'Ocagne (1899). Source : ENPC	83
3.16	Un exemple d'abaque pour la multiplication. D'Ocagne (1899). Source : ENPC	84

3.17 Un convoi de chemin de fer classique au milieu du 19 ^e siècle. Source : gallica.bnf.fr	87
3.18 Profil en long d'une portion de chemin de fer. Hugues (1847). Source : gallica.bnf.fr	88
3.19 Profils en travers les plus courants : tout en déblai, tout en remblai ou mixte, en déblai et en remblai. Pujol (1909). Source : gallica.bnf.fr	91
3.20 Profil en travers	93
3.21 Disjonction des cas en fonction de la pente du terrain naturel . .	94
3.22 Abaques à points alignés pour le calcul de remblai et de déblai. Ocagne (1899)	99
4.1 Diagramme de Tuckey des domaines qui utilisent la nomographie en fonction des années, entre 1877 et 1937	108
4.2 Tableau graphique de remblais et déblais, créé par Paulin (1889). Source : ENPC	110
4.3 Résultats obtenus pour le calcul des surfaces et des emprises d'un profil tout en remblai par Paulin (1889). Source : ENPC	111
4.4 Abaque pour le remblai que d'Ocagne propose à la reproduction (1893). Source : ENPC	112
4.5 Exemple de nomogramme pour les remblais, en couleur, d'auteur inconnu. Source : ENPC	113
4.6 Abaque créé par Vaes pour étudier le nombre de wagons à atteler à une locomotive en fonction de la vitesse et du poids (1897). Source : ENPC	115
4.7 Nomogramme à points alignés de Tongas pour l'étude de la marche d'un train (1937). Source : ENPC	116
4.8 Schéma de l'abaque de Favé-Rollet destiné à montrer la disposition générale des courbes (1892). Source : ENPC	120
4.9 Exemple de double page représentant les règles d'utilisation de l'un des tableaux graphiques de Constan (1906). Source : ENPC .	123
4.10 Nomogrammes permettant de déterminer la hauteur atteinte par un aéroplane (1911). Celui de gauche a été dessiné par Potin, celui de droite par Pesci. Source : ENPC	124
4.11 Schémas et formules utilisés pour l'abaque de Pesci (1911). Source : ENPC	125

4.12 Exemple d'abaque de Chrétien et Lagrula pour déterminer les caractéristiques de vol d'un avion utilisé par de Guiche dans les années 20. Source : ENPC	128
4.13 Abaques de tir pour le canon de 155 long, obus ordinaire, proposé par Lafay (1895). Source : ENPC	130
4.14 Première de couverture et table des matières d'un fascicule d'instruction sur le tir édité par le ministère de la Guerre pour le canon de 75 (1916). Source : ENPC	131
4.15 Abaque VIa des tables de tir du canon de 75. Source : ENPC	132
4.16 Première de couverture du carnet de tables graphiques de corrections de tir du canon de 75 (1917). Source : ENPC	134
4.17 Abaque passe partout pour le tir au canon. Source : ENPC	136
4.18 Abaque de correction atmosphériques pour l'O.F.A. du 155 ^{cs} d'auteur inconnu. Source : ENPC	138
4.19 Abaque logarithmique pour le calcul des conduites d'eau sous pression de Muyden (1884). Source : ENPC	141
4.20 Abaques pour le transport de l'eau : à gauche selon la formule de Levy proposée par Dariès et à droite pour la formule de Bazin par d'Ocagne, 1897 et 1898. Source : ENPC	143
4.21 Abaques pour les canaux en terre selon la formule de Bazin : à gauche celui de Rouillet (1929) et à droite celui de d'Ocagne (1898). Source : ENPC	145
4.22 Abaque du fonctionnement théorique des gazogènes au coke proposé par Soreau (1907). Source : ENPC	146
4.23 Abaque universel pour les lignes aériennes de Blondel 1902. Source : ENPC	148
4.24 Droit de réponse de Blondel à un article de Potin, avec annotations de Potin. (1912). Source : ENPC	150
4.25 Exemple du nomogramme (III-A) de Joitel pour déterminer la flèche maximum de lignes aériennes (1922). Source : ENPC	152
4.26 Memento graphique du constructeur, Chenevier (1884). Source : Chenevier's Memento	154
4.27 Memento Chenevier, résistance à la flexion des poutres en fer, des solives en sapin et en chêne (1884). Source : ENPC	155
4.28 Vérification des sections fléchies, Lebrech (1906). Source : ENPC	156

4.29	Abaques pour le béton armé, utilisés dans les cours de construction de Baes (1913 et 1926). Source : ENPC	157
4.30	Évolution de l'abaque de Quiquet pour les assurances mixtes et décès (1897). Source : ENPC	162
4.31	Évolution de l'abaque de Quiquet pour les assurances créé par d'Ocagne (1897)	163
4.32	Tokometre Kraitchik (1914). Source : Auction team Breker	164
4.33	Abaques du taux d'intérêt de Kraitchik et Mounier (1920). Source : ENPC	166
4.34	Abaque de la constante d'Ambard de Brikas (1935). Source : ENPC	169
4.35	Pièce de 75 (canon et caisse), en batterie et servie par des artilleurs en uniforme du début de la guerre 1914-1918. Source : gallica.bnf.fr/BnF	170
4.36	Coût d'un tir de canon (1917). Source : ENPC	171
4.37	Table de tir du canon de 75, tab.Vb. Ronneaux (1917). Source : ENPC	173
4.38	Pointage en hauteur d'un canon (1914). Source : gallica.bnf.fr . .	175
4.39	Abaque du calcul de l'angle vent-plan de tir (1921). Source : gallica.bnf.fr/BnF	176
4.40	Abaques du calcul de correction de vent transversal et longitudinal. Source : gallica.bnf.fr/BnF	177
4.41	Schéma des trajectoires théorique et corrigée	179
4.42	Nomogramme à points alignés de l'obus explosif	181
4.43	État des albums de tables graphiques de corrections de tir. D'Ocagne (1918). Source : ENPC	185
4.44	Brouillon de la lettre adressée par Herr à Bourgeois, corrigée par d'Ocagne (1921). Source : ENPC	191
5.1	Lettre de Jonesco à d'Ocagne datée du 1 ^{er} mai 1908 et envoyée depuis Bucarest	197
5.2	Diagramme en bâtons du nombre d'articles, de journaux et de pages publiés dans les journaux de 1880 à 1938 en fonction des domaines parmi les archives de l'ENPC	199
5.3	Diagramme de Tuckey des articles de nomographie publiés dans les journaux de 1880 à 1938 en fonction des domaines parmi les archives de l'ENPC	201

5.4	Trio de tête des revues spécialisées qui publient de la nomographie : une revue française, une allemande et une internationale (franco-suisse). Source : ENPC	204
5.5	Trio de tête des revues scientifiques et techniques qui publient de la nomographie : deux revues françaises et une allemande. Source : Gallica.bnf.fr	206
5.6	Duo de tête des revues généralistes qui publient de la nomographie : une revue algérienne, et une revue française. Source : ENPC	208
5.7	Diagramme en bâtons du nombre de journaux reçus par d'Ocagne en fonction de la langue utilisée	208
5.8	Cartographie des journaux ayant publié de la nomographie en Europe	209
5.9	Cartographie des journaux ayant publié de la nomographie dans le Monde	210
5.10	Diagrammes de Tuckey des publications dans les journaux étrangers en fonction des années	211
5.11	Lettre de Vaes à d'Ocagne, le 8 août 1899	213
5.12	Lettre de Pesci concernant ses publications, envoyée à d'Ocagne le 8 novembre 1908	214
5.13	Liste des publications concernant la nomographie d'Eichhorn . .	217
5.14	Lettre de Mehmke envoyée à d'Ocagne le 17 octobre 1896	219
5.15	Triangle sphérique	221
5.16	Abaque de résolution triangle sphérique établi par d'Ocagne (1894). Source : ENPC	224
5.17	Abaque de résolution triangle sphérique établi par Collignon. Source : ENPC	226
5.18	Diagramme des liens existants entre les articles de géométrie sphérique	231
6.1	Don de d'Ocagne à l'Institut (1935). Source : Institut de France .	240
6.2	Page de couverture de ses livres VII et VIII (1935). Source : Institut de France	243
6.3	Cadastre parcellaire de la commune de d'Occaignes aux 19 ^e et 20 ^e siècles. Source : Archives départementales de l'Orne	245
6.4	Arbre généalogique des ascendants de d'Ocagne	246
6.5	Lieux de villégiatures estivales de d'Ocagne de 1862 à 1885 . . .	251

6.6	D'Ocagne en habits de polytechnicien (1880). Source : ENPC . . .	254
6.7	Classements de d'Ocagne à l'École polytechnique (1882). Source : Archives nationales	255
6.8	D'Ocagne à l'École des ponts et chaussées. Source : ENPC	256
6.9	Notes de d'Ocagne à l'École des ponts et chaussées (1884-1885). Source : Archives nationales	258
7.1	Le salon de la princesse Mathilde, rue de Courcelles. Charles Gi- raud. Soucre : Photo RMN-Grand Palais	265
7.2	Examen de conscience de d'Ocagne suite à l'énumération des hautes personnalités qu'il a rencontrées chez la princesse Mathilde. Source : Institut de France	267
7.3	Déposition de d'Ocagne lors de la révision du procès d'Alfred Drey- fus. Source : gallica.bnf.fr/BnF	270
7.4	Notes signalétiques de d'Ocagne de l'année 1886. Source : Archives nationales	272
7.5	Carte de l'état-major du canton de Rochefort. Source : remonterle- temps.ign.fr	274
7.6	Mésaventure de d'Ocagne à Conflans-Sainte-Honorine. Source : gal- lica.bnf.fr/BnF	276
7.7	Comportement de la fiche signalétique de 1893. Source : Archives nationales	277
7.8	Plan directeur autour du fort de Douamont (Meuse). Source : Ser- vice géographique de l'Armée	280
7.9	Exemple de schémas présents dans les cours de d'Ocagne	284
7.10	Affiche du cours de d'Ocagne à la Sorbonne en 1907. Source : ENPC	287
7.11	Premier article de d'Ocagne dans un journal. Source : HathiTrust Digital Library	289
7.12	Prix Leconte de l'Académie des sciences. (1891). Source : Archives nationales	295
7.13	Classification des méthodes de calcul graphique et mécanique par d'Ocagne dans le Calcul simplifié par les procédés mécaniques et graphiques avec, pour chaque cas, un exemple de tracé, d'instru- ment ou de machine (1928).	298
7.14	Avis divergents selon les missions de d'Ocagne en 1899. Source : Archives nationales	301

8.1	Diagramme en bâtons du nombre de lettres de Boulad reçues par d'Ocagne en fonction des années	304
8.2	Photo de Farid Boulad Bey. Source : Maxime Boulad, descendant de Farid	305
8.3	Lettre de Boulad à d'Ocagne, envoyée le 25 avril 1906. Source : ENPC	308
8.4	Différentes formules de politesse de Boulad dans ses lettres adressées d'Ocagne	312
8.5	Lettre de Boulad à d'Ocagne, envoyée le 12 janvier 1910. Source : ENPC	313
8.6	Objets remis par Boulad à d'Ocagne en 1912. Source : ENPC . . .	314
8.7	Article du journal La liberté du 24 octobre 1922. Source : ENPC .	316
8.8	Lettre de Boulad à d'Ocagne du 23 mai 1923. Source : ENPC . .	316

Introduction

Le titre et le sous-titre de cette thèse comportent deux termes importants qui interpellent généralement les curieux me demandant le thème de mes recherches : il s'agit de « Maurice d'Ocagne » et de « nomographie ».

Maurice d'Ocagne est un nom peu connu du grand public. Une petite recherche sur la toile fait état d'environ 35 000 résultats, alors que Pythagore en a à son actif 1 700 000 et Cédric Villani presque 6 millions ! De la vie de d'Ocagne, nous ne connaissons pas grand chose. Voici ce que Wikipédia¹ en dit en introduction :

« Philbert Maurice d'Ocagne (1862-1938) est un ingénieur et mathématicien français. Il est le promoteur en France d'une méthode de résolution graphique d'équations algébriques par l'emploi d'abaques, qu'il appela nomographie. »

De son nom complet, Philibert Maurice d'Ocagne, de mère Pauline-Maire Nay et de de père Mortimer d'Ocagne, il naît dans une famille d'origine aristocratique en 1862. Son père est associé d'agent de change et homme de lettres. Maurice d'Ocagne fait ses études à l'École polytechnique puis à l'École des ponts des chaussées. Il se marie en avril 1883 avec Gabrielle Hillemacher, avec qui il aura deux enfants. Il fait un cursus plutôt brillant à Polytechnique, puis devient tour à tour ingénieur ordinaire, ingénieur en chef et inspecteur général. Il travaille dans différents services de son corps, et notamment dans les services hydrauliques, au service ordinaire et au nivellement général de la France. Parallèlement, il voue une grande importance à la géométrie et au professorat : il sera répétiteur d'astronomie et de géodésie, puis professeur de géométrie et de topométrie à l'École des ponts et chaussées et à l'École polytechnique. Cette bivalence le mènera parfois

1. WIKIPÉDIA (2020). *Maurice d'Ocagne*. URL : http://fr.wikipedia.org/wiki/Maurice_d%27Ocagne (visité le 13/10/2020).

à négliger sa carrière d'ingénieur au profit d'une carrière mathématique dans laquelle il fera tout pour se faire remarquer par le biais de la nomographie. Décoré officier de la Légion d'honneur, d'Ocagne décède en 1938 en ayant marqué son époque².

À l'heure actuelle, une avenue, créée en 1956, porte son nom dans le quatorzième arrondissement de Paris entre le boulevard périphérique et celui des Maréchaux ainsi que deux écoles : l'école maternelle publique Maurice d'Ocagne, située au 5 de l'avenue Maurice d'Ocagne, et l'école élémentaire Maurice d'Ocagne, au numéro 7 de cette même rue.

Si la vie du personnage est assez aisée à décrire rapidement, le terme de nomographie mérite que nous nous y attardions quelque peu : avant d'en faire une description plus complète dans le corps de ce document, prenons un exemple qui illustrera très rapidement la puissance de la méthode. Dans un article de 1926 du journal *La radio*³, on trouve la formule donnant l'inductance en microhenry d'une bobine (voir fig. 2)

$$L = 0,0066 n^2 d^{1,707} \ell^{1,293}$$

exprimée en fonction du nombre de spires par centimètre n , de son diamètre en centimètre d et de sa longueur en centimètre ℓ .

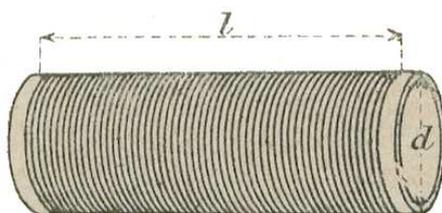


FIGURE 2 – Bobine cylindrique à une seule couche. Source : ENPC

Supposons que l'on veuille déterminer l'inductance d'une bobine de longueur 14 cm, de diamètre 2 cm et qui possède 10 spires par centimètre, soit à calculer la valeur de $0,0066 \times 10^2 \times 2^{1,707} \times 14^{1,293}$. À l'heure actuelle, il nous serait facile, à condition de disposer d'un quelconque instrument de calcul (calculatrice

2. Konstantinos CHATZIS (2015). « Un ingénieur-savant tardif : le cas de Philbert Maurice d'Ocagne (1862-1938) ». *Séminaire d'histoire des mathématiques de l'IHP : Maurice d'Ocagne, questions historiques et historiographiques soulevées par ses archives*.

3. Eugène AISBERGER (1926a). « Comment déterminer sans calcul la self-inductance d'une bobine ». *La radio*. 6, p. 192-193.

comportant la fonction puissance, ordinateur ou même smartphone), d'effectuer ce calcul. Mais si nous nous plaçons au siècle dernier, à une époque où ce type d'appareil n'existe pas encore, la tâche est nettement plus ardue. C'est là que peut intervenir la nomographie de d'Ocagne avec profit : en effet, cette loi peut être transformée en un tableau graphique appelé nomogramme (voir fig. 3) permettant, à l'aide de simples segments de droites et de trois données, de connaître la quatrième.

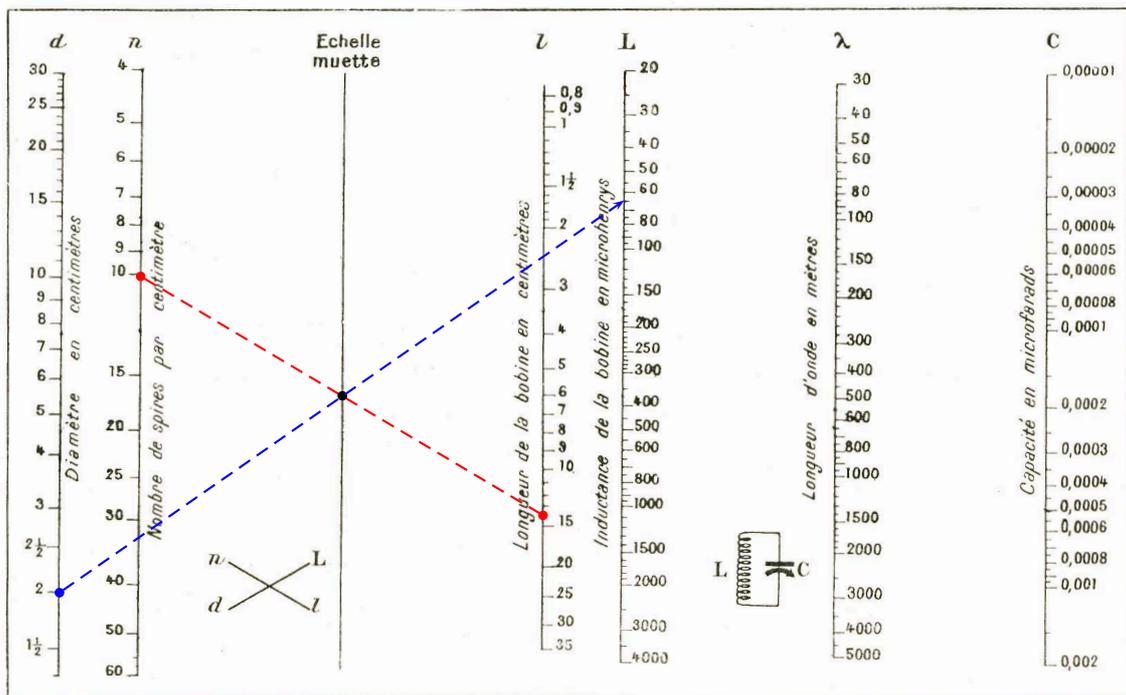


FIGURE 3 – Nomogramme à points alignés pour calculer l'inductance d'une bobine (1926).
Source : ENPC

Ce nomogramme particulier est un nomogramme « à points alignés et à échelles parallèles ». Par exemple, pour calculer l'inductance de notre bobine, il faut dans un premier temps joindre le nombre n de spires (ici 10, sur la deuxième échelle en partant de la gauche), à la longueur l de la bobine (14 cm, sur la troisième échelle). Ce segment de droite coupe l'échelle muette en un point pivot. Ensuite, on trace la droite passant par le diamètre d (2 cm, sur la première échelle) et le point pivot. Elle coupe l'échelle de l'inductance L (quatrième échelle) en la valeur recherchée : environ 65 microhenrys ⁴.

La nomographie est une branche des mathématiques qui trouve son origine dans la seconde moitié du 19^e siècle, marquée par la révolution industrielle et par

4. Notons qu'une valeur approchée au dixième calculée à la calculatrice donne 65,4.

une série de grands travaux : l'Europe se couvre de mines de charbon, de lignes télégraphiques, de voies ferrées, de réseaux routiers... Tous ces travaux nécessitent de nombreux calculs pour lesquels les procédés de l'époque se révèlent inappropriés. On utilise par exemple des tables numériques, comportant des calculs déjà faits, très souvent sur des papiers de grande taille et utilisables uniquement pour une loi donnée. De même, les instruments de calcul sont souvent chers, compliqués à construire et peuvent être de manipulation complexe.

Dès 1795, Louis-Ézéchiél Pouchet, manufacturier, crée les premières tables graphiques à double entrée (pour une équation à trois variables), permettant de lire un résultat lorsque deux variables sont données. Puis, en 1842, Léon Lalanne, ingénieur des Ponts et Chaussées, évoque le mot abaque pour cette sorte de diagramme, le transformant en abaques à droites concourantes. Enfin, d'Ocagne améliore encore le procédé en utilisant un système de points cotés. Il donne le nom de nomogrammes à de telles tables graphiques et les définit ainsi dans les premières lignes de son traité de nomographie⁵ :

« Réduire à de simples lectures sur des tableaux graphiques, construits une fois pour toutes, les calculs qui interviennent nécessairement dans la pratique des divers arts graphiques, tel est le but que se propose la nomographie. »

L'objectif de cette thèse est d'étayer la connaissance que nous avons de la nomographie et de la vie de d'Ocagne, à l'aide de ses archives déposées à l'École nationale des ponts et chaussées⁶ au moment de sa retraite. Celles-ci sont composées de documents sur la nomographie qui peuvent être des tirés à part d'articles, des documents manuscrits, ou encore des nomogrammes de grande taille d'une part, et de correspondances nomographiques d'autre part. Ce formidable corpus, retrouvé il y a une dizaine d'années, devrait pouvoir nous éclairer sur les deux axes que nous souhaitons étudier. L'objectif n'est pas, ici, de travailler sur la théorie mathématique sous-jacente à la nomographie, ni même d'expliquer la technique de construction de ces nomogrammes : cela a déjà été traité à de multiples reprises dans les différents traités de nomographie de l'époque. Pour des publi-

5. Maurice d' OCAGNE (1899). *Traité de nomographie. Théorie des abaques. Applications pratiques*. 1^{re} éd. Gauthier-Villars.

6. L'École nationale des ponts et chaussée (ENPC), appelée couramment École des ponts et chaussées ou encore École des ponts, s'appelle actuellement l'École des Ponts ParisTech. S'agissant d'archives déposées avant le changement de nom, je garderai dans ce mémoire la dénomination d'École des ponts et chaussées.

cations historico-mathématiques plus récentes qui abordent l'aspect théorique et technique, on pourra par exemple étudier les livres *The History and Development of Nomography*⁷ et *Calculating Curves*⁸.

Les articles que d'Ocagne a classés scrupuleusement par nom d'auteur, et qui semblent représenter un échantillon intéressant des articles de nomographie de l'époque, nous aident à comprendre comment s'est faite la circulation de la nomographie, dans quelle temporalité, quelles en étaient les utilisateurs et les utilisations, les thèmes porteurs. . . Avec les courriers, nous nous projetons davantage dans l'intimité de d'Ocagne, cela permet de comprendre une partie de son fonctionnement, d'évaluer les aides qu'il a apportées et celles dont il a été pourvu, de voir les cheminements aboutissant à certains livres, articles ou nomogrammes. . .

C'est donc tout naturellement que le plan de la thèse va se décliner en trois parties de longueurs variables : la première partie sera composée de deux chapitres, et consacrée à l'état de l'art des publications de d'Ocagne et à l'étude du fonds d'Ocagne à l'ENPC. Nous ferons un recensement et une analyse statistique de ses publications : ses livres, mais aussi les articles qu'il a publiés dans les journaux. Puis, nous étudierons les archives que d'Ocagne a déposées en différents lieux, et en particulier les archives nomographiques. L'exploitation des deux principaux corpus des articles et des correspondances doit permettre de suivre deux objectifs : d'une part faire ressortir des pistes de recherche intéressantes à intégrer dans la thèse ou à des études ultérieures, et d'autre part créer une base de données relativement complète permettant une exploitation plus simple, plus rapide et plus structurée de ces archives. Ces premiers résultats nous permettront ensuite, dans les deux parties principales de la thèse, de répondre à la problématique suivante :

« *Qu'apportent les archives nomographiques de l'ENPC à la connaissance que nous avons déjà de Maurice d'Ocagne et à la doctrine qu'il a inventée : la nomographie ?* »

La deuxième partie de ce mémoire concernera la nomographie, et sera déclinée en trois chapitres : dans le chapitre 3, nous nous intéresserons à une rapide histoire du calcul graphique en général, des prémices de constructions graphiques aux nomogrammes à points alignés de d'Ocagne. Nous tenterons de

7. Harold Ainsley EVESHAM (1992). *The History and Development of Nomography*. Docent Press.

8. RON DOERFLER et al. (2012). *Calculating Curves. The Mathematicc, History, and Aesthetic Appeal of T.H. Gronwall's Nomographic Work*. Docent Press.

reconstituer le cheminement qui a mené aux nomogrammes, les améliorations successives de représentation de formules avec leurs avantages et leurs inconvénients afin de bien se rendre compte des évolutions importantes dans le domaine. Nous terminerons chaque chapitre par un étude de cas illustrant les propos du dit chapitre. Pour ce faire, nous étudierons ici un exemple qui constitue l'une des origines des recherches en nomographie : les problèmes de déblais et de remblais au moment de la mise en place du réseau de chemins de fer à la fin du 18^e siècle. Dans le chapitre 4, nous nous préoccupons de l'utilisation qui a été faite de la nomographie entre la fin du 19^e siècle et la première partie du 20^e siècle : toujours à la lumière des archives, nous verrons quels ont été les domaines de prédilection de la discipline en fonction des périodes et des besoins. Nous en profiterons pour montrer la diversité des formes de nomogrammes ainsi que des auteurs et, quand cela est possible, d'établir les liens qui existent entre des nomogrammes différents illustrant la même loi. Puis, nous terminerons par l'étude de cas de l'utilisation de la nomographie pendant la Première Guerre mondiale dans les régiments d'artillerie, par le biais du bureau de nomographie dirigé par d'Ocagne. Pour clore cette deuxième partie, dans le chapitre 5, nous analyserons la circulation de la nomographie dans les journaux de l'époque, en prenant en compte uniquement le corpus des articles collectés par d'Ocagne à l'ENPC. L'objectif est de voir quels sont les domaines abordés dans les journaux, les types de journaux utilisés, comment les articles de nomographie ont pu se propager à l'étranger, et d'observer cette circulation à l'échelle de d'Ocagne. Notre traditionnelle dernière section sera consacrée à une étude de cas : celle de la circulation d'un article particulier, concernant la résolution nomographique des triangles sphériques, qui revient de manière récurrente dans le corpus au début du 20^e siècle.

La troisième partie traitera de l'homme « Maurice d'Ocagne », afin de mieux comprendre ce qui l'a amené à composer sur la nomographie. Des éléments biographiques seront apportés ici : pour le chapitre 6, nous nous intéresserons à ses origines, sa jeunesse et ses études. Nous utiliserons pour cela d'autres archives que d'Ocagne a également déposées de son vivant à l'Institut de France, ainsi que son dossier administratif militaire. Nous tenterons de retracer au mieux sa généalogie en remontant sur six générations, puis nous développerons sa jeunesse avec sa famille, agrémentée de nombreux déménagements ponctuels ou définitifs. Enfin, nous évoquerons ses débuts de carrière mathématique et professionnelle au sein des deux grandes écoles que sont Polytechnique et les Ponts et Chaussées. Nous pourrons ainsi observer ses premières recherches. Dans le chapitre 7,

nous étudierons sa vie d'adulte sous deux angles : le premier concernera sa vie personnelle familiale et mondaine, ses passions littéraires, son occupation dans les salons de la princesse Mathilde et son appartenance à la ligue de la patrie française. Le second angle nous mènera vers sa vie professionnelle, tout aussi multiple puisqu'il aura embrassé trois carrières quasiment en même temps : celle d'ingénieur des Ponts et Chaussées, celle de professeur de géométrie et celle de mathématicien. Enfin, dans le dernier chapitre, le 8, nous accorderons une place à un homme qui a eu une grande importance pour d'Ocagne : il s'agit de Farid Boulad Bey, un ingénieur des Ponts et Chaussées égyptien ayant travaillé sur quelques aspects techniques de la nomographie, dans l'ombre de d'Ocagne, et avec lequel il a échangé plus d'une centaine de courriers concernant la nomographie.

Entrons sans plus attendre dans l'antre de la nomographie...

Première partie

**Les données disponibles sur Maurice
d'Ocagne et la nomographie : ses
publications, ses archives
nomographiques**

Afin de dégager des axes de recherche possibles pour cette thèse, nous allons examiner dans cette première partie les données que nous avons à notre disposition, quelles soient anciennes ou nouvelles. Ainsi, nous commencerons par faire un recensement des publications de d'Ocagne : cela concernera ses articles publiés dans les journaux, mais aussi ses monographies. Puis, nous regarderons du côté de ses archives, plus spécialement celles qu'il a déposées à l'École des ponts et chaussées et qui ont trait à la nomographie. Ce travail préliminaire nous permettra d'introduire le corps principal de la thèse et de préciser notre problématique.

État de l'art des publications de Maurice d'Ocagne avant la découverte du fonds d'archives de l'ENPC

Sommaire du présent chapitre

1.1 Étude des livres écrits par d'Ocagne	14
1.2 Étude des articles publiés par d'Ocagne	20
1.2.1 Chronologie de ses publications	20
1.2.2 Étude des domaines	23
1.2.3 Étude des journaux	25
1.2.4 Étude des pays	28
1.3 Conclusion	29

Avant d'étudier plus précisément le rôle de Maurice d'Ocagne pour la nomographie, il nous paraissait important de dresser une photographie actuelle de ses publications, quel que soit leur thème. Dans un article du *Journal de l'École polytechnique*¹, publié trois années avant sa mort, d'Ocagne recense ses publications dans une « Bibliographie des travaux mathématiques et des publications sur l'histoire des sciences ». Nous y avons une liste impressionnante : une vingtaine d'ouvrages et des centaines d'articles relatifs aux mathématiques et aux ma-

1. Maurice d'OCAGNE (1935a). « Bibliographie des travaux et des publications sur l'histoire des sciences ». *Journal de l'École polytechnique*. 2, p. 223-235.

thématiques appliquées, publiés dans de multiples pays. Nous avons complété cette liste à l'aide de bases mathématiques sur Internet, essentiellement zbMATH, NUMDAM et EUDL : les articles issus de ces bases constituent environ la moitié du corpus. Nous allons faire dans ce chapitre une étude statistique des publications de d'Ocagne que nous connaissons : l'étude des livres qu'il a écrits et des articles qu'il a publiés nous donneront une idée plus précise de la place de la nomographie parmi son œuvre en général. Pour cela, nous considérerons l'aspect temporel de ses publications afin de dégager des périodes particulières, puis nous analyserons quelques données statistiques concernant les domaines, les journaux et les pays dans lesquels il a publié.

1.1 Étude des livres écrits par d'Ocagne

Nous avons recensé 28 de ses livres traitant de différents domaines des mathématiques, classés ci-dessous dans l'ordre décroissant du nombre de livres par domaine. Il aura écrit et publié pendant un demi-siècle : son premier ouvrage, en 1885, concerne la géométrie et son dernier, 50 ans plus tard, ses souvenirs.

Les livres de nomographie :

- *Nomographie. Les calculs usuels effectués au moyen des abaques*².

Le premier ouvrage où d'Ocagne commence à exposer les fondements de la nomographie en regroupant toutes les recherches faites jusqu'alors et en y adjoignant les siennes.

- *Application générale de la nomographie au calcul des profils de remblai et déblai*³.

Construction et utilisation d'abaques pour le calcul des aires de déblai et de remblai, de la longueur des emprises et des talus, notamment utiles pour la construction du réseau ferré national.

- *Traité de nomographie*^{4,5}.

Apports théoriques sur la nomographie, des équations et systèmes à

2. Maurice d'OCAGNE (1891a). *Nomographie. Les calculs usuels effectués au moyen des abaques*. Gauthier-Villars.

3. Maurice d'OCAGNE (1896c). *Application générale de la nomographie au calcul des profils de remblai et déblai, avec une instruction pratique pour la construction et le mode d'emploi des abaques à points isoplèthes*. Dunod et Vicq.

4. Maurice d'OCAGNE (1899d). *Traité de nomographie. Théorie des abaques. Applications pratiques*. 1^{re} éd. Gauthier-Villars.

5. Maurice d'OCAGNE (1921d). *Traité de nomographie. Étude générale de la représentation gra-*

deux, trois variables et plus à la théorie générale. Abaques à entrecroisements et à alignement et application au calcul des profils de remblai et de déblai.

- *Calcul graphique et nomographie*^{6,7,8}.

Un livre de synthèse sur le calcul graphique et la nomographie rappelant, pour chaque édition, la théorie du calcul graphique (arithmétique, algèbre et intégration graphique), et de la nomographie (abaques à lignes concourantes et à points alignés, éléments mobiles).

- *Principes usuels de nomographie*⁹.

Conférences faites à la section technique de l'artillerie par le lieutenant-colonel d'Ocagne. Reprise des notions élémentaires sur les abaques cartésiens et les nomogrammes à points alignés, dans le but de les appliquer à l'artillerie et à l'aviation.

- *Esquisse d'ensemble de la nomographie*¹⁰.

Notions élémentaires de nomographie, des bases (systèmes d'éléments cotés) aux nomogrammes (à lignes cotées, à points alignés et à systèmes cotés mobiles).

Les livres de géométrie :

- *Coordonnées parallèles et axiales*^{11,12}.

Il y est exposé une méthode de transformation géométrique d'un système de coordonnées parallèles et d'un système de coordonnées axiales et de leurs applications, notamment sur un procédé « nouveau » de calcul graphique.

- *Cours de géométrie descriptive et de géométrie infinitésimale*¹³.

phique cotée des équations à un nombre quelconque de variables. Applications pratiques. 2^e éd. Gauthier-Villars.

6. Maurice d'OCAGNE (1908). *Calcul graphique et nomographie*. 1^{re} éd. Dion.

7. Maurice d'OCAGNE (1914a). *Calcul graphique et nomographie*. 2^e éd. Dion.

8. Maurice d'OCAGNE (1924a). *Calcul graphique et nomographie*. 3^e éd. Dion.

9. Maurice d'OCAGNE (1920). *Principes usuels de nomographie. Avec applications à divers problèmes concernant l'artillerie et l'aviation*. Gauthier-Villars.

10. Maurice d'OCAGNE (1925b). *Esquisse d'ensemble de la nomographie*. Gauthier-Villars.

11. Maurice d'OCAGNE (1885). *Coordonnées parallèles et axiales. Méthode de transformation géométrique et procédé nouveau de calcul graphique*. Gauthier-Villars.

12. Ce livre pourrait également être classé dans la catégorie précédente de nomographie, puisque ce sont les coordonnées que d'Ocagne va utiliser en nomographie tout au long de sa carrière.

13. Maurice d'OCAGNE (1896e). *Cours de géométrie descriptive et de géométrie infinitésimale*. Gauthier-Villars.

Cours de d'Ocagne donné aux élèves de l'année préparatoire de l'École des ponts et chaussées. La première partie : géométrie descriptive, comprend des notions relatives aux projections cotées, à la perspective axonométrique, à la théorie des ombres usuelles et à la perspective linéaire. La deuxième partie : géométrie infinitésimale, expose des généralités sur les courbes planes et gauches et sur les surfaces.

- *Cours de géométrie pure et appliquée de l'École polytechnique*^{14 15 16}.

Cours de d'Ocagne donné aux élèves de l'École polytechnique traitant de transformations géométriques, de perspective, de géométrie infinitésimale et de cinématique pour le tome 1. De cinématique appliquée, de stéréotomie, de statique graphique, de calcul grapho-mécanique et de nomographie pour le tome 2.

- *Notions sommaires de géométrie projective*¹⁷.

D'Ocagne réunit dans ce petit livre les notions fondamentales de géométrie projective utilisées dans son cours de géométrie de l'École polytechnique : propriétés du rapport anharmonique ; divisions et faisceaux homographiques ; génération des coniques et quadriques ; théorème de Desargues ; pôles et polaires.

- *Leçons sur la topométrie et la cubature des terrasses*^{18, 19}.

Cours de d'Ocagne donnés aux élèves de l'École des ponts et chaussées sur la topométrie : la première partie est relative à l'étude des instruments, du planimètre, de l'altimètre et de la théorie générale des raccordements. La seconde partie étudie la cubature des terrasses par des procédés mécaniques, géométriques, algébriques et nomographiques. C'est un livre qui peut être classé à la fois dans le domaine de la géométrie, de la nomographie et des instruments.

14. Maurice d'OCAGNE (1917c). *Cours de géométrie pure et appliquée de l'École polytechnique*. 1. Gauthier-Villars.

15. Maurice d'OCAGNE (1918b). *Cours de géométrie pure et appliquée de l'École polytechnique*. 2. Gauthier-Villars.

16. Maurice d'OCAGNE (1924b). *Cours de géométrie pure et appliquée de l'École polytechnique*. 3. Gauthier-Villars.

17. Maurice d'OCAGNE (1922b). *Notions sommaires de géométrie projective : à l'usage des candidats à l'École polytechnique*. Gauthier-Villars.

18. Maurice d'OCAGNE (1904b). *Leçons sur la topométrie et la cubature des terrasses. Comprenant des notions sommaires de nomographie, professées à l'École des ponts et chaussées*. Gauthier-Villars.

19. Maurice d'OCAGNE (1910d). *Leçons sur la topométrie et la cubature des terrasses*. 2^e éd. Gauthier-Villars.

Livres sur le calcul, les instruments et les machines :

- *Le calcul simplifié par les procédés mécaniques et graphiques*^{20, 21, 22}.
Classification générale des procédés de calcul : calcul mécanique, calcul graphique, calcul graphomécanique, calcul nomographique et calcul nomomécanique.
- *Les instruments de précision*²³.
Conférence faite par d'Ocagne au Conservatoire des arts et métiers. Le but de cette conférence est d'exposer le champ des instruments de précision utiles à la recherche scientifique du point de vue de la construction : les instruments de mesure de longueurs, d'angles, de temps et de masses ; les mesures physiques ; les observations et les machines à calculer.
- *Instruction sur l'usage de la règle à calcul*²⁴.
Mode d'emploi de la règle à calcul construite par la maison Tavernier-Gravet de type Mannheim (26 cm de long).
- *Vue d'ensemble sur les machines à calculer*²⁵.
Une étude détaillée du développement des machines à calculer couvrant, entre autres, les machines de Pascal, Tchebichef, Leibniz, Thomas, Bollée, Babbage et Torres.

Les livres de souvenirs :

- *Souvenirs et causeries*²⁶.
Un livre où d'Ocagne relate ses souvenirs personnels recueillis auprès de personnalités intéressantes à ses yeux (la princesse Mathilde, l'impératrice Eugénie, Pierre Loti, des mathématiciens et mathématiciennes,

20. Maurice d'OCAGNE (1894e). *Le calcul simplifié par les procédés mécaniques et graphiques. Conférences faites au Conservatoire national des arts et métiers les 26 février, 5 et 19 mars 1893*. 1^{re} éd. Gauthier-Villars.

21. Maurice d'OCAGNE (1905b). *Le calcul simplifié par les procédés mécaniques et graphiques. Histoire et description des instruments et machines à calculer, tables, abaques et nomogrammes*. 2^e éd. Gauthier-Villars.

22. Maurice d'OCAGNE (1928b). *Le calcul simplifié par les procédés mécaniques et graphiques. Esquisse générale comprenant : calcul mécanique, calcul graphique, calcul graphométrique, calcul nomographique, calcul nomomécanique*. 3^e éd. Gauthier-Villars.

23. Maurice d'OCAGNE (1904c). *Les instruments de précision en France. Conférence faite au Conservatoire des arts et métiers le 15 mars 1903*. 1^{re} éd. Gauthier-Villars.

24. Maurice d'OCAGNE (1910c). *Instruction sur l'usage de la règle à calcul*. Gauthier-Villars.

25. Maurice d'OCAGNE (1922f). *Vue d'ensemble sur les machines à calculer*. Gauthier-Villars.

26. Maurice d'OCAGNE (1928e). *Souvenirs et causeries : hors des sentiers d'Euclide*. Plon.

André-Marie Ampère) ou à partir d'impressions suggérées par des lectures ou observations personnelles sur la psychologie du savant, l'École polytechnique ou encore les calculs qui se font seuls.

— *Hommes et choses de sciences*, trois séries^{27, 28, 29}.

Trois séries où d'Ocagne s'exprime sous forme de « propos familiers » sur d'illustres noms de l'époque qu'il a pu rencontrer dans de multiples domaines scientifiques.

Livre de probabilités :

— *Notions élémentaires sur la probabilité des erreurs*³⁰.

Notions sur la probabilité des erreurs, indispensables pour toute mesure de précision : calcul de probabilités, théorie de la probabilité des erreurs et méthode des moindres carrés.

Même si le nombre de livres (28) publiés par d'Ocagne n'est pas très élevé, nous pouvons tout de même nous livrer à quelques observations. Le diagramme en bâtons 1.1 modélise le nombre de livres publiés en première, deuxième et troisième édition dans les catégories précédemment citées, tandis que les diagrammes en boîtes 1.2 montrent la répartition de ces publications dans le temps.

Nous constatons qu'il y a prédominance des livres de nomographie, doctrine qu'il a développée tout au long de sa carrière. Toutefois, le reste des domaines, excepté ses souvenirs, sont associés à la nomographie : la géométrie, et plus particulièrement les articles concernant les systèmes de coordonnées ainsi que les probabilités et la gestion des erreurs procurent des pistes pour l'aspect mathématique. Les instruments et la topométrie font figure d'applications de la nomographie.

La géométrie est le premier domaine que d'Ocagne étudie dès ses débuts scientifiques, ce qui lui permet d'entrer dans la nomographie avec des connaissances mathématiques indispensables. Parallèlement, il s'intéresse aux instruments de calcul, plus particulièrement dans les années 1904-1907. Nous observons des années fastes dans l'édition d'ouvrages géométriques et nomographiques dans la

27. Maurice d'OCAGNE (1930). *Hommes et choses de sciences*. 1^{re} série. Vuibert.

28. Maurice d'OCAGNE (1932a). *Hommes et choses de sciences*. 2^e série. Vuibert.

29. Maurice d'OCAGNE (1935b). *Hommes et choses de sciences*. 3^e série. Vuibert.

30. Maurice d'OCAGNE (1910e). *Notions élémentaires sur la probabilité des erreurs*. Gauthier-Villars.

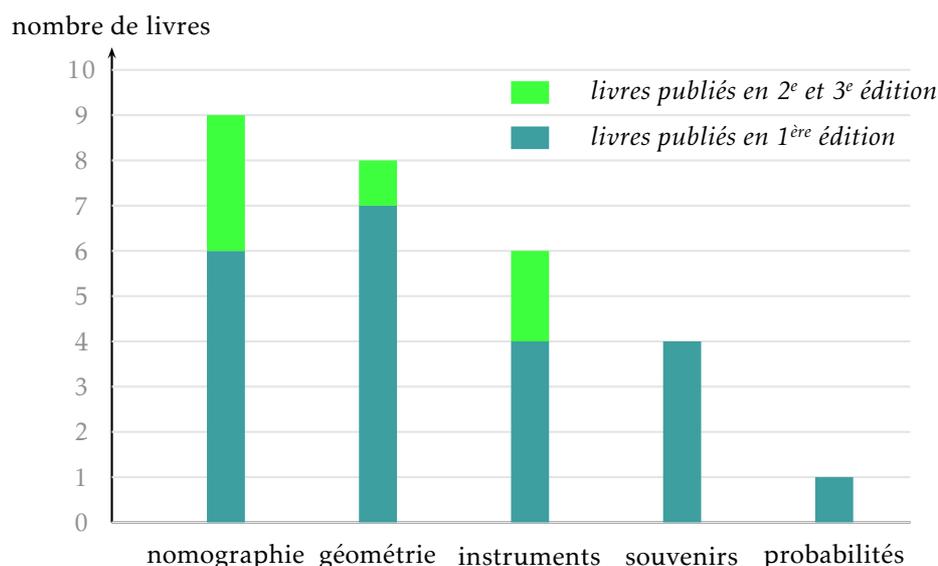


FIGURE 1.1 – Diagramme en bâtons du nombre de livres publiés par d'Ocagne en fonction du domaine

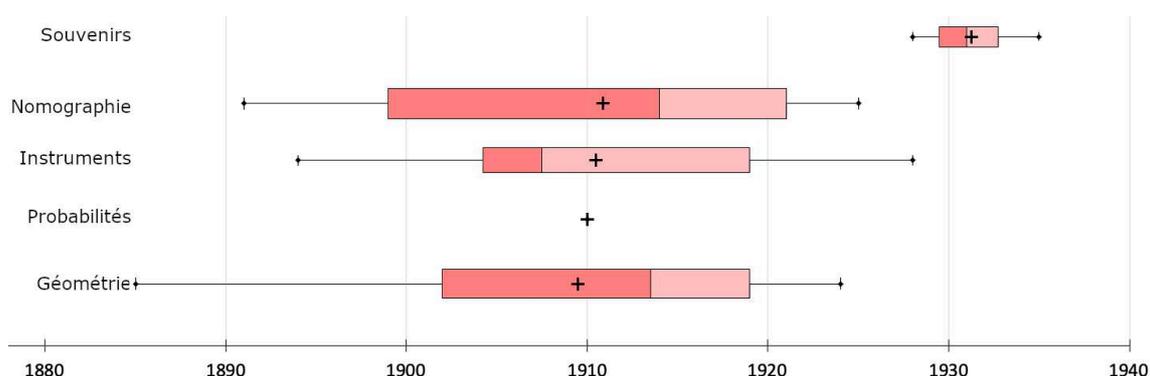


FIGURE 1.2 – Diagrammes de Tuckey des livres publiés par d'Ocagne en fonction du domaine et de la date

période 1920-1925, dont une partie sont des rééditions de « best-sellers ». Ceux-ci ont souvent été modifiés et complétés, parfois de manière forte, en fonction des avancées du moment. Son livre de probabilités fait figure d'exception dans cette bibliographie : un seul livre écrit, résultant d'une demande du ministère des Travaux publics à l'École des ponts et chaussées de consacrer quelques leçons aux principes des probabilités des erreurs utiles lors de mesures de précisions. Sur la fin de son existence, d'Ocagne s'adonne à des écrits complètement différents, mettant en forme les souvenirs qu'il aura, durant une bonne partie de sa vie, consignés dans des notes journalières de carnets personnels. Ces souvenirs

contiennent aussi des informations sur l'histoire de la nomographie.

Pour compléter cette bibliographie, je terminerai avec un ouvrage écrit post-mortem par René Dugas : *Histoire abrégée des sciences mathématiques*³¹. Dans l'introduction, Dugas explique que c'est un ouvrage sur lequel d'Ocagne a travaillé jusqu'à sa mort, ce serait semble-t-il le dernier. Dugas l'a complété puis terminé en essayant de suivre scrupuleusement la ligne générale tracée par d'Ocagne. Nous y trouvons essentiellement des notes biographiques de scientifiques, de la science hellène à la période contemporaine (environ 150).

1.2 Étude des articles publiés par d'Ocagne

J'ai recensé 456 articles écrits par d'Ocagne dans la période 1878-1938, c'est-à-dire pendant près de 60 ans. Remarquons que, pour un homme ayant vécu 76 ans, cela représente une bonne partie de sa vie ! Cette liste n'est pas exhaustive, mais elle produit un corpus qui me paraît tout de même assez significatif pour élaborer des statistiques fiables (la liste de ces articles est disponible en annexe C). L'étude est basée sur les connaissances que nous avons de d'Ocagne avant les recherches dans les archives. De manière générale, ces 456 articles représentent près de 3 000 pages, soit en moyenne 7,5 articles par an ou encore 50 pages par an pendant six décennies. En utilisant de manière quelque peu anachronique le vocabulaire actuel de la recherche, nous pouvons dire que d'Ocagne est un « publiant ».

1.2.1 Chronologie de ses publications

Cette première étude examine de manière globale l'évolution de la parution des articles de d'Ocagne en fonction des années : le diagramme en bâtons 1.3 montre la densité de leur répartition tout au long de ces soixante années. Dans le but d'affiner l'étude, nous avons représenté en figure 1.4 le nuage de « bulles » qui donne le nombre d'articles en fonction des années, la surface des bulles étant proportionnelle au nombre de pages publiées. Ce diagramme fait apparaître trois périodes plus ou moins longues : de 1878 à 1883, puis de 1884 à 1898, et enfin de 1900 à 1938.

31. Maurice d'OCAGNE (1955). *Histoire abrégée des sciences mathématiques*. Ouvrage recueilli et achevé par René Dugas. Vuibert.

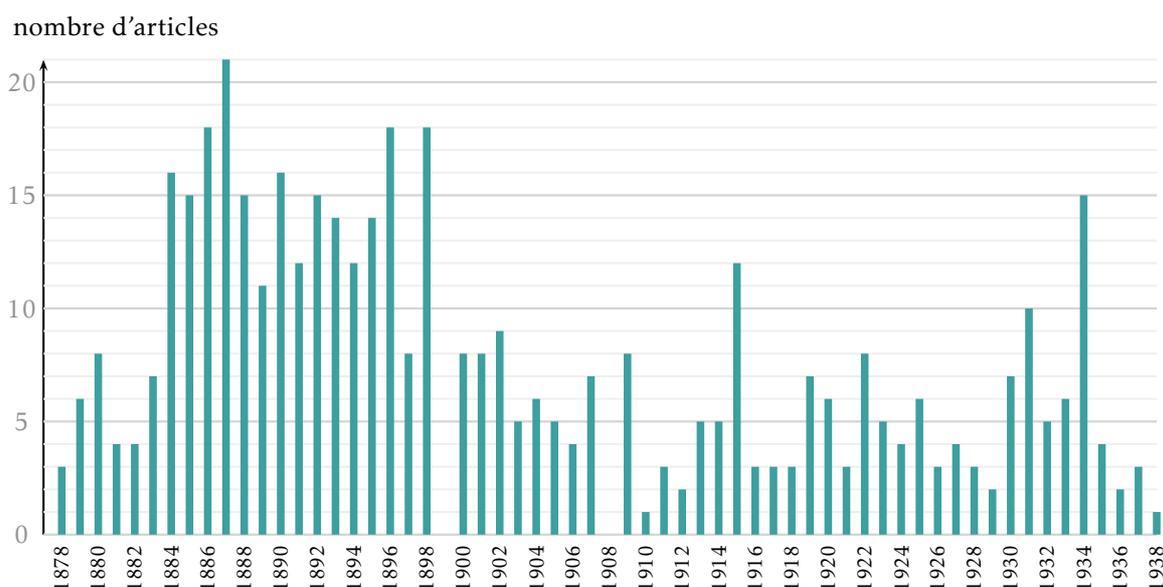


FIGURE 1.3 – Diagramme en bâtons du nombre d'articles publiés par d'Ocagne dans les journaux en fonction des années

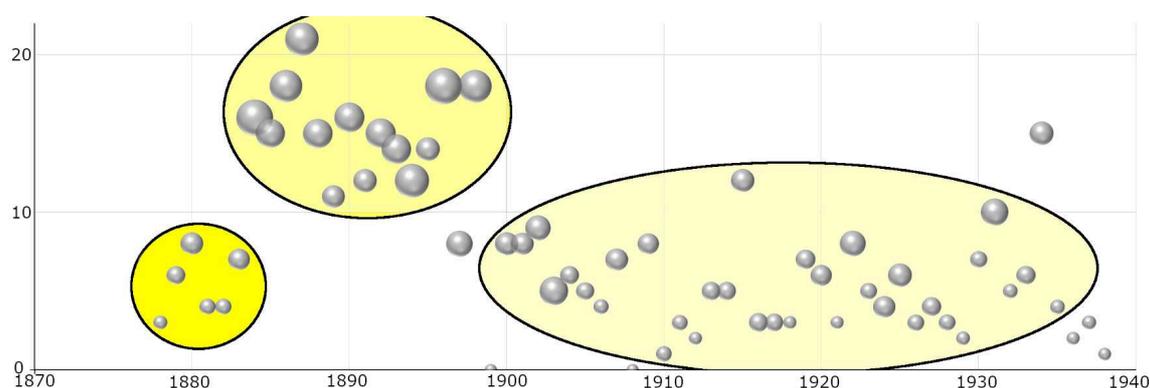


FIGURE 1.4 – Nuage de points pondérés du nombre d'articles publiés par d'Ocagne en fonction des années

Les années 1878 à 1883 correspondent à une période où d'Ocagne est successivement élève au lycée, puis à l'École polytechnique. C'est à ce moment qu'il commence à publier, dans un premier temps (1878-1880) dans le *Journal de mathématiques élémentaires* : journal en priorité à destination des élèves des classes de mathématiques élémentaires qui proposent des réponses à des questions posées. Alors qu'il est à l'École polytechnique, il fait ses débuts dans les *Nouvelles annales de mathématiques*, dont le sous-titre évocateur *Journal des candidats aux Écoles polytechniques et normales* nous en dit plus sur l'objectif de cette revue. Ses

publications dans ces journaux liés à l'enseignement des mathématiques sont assez diverses avec notamment des articles de mécanique géométrique (composition de forces, système articulé de Peaucelier, mouvement vertical d'un point...), de l'analyse (analyse combinatoire, sommation de séries, développement des logarithmes et des exponentielles), de l'algorithmique, des sujets de nature algébrique... D'Ocagne semble prendre plaisir à publier, quel que soit le thème, même si la géométrie reste tout de même le centre de sa réflexion.

Dans la seconde période, pendant les années 1884 à 1898 correspondant au moment où il commence sa carrière d'ingénieur jusqu'à la publication de son premier traité de nomographie, d'Ocagne s'affirme en tant que publiant. Il passe d'environ six articles par an à quasiment quinze articles par an, soit plus d'un article par mois. Nous notons, durant cette période, une diversification : une bonne trentaine de journaux différents figurent à son actif. La plupart sont des revues de recherche en mathématiques, des journaux de sciences plus généralistes et des journaux techniques où les mathématiques apparaissent comme outil, en plus des journaux liés à l'enseignement. Parmi les plus présents, outre les *Nouvelles annales de mathématiques* où il continue d'écrire chaque année de cette période de manière ininterrompue en moyenne trois articles par an, il commence à publier pour les *Comptes rendus de l'Académie des sciences* et le *Bulletin de la Société mathématique de France*. Le rythme est quasiment le même, à savoir de 1,5 à deux articles par an dans chacune de ces revues. Il publie également dans le *Journal de mathématiques spéciales*, dans la continuité du *Journal de mathématiques élémentaires*. Cette fois-ci ce n'est plus en tant qu'élève qu'il répond à des questions posées, mais en tant qu'auteur à part entière sur des notes et des remarques dont le contenu et la longueur sont plus conséquents. Enfin, en tant qu'ingénieur des Ponts et Chaussées, il rédige des articles pour les *Annales des ponts et chaussées*, pour beaucoup sur l'application de la nomographie aux calculs de contraintes des infrastructures. Toujours durant cette période, d'Ocagne s'exporte à l'étranger et notamment en Belgique : c'est dans les *Annales de la Société scientifique de Bruxelles* qu'il s'exprime le plus souvent et au Portugal dans le *Jornal de sciencias mathematicas e astronomicas de M. Gomes Teixeira*. Nous trouvons également des articles aux États-Unis, en Angleterre, aux Pays-Bas, en Allemagne, en Russie et en Suède.

La dernière période, de 1900 jusqu'à sa mort, est une sorte de période de routine pendant laquelle il continue à publier environ cinq articles par an. Il communique dans les journaux déjà cités, auxquels s'ajoutent principalement *L'enseigne-*

ment mathématique et la *Revue générale des sciences pures et appliquées*, essentiellement dans la période 1915-1935. Ses thèmes se diversifient encore, en particulier grâce à l'essor de la nomographie, qui lui permet de toucher à des domaines comme les sciences naturelles, l'archéologie, l'industrie ou encore l'économie. Ses recherches sont exposées dans de plus en plus de pays comme l'Italie, l'Espagne et, outre-Atlantique, l'Argentine. Il participe également aux congrès internationaux des mathématiciens pour lesquels il publie dans les *Comptes rendus*. Enfin, en tant que membre de l'Académie des sciences, ses discours sont présentés dans les *Notices publiées à part par l'Institut de France*.

1.2.2 Étude des domaines

Examinons plus précisément les domaines de publication de d'Ocagne grâce au diagramme en bâtons 1.5. Nous constatons que c'est la géométrie qui remporte la palme avec près de la moitié des articles (223), puis la nomographie (106 articles). Cependant, si nous regardons le nombre de pages publiées, la diffé-

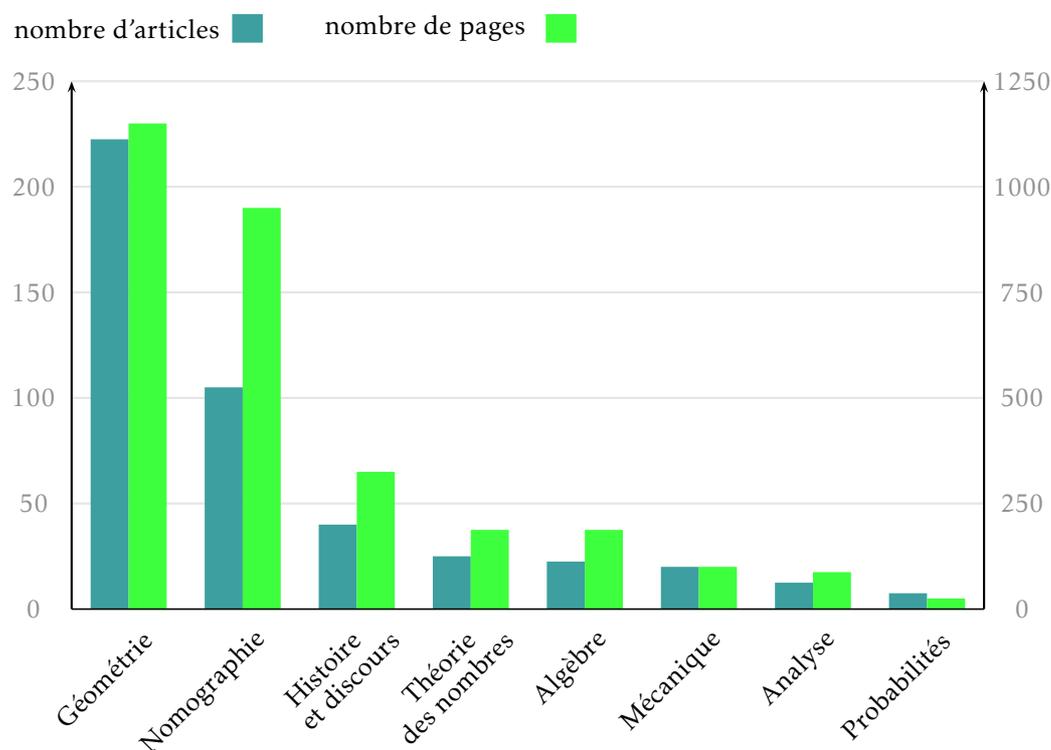


FIGURE 1.5 – Diagramme en bâtons du nombre d'articles publiés par d'Ocagne en fonction des domaines scientifiques

rence n'est pas significative puisque les articles de nomographie sont en moyenne presque deux fois plus longs que ceux de géométrie. Une raison à cela peut être due à la nouveauté de cette science : d'Ocagne doit exposer dans ses articles et dans des conférences de nomographie les fondements, des exemples d'applications, l'utilité de la discipline. De plus, en tant que « fondateur » de la nomographie, il se doit de la faire connaître à un très large public. Certains de ses articles sont donc des articles de vulgarisation, plus longs à exposer qu'un article classique de géométrie.

Outre la géométrie et la nomographie, d'Ocagne s'est essayé aux autres domaines classiques des mathématiques : l'algèbre, l'analyse, la théorie des nombres et les probabilités, mais aussi à la mécanique, avec en arrière-plan des notions de géométrie. Pour compléter cette liste, le penchant littéraire de d'Ocagne l'a poussé à écrire des discours, des articles d'histoire ou encore des discussions à propos de personnes rencontrées dans sa vie personnelle et professionnelle.

Le diagramme en boîtes 1.6 nous en dit plus sur la chronologie par domaine : nous y retrouvons ses publications précoces sur la mécanique, l'analyse, l'algèbre,

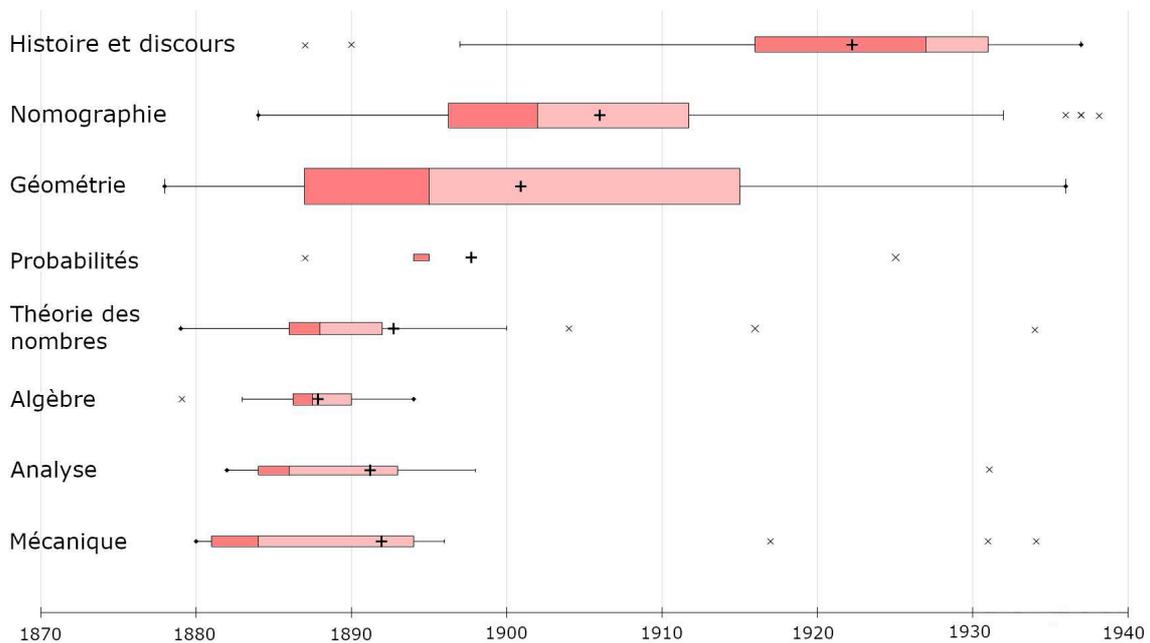


FIGURE 1.6 – Diagrammes de Tuckey des domaines de publication en fonction des années

la théorie des nombres et les probabilités à la fin du 19^e siècle principalement, avec ponctuellement des articles au 20^e siècle.

Nous nous apercevons également que la géométrie, son domaine de prédilection, est présente tout au long de sa vie, entraînant avec elle la nomographie. La moitié des articles de nomographie sont publiés entre 1896 et 1912, un quart entre 1896 et 1903. Sur la fin de sa vie, d'Ocagne s'adonne à des discours divers et à l'histoire des mathématiques et des sciences en cohérence avec, nous l'avons vu précédemment, la publication de livres de souvenirs.

1.2.3 Étude des journaux

Nous dénombrons 63 revues dans lesquelles d'Ocagne a publié, sans prétention à l'exhaustivité : s'agissant des journaux étrangers notamment, il est probable que certains d'entre eux n'aient pas été répertoriés dans les principales bases de données utilisées.

Le diagramme en bâtons 1.7 nous donne une image des vingt journaux les plus cités en terme de nombre d'articles. Nous avons indiqué à côté de chaque bâton d'effectif le nombre de pages que cela représente. Associé aux diagrammes en boîtes 1.8 modélisant l'évolution au cours du temps des neuf journaux comptant plus de quinze articles écrits par d'Ocagne, il est possible d'établir quelques faits marquants. Premièrement, d'un point de vue purement comptable, trois journaux sortent du lot : les *Nouvelles annales de mathématiques* avec 99 articles et 673 pages, les trois quarts des articles étant dévolus à la géométrie ; les *Comptes rendus de l'Académie des sciences* et ses 61 articles pour 187 pages, avec un quart d'articles de géométrie et la moitié d'articles de nomographie ; et enfin le *Bulletin de la Société mathématique de France* avec 45 articles et 309 pages, pour moitié de la géométrie. Si nous considérons maintenant l'évolution des publications, trois journaux sont prisés par d'Ocagne avec une régularité sur plus de 40 ans : les *Nouvelles annales de mathématiques*, puis les *Comptes rendus de l'Académie des sciences* et enfin les *Annales de la Société scientifique de Bruxelles*. Outre ces revues importantes, son passage dans les grandes écoles l'incita à publier des articles dans les journaux spécialisés comme le *Journal de mathématiques élémentaires*, le *Journal de mathématiques spéciales* et les *Annales des ponts et chaussées*. Enfin, nous y voyons deux journaux à publication plus tardive : *L'Enseignement mathématique*, d'Ocagne ayant commencé une carrière d'ingénieur avant de pouvoir prétendre à un poste d'enseignant ; et la *Revue générale des sciences pures et appliquées* dans laquelle il publie des articles relativement généralistes sur la géométrie, la nomographie ainsi que des discours.

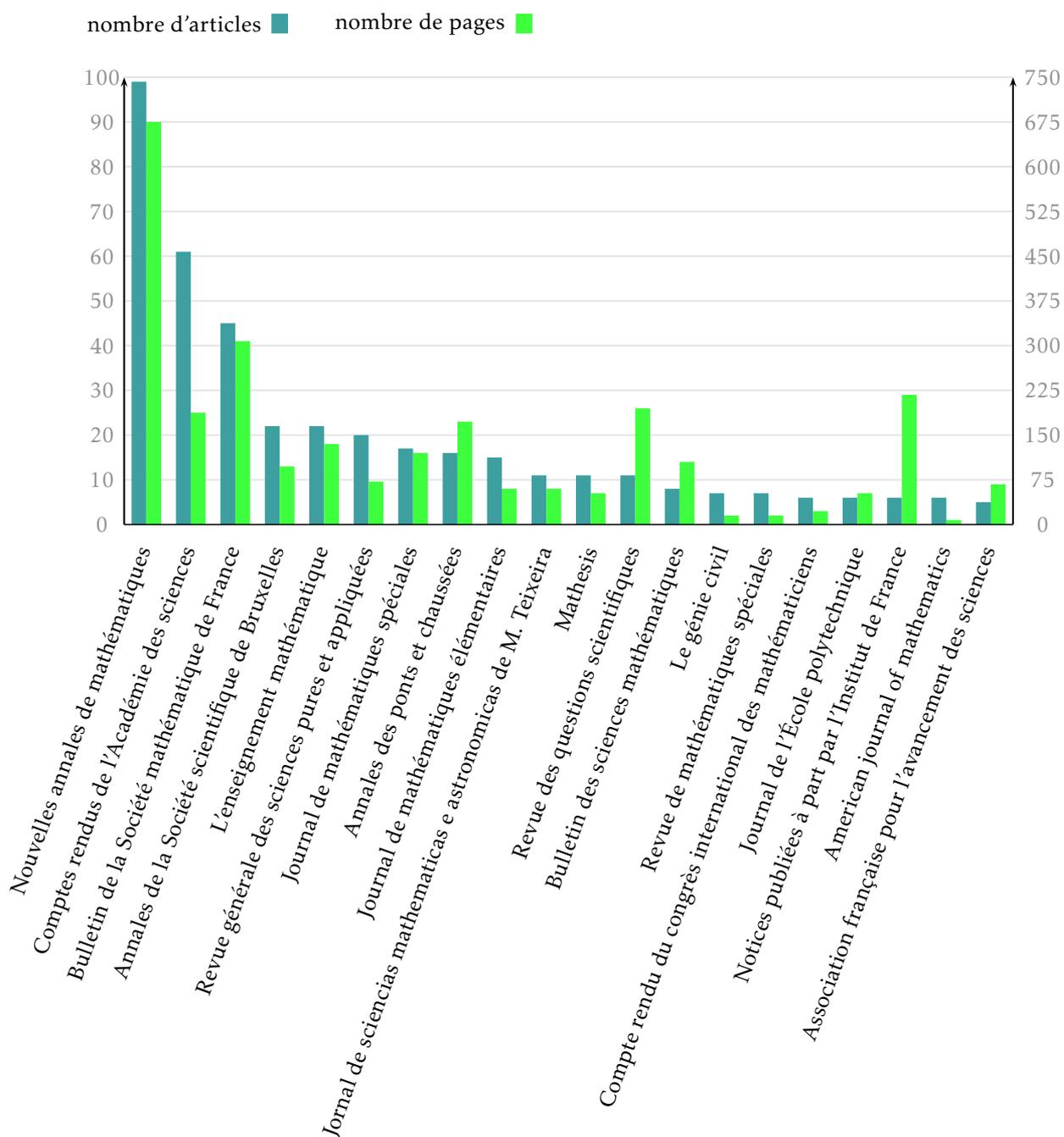
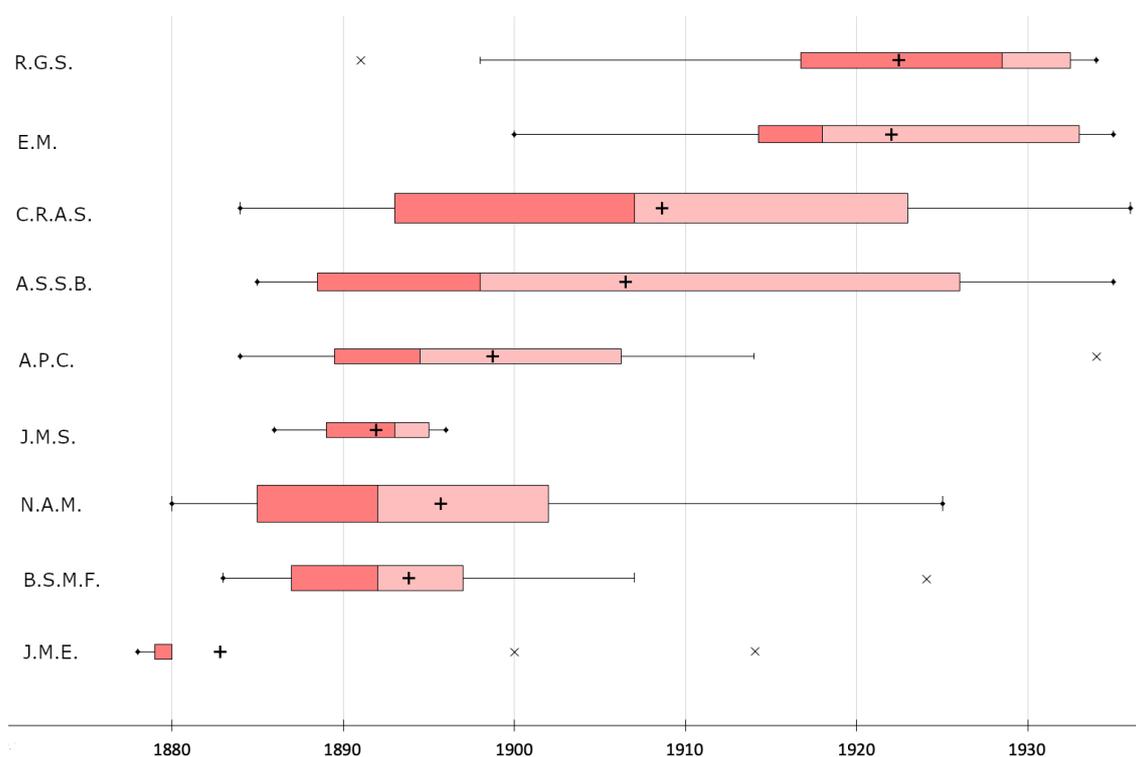


FIGURE 1.7 – Diagramme en bâtons du nombre d'articles publiés par d'Ocagne en fonction des journaux

De manière générale, la plupart des journaux dans lesquels d'Ocagne publie sont des revues à caractère scientifique, mais peu sont dédiés plus particulièrement aux mathématiques comme le *Bulletin de la Société mathématique de France*,



A.P.C. : *Annales des ponts et chaussées*

A.S.S.B. : *Annales de la Société scientifique de Bruxelles*

B.S.M.F. : *Bulletin de la Société mathématique de France*

C.R.A.S. : *Comptes rendus de l'Académie des sciences*

E.M. : *L'Enseignement mathématique*

J.M.E. : *Journal de mathématiques élémentaires*

J.M.S. : *Journal de mathématiques spéciales*

N.A.M. : *Nouvelles annales mathématiques*

R.G.S. : *Revue générale des sciences pures et appliquées*

FIGURE 1.8 – Diagrammes de Tuckey des journaux en fonction des années

les *Comptes rendus du congrès international des mathématiciens* ou l'*American Journal of Mathematics*. Nous trouvons ensuite une deuxième catégorie de journaux : ceux qui sont davantage destinés aux élèves des classes préparatoires et des grandes écoles, et qui se concentrent sur l'enseignement des mathématiques ou qui proposent des articles de vulgarisation, comme les *Nouvelles annales de mathématiques*, *L'enseignement mathématique*, le *Journal de mathématiques élémentaires* et son « successeur » le *Journal de mathématiques spéciales*, la revue belge *Mathesis* et la *Revue de mathématiques spéciales*. Nous dénombrons aussi quelques journaux techniques et d'ingénieurs : les *Annales des ponts et chaussées*, le *Génie civil* par exemple. Enfin, nous avons des journaux spécialisés dans des domaines particuliers comme *La nature*, le *Barometro economico*, le *Bulletin astronomique*...

1.2.4 Étude des pays

Nous avons déjà évoqué quelques publications de d'Ocagne à l'étranger, et pour compléter ces données, la carte 1.9 nous montre les pays dans lesquels il a œuvré. Environ un quart de ses publications sont étrangères. La Belgique arrive

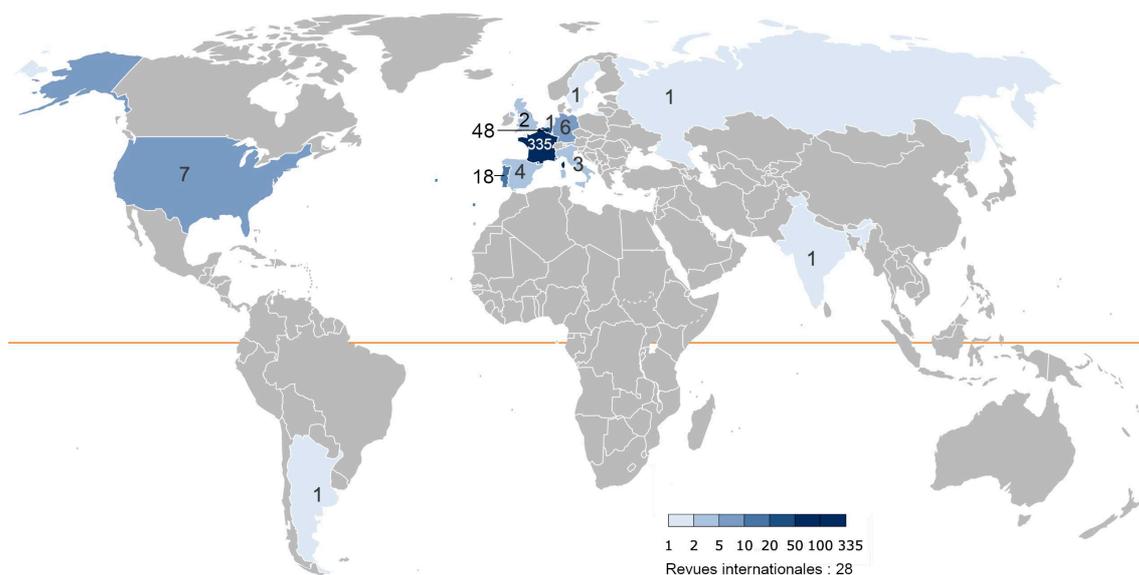


FIGURE 1.9 – Cartographie des pays dans lesquels d'Ocagne a publié des articles

naturellement en tête avec 48 articles, l'épouse de d'Ocagne y ayant des attaches familiales : il publie régulièrement dans les *Annales de la Société scientifique de Bruxelles*, mais aussi dans la revue *Mathesis*, la *Revue des questions scientifiques* ou encore dans le *Bulletin de l'Académie royale de Belgique* et celui de la *Société scientifique de Bruxelles*. Le Portugal vient en seconde position principalement grâce au *Jornal de ciencias mathematicas e astronomicas de M. Gomes Teixeira*, au *Jornal de ciencias mathematicas, physicas, e natureas da Academia real das ciencias de Lisboa* et aux *Annales scientifiques de l'École polytechnique de Porto*. Sept articles proviennent de journaux des États-Unis, six d'Allemagne, quatre d'Espagne et trois d'Italie. Pour le reste, nous dénombrons un article en Angleterre, en Argentine, en Écosse, en Inde, aux Pays-Bas, en Suisse et en Suède. À cela s'ajoutent une trentaine d'articles dans des revues internationales comme *L'enseignement mathématique*, organe officiel de la Commission internationale de l'enseignement mathématique et les *Comptes rendus du congrès international des mathématiciens*.

1.3 Conclusion

Cette rapide étude des publications de d'Ocagne nous permet de percevoir les nombreuses facettes qu'il a pu révéler en se faisant remarquer dans des domaines diversifiés des mathématiques et des mathématiques appliquées. À la lumière de sa trentaine de livres écrits et de plus de 450 publications dans les journaux, force est de constater que ce sont la géométrie et surtout la nomographie qui ont occupé une bonne partie de sa vie, même s'il semble se livrer, à la fin, à l'écriture de recueils de souvenirs.

Ses publications dans des revues pendant 60 ans révèlent une grande diversité des types de journaux, des domaines et des pays. La chronologie a mis au jour trois périodes importantes : une période de genèse mathématique alors qu'il est étudiant, où il publie essentiellement dans des journaux d'écoles. Il semble à cette époque chercher sa voie et s'essaie aux domaines classiques des mathématiques que sont l'algèbre, l'analyse, la géométrie et la théorie des nombres ainsi qu'à la mécanique. S'en suit une période très féconde dont la fin coïncide avec la publication de son premier traité de nomographie, en 1899, pendant laquelle il se fait connaître dans des journaux mathématiques, des journaux techniques et d'ingénieurs et des journaux d'enseignement. Son choix se porte davantage vers la géométrie, lui permettant de mieux appréhender la nomographie vers laquelle il semble s'orienter définitivement. Enfin une longue période s'installe jusqu'à son décès, pendant laquelle il entretient une activité régulière concernant essentiellement la nomographie et ses applications. À l'approche de sa fin de carrière, il écrit également des articles relatifs à l'histoire (de la nomographie) et des discours. Son empreinte ne s'est pas cantonnée à la France : nous avons pu observer une diffusion dans les pays d'Europe proches, mais aussi outre-Atlantique et dans les pays plus orientaux.

Toutefois, la simple étude statistique de ses publications donne une image très figée de son œuvre, ne permettant pas une compréhension fine de la circulation de sa doctrine qu'est la nomographie. C'est pourquoi, après ce panorama préliminaire, nous allons maintenant nous concentrer sur ses archives générales, puis sur le domaine particulier de la nomographie grâce aux archives retrouvées à l'École nationale des ponts et chaussées, afin d'affiner notre étude.

Chapitre 2

De nouvelles sources

Sommaire du présent chapitre

2.1 Les fonds d'archives déposés par d'Ocagne	32
2.2 Le cas particulier des archives nomographiques	33
2.3 Mise en place de l'exploitation de ces données	36
2.4 Étude de la correspondance reçue	43
2.4.1 Étude chronologique	44
2.4.2 Étude du contenu des lettres	46
2.4.3 Étude de la provenance des lettres	48
2.5 Conclusion	52

D'Ocagne a fait cinq principaux dons de ses archives dans les écoles et services qu'il a pu fréquenter. Nous étudierons ici plus particulièrement les archives nomographiques conservées à l'École des ponts et chaussées.

Dans un premier temps, nous décrirons les archives qu'il a déposées puis, nous nous intéresserons au cas particulier des archives nomographiques. Celles-ci sont composées de multiples livres, de centaines d'articles et de correspondances, d'abaques de grande taille et d'instruments de calcul. Nous examinerons la manière dont elles ont été retrouvées et nous ferons part de la méthodologie utilisée pour la mise en place de leur exploitation. L'étude des articles de nomographie de ce corpus fera l'objet de chapitres spécifiques de la thèse, alors que la correspondance de d'Ocagne sera analysée rapidement suivant trois axes : la chronologie, le type de contenu des lettres et leur provenance. L'objectif de cette étude est de

créer des bases de données suffisamment complètes pour être exploitées facilement, et de pouvoir dégager des pistes de recherche qui seront ensuite développées dans le corps principal de la thèse.

2.1 Les fonds d'archives déposés par d'Ocagne

Avant la fin de sa vie professionnelle, d'Ocagne a déposé en divers lieux les documents qu'il avait réunis tout au long de sa carrière. Dans la *Revue générale des sciences pures et appliquées* du 30 novembre 1928¹, il fait état des dons de ses dossiers à diverses bibliothèques publiques, toujours en rapport avec l'établissement qui bénéficie du don :

- à l'**Institut** (actuel Institut de France, Paris 6^e), il dépose plus de 3 000 mémoires ou notes de mathématiques, reliés en 53 volumes classés par ordre alphabétique de noms d'auteurs, ainsi que quatre volumes reliés de ses souvenirs comprenant plus de 1 200 pages à n'ouvrir qu'après sa mort ;
- à l'**École polytechnique** (actuellement à Palaiseau) où il a étudié, puis a été enseignant, on peut trouver ses cours dispensés dans cette école ainsi que les correspondances en rapport avec l'École polytechnique ;
- à l'**École des ponts et chaussées** (actuellement École des Ponts ParisTech, Marne-la-Vallée), on trouve des articles, des livres, des nomogrammes de grande taille, des correspondances en lien avec la nomographie. Ce sera notre principale base dont nous parlerons de manière plus précise dans la section suivante ;
- au **Conservatoire des arts et métiers** (actuel Conservatoire national des arts et métiers, Paris 6^e), il remet une volumineuse collection de documents relatifs aux machines à calculer ;
- enfin, au **Service géographique de l'Armée** (actuel Institut géographique national, Saint-Mandé), il lègue ses archives du bureau nomographique qu'il a dirigé pendant la guerre.

De nos jours, les trois premiers fonds d'archives sont exploitables, mais les deux derniers n'ont pas encore été retrouvés. Concernant le fonds du Service géographique de l'Armée (SGA), il y a plusieurs pistes plausibles : le décret du 1^{er} septembre 1939 relatif à la réorganisation du SGA et la loi du 8 décembre 1939

1. Maurice d'OCAGNE (1928c). « Les archives nomographiques de l'École des Ponts et Chaussées ». *Revue générale des sciences pures et appliquées*. 39, p. 625-626.

stipulent que ce service, qui faisait partie du ministère de la Guerre, a été supprimé le 1er juillet 1940². À cette même date, il est créé au ministère des Travaux publics un Institut géographique national (IGN), dont le rôle est d'exécuter dans le domaine géodésique, topographique et cartographique tous les travaux d'intérêt général. Le centre de documentation scientifique de l'actuel IGN étant situé à Champs-sur-Marne, les archives de d'Ocagne y sont peut-être entreposées? Il est également possible que ces archives soient visibles au château de Vincennes, au Service historique de la Défense (SHD). Une autre piste à exploiter est la possible appartenance de ce fonds au « fonds de Moscou » : un très important lot d'archives saisi par l'armée allemande en 1940, transporté dans les territoires du Reich afin d'y être exploité, puis récupéré par l'Armée rouge après la capitulation du régime nazi. Conservé pendant cinquante ans aux Archives spéciales centrales de l'État de l'URSS à Moscou, il a été progressivement restitué à la France à la fin du siècle dernier après la chute du bloc soviétique³.

2.2 Le cas particulier des archives nomographiques

D'Ocagne semblait persuadé qu'un jour, des personnes s'intéresseraient à son travail, et il a fait son maximum afin de simplifier d'éventuelles recherches. Le 24 mars 1927, au moment de prendre sa retraite, il fait don à la bibliothèque de l'École des ponts et chaussées, de toute sa collection d'ouvrages, de brochures, de dossiers et graphiques ainsi que de la volumineuse correspondance qui lui a été adressée au sujet de la nomographie (voir fig. 2.1)⁴. Dans son article publié dans la *Revue générales des sciences pures et appliquées*⁵, il expose le contenu de son dépôt :

« La partie réservée à la bibliothèque de l'École des Ponts et Chaussées, où elle forme maintenant un fonds spécial (tenu à la disposition des travailleurs autorisés à fréquenter cette bibliothèque, mais dont nulle pièce ne doit, sous aucun prétexte, sortir, même momentanément, de la bibliothèque), constitue un dépôt d'archives nomographiques comprenant :

2. Albert LEBRUN (27 juin 1940). « Décret portant suppression du service géographique de l'armée et création de l'Institut Géographique National ». *République française*.

3. Sophie COEURÉ (2013). *La mémoire spoliée : les archives des Français, butin de guerre nazi puis soviétique, de 1940 à nos jours*. Nouvelle édition revue et actualisée. Payot et Rivages.

4. Maurice d'OCAGNE (24 mars 1927b). *Lettre d'abandon du fonds d'archives concernant la nomographie de Maurice d'Ocagne à l'École des ponts et chaussées*. Une lettre.

5. Maurice d'OCAGNE 1928c.

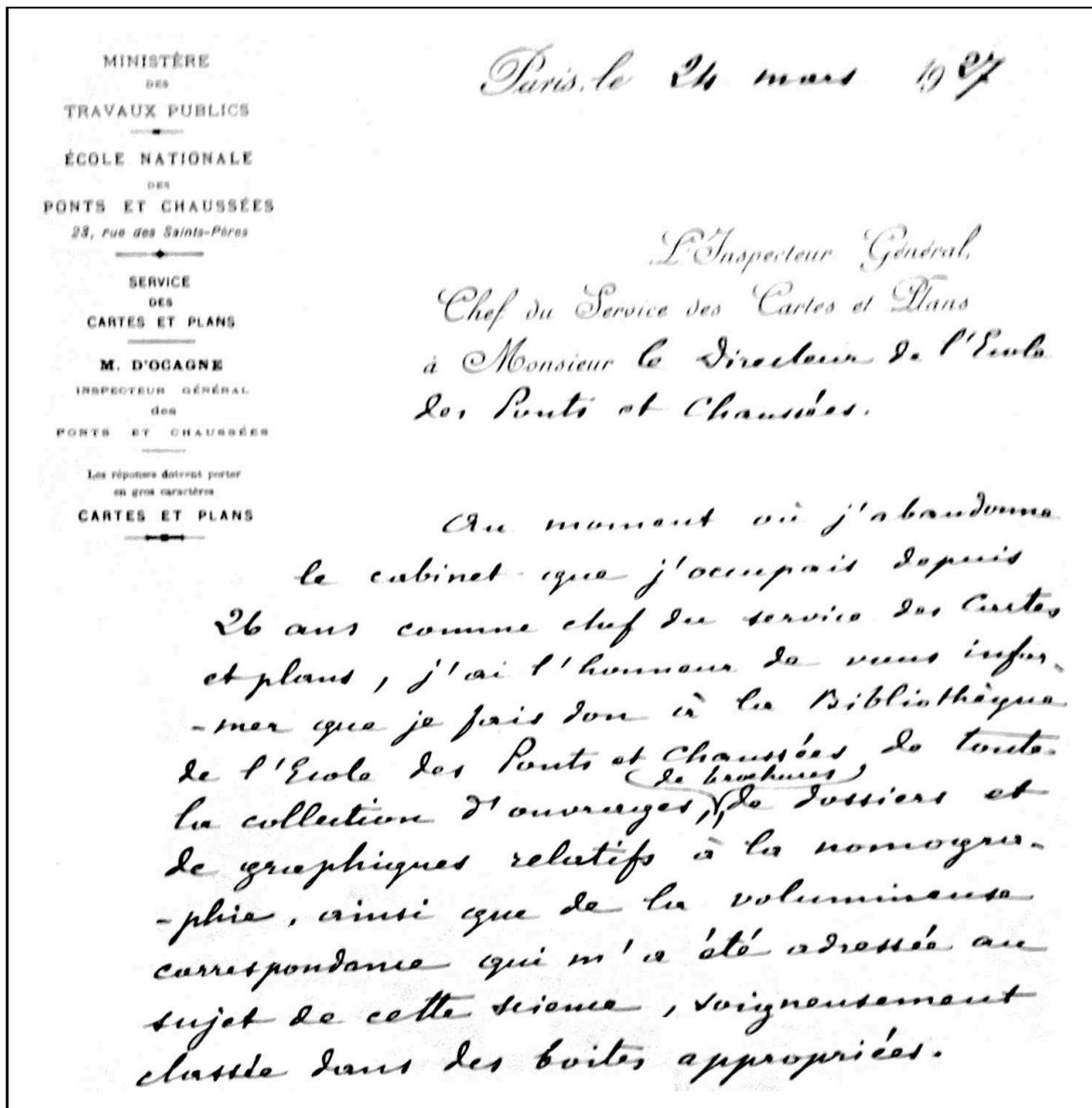


FIGURE 2.1 – Lettre d'abandon de d'Ocagne de ses archives nomographiques (1927). Source : ENPC

1. tous les ouvrages relatifs à la nomographie qui m'ont été offerts par leurs auteurs;
2. toutes les brochures (généralement tirées à part de divers périodiques), provenant également de dons de leurs auteurs et réparties en 16 boîtes à l'intérieur desquelles elles sont classées par ordre alphabétique de noms d'auteurs;
3. toutes les lettres que j'ai reçues au sujet de la nomographie, classées de

même en 9 boîtes (dont 2 contenant toute la correspondance reçue entre mon premier livre sur la nomographie (1891) et mon grand traité de cette science (1899), et 7 où est réunie toute la correspondance reçue depuis la publication de ce grand traité);

4. *une collection de nomogrammes séparés, de grand format.*

Il convient de noter que, parmi les nomogrammes de cette dernière collection, il en est qui, bien qu'ayant effectivement et même beaucoup servi, sont encore inédits, tels que ceux, en grand nombre, qui, pendant la guerre ont été utilisés pour les besoins de l'artillerie et de l'aviation, ceux aussi (construits par M. l'ingénieur Potin) qui ont permis d'effectuer, avec le maximum de célérité, les calculs d'autofrettage des pièces d'artillerie lourde fabriquées, au cours de la guerre, par les établissements Schneider, etc. . . »

Pendant de nombreuses années, ce fonds n'avait pas été répertorié. D'Ocagne demande dans un premier temps que toute cette collection reste dans le cabinet qu'il a occupé pendant 26 ans comme chef du service des cartes et plans afin qu'il puisse au besoin la consulter. Selon Anne Lacourt ⁶, archiviste à l'ENPC, et Guillaume Saquet ⁷, documentaliste, certains ouvrages ont dû être entrés dans les collections de la bibliothèque. Mais comme tant d'autres fonds privés arrivés au 20^e siècle, et en l'absence de service d'archives à l'École, ces documents sont restés dans des cartons pendant plusieurs décennies. Bien qu'identifiés à Paris dans les anciens locaux de l'ENPC, rue des Saint-Pères, ils n'avaient jamais été catalogués. Il est probable que les bibliothécaires et magasiniers de l'époque connaissaient l'existence de ce fonds et savaient le retrouver, mais avant 1994 il n'y avait pas d'archiviste. Lorsque Mme Lacourt arrive à l'ENPC en 1995 pour créer le service d'archives, elle a pour mission de s'occuper seulement des fonds d'archives d'origine publique et de laisser de côté les fonds privés qui ont donc déménagé tels quels à Champs-sur-Marne. Ce fonds s'est alors retrouvé dans un magasin de conservation, en attente d'être traité ou d'avoir des demandes pour le faire passer en tête. Se rendant compte que, bien que peu connus à l'extérieur, il y avait tout de même des demandes de la part de chercheurs sur ces fonds privés, elle établit un état en 2000 en essayant de traiter les fonds pour lesquels elle reçoit des chercheurs, au cas par cas. C'est à cette époque que Konstantinos Chat-

6. Anne Lacourt est, en 2018, chargée de mission Archives, responsable des collections d'objets et mobilier et chargée de la conservation des collections à l'ENPC.

7. Guillaume Saquet est, en 2018, documentaliste spécialiste du fonds Ancien, archives et photothèque à l'ENPC.

zis, chercheur à l'ENPC, fait appel, sur la demande de Dominique Tournès, à la bibliothèque de l'École. À partir de là, M. Saquet commence à rechercher tous les éléments du fonds pour les rassembler parce qu'un ancien collègue en avait modifié la configuration en déplaçant les boîtes dans un ordre qui ne tenait qu'à lui, et en avait retiré des éléments, notamment des imprimés, pour les intégrer à la bibliothèque. Heureusement, d'Ocagne avait bien identifié ses boîtes, et M. Tournès a ainsi pu les reclasser. Mme Lacourt a fait récemment (en 2018) restaurer les grandes planches qui peuvent désormais être consultées, même si certaines sont dans un état très moyen. Il est également prévu de mettre le descriptif du fonds en ligne et de le valoriser dans une exposition virtuelle sur la guerre.

2.3 Mise en place de l'exploitation de ces données

C'est en mars 2015 que commence mon exploitation des archives nomographiques. Treize grosses boîtes (voir fig. 2.2) attendent d'être décortiquées. M. Tournès les a utilisées afin d'y classer les boîtes d'origine de d'Ocagne (voir fig. 2.3) qui témoignent, elles, d'un certain vécu !



FIGURE 2.2 – Boîtes actuelles des archives de d'Ocagne à l'ENPC (2015)

D'Ocagne était très méthodique, et classait ses différents documents par type



FIGURE 2.3 – Petites boîtes d'origine dans lesquelles d'Ocagne a pris soin de déposer ses tirés à part et ses correspondances (2015)

et par ordre alphabétique, simplifiant ainsi les investigations des futurs chercheurs. Sur les boîtes de la figure 2.3, nous pouvons voir les lettres C.N. et D.N. signifiant probablement « correspondances nomographiques » et « dépôts nomographiques », suivies éventuellement d'un numéro de boîte, du nom « d'Ocagne », et enfin du contenu de la boîte : règles à calcul, nomogrammes à alignement, boîte I, II ... correspondance nomographique I, II...

Un petit inventaire permet de déterminer le contenu de ces treize boîtes (tab. 2.1) : pour les besoins de ma base de données, j'ai nommé les petites boîtes selon la nomenclature « Bnp » où n est le numéro de la grosse boîte les contenant et p le numéro de la petite boîte compris entre 1 et 4. Les colonnes « Étiquette » et « Nom » sont les noms portés par d'Ocagne sur les boîtes, sauf pour les boîtes 7 à 13 qui contiennent uniquement des documents sans petites boîtes, dans ce cas les noms sont en italique.

Outre ces documents, d'Ocagne a également laissé un certain nombre d'objets et d'outils mathématiques :

- un abaque de tir allemand (documentation reçue d'Allemagne le 12 octobre 1915);
- des réglottes népériennes d'Henri Genaille et Edouard Lucas : calculateurs ayant pour but de simplifier l'étude et de faciliter la pratique des opérations de l'arithmétique, inventés par Henri Genaille, ingénieur aux che-

Boîte	Étiquette	Nom
1	B11 1) C.N. (I) d'Ocagne	A - J Correspondances nomographiques I
	B12 2) C.N. (I) d'Ocagne	K - Z Correspondances nomographiques II
	B13 2) C.N. (II) d'Ocagne	A - D Correspondances nomographiques I
	B14 3) C.N. (II) d'Ocagne	E - G Correspondances nomographiques II
2	B21 4) C.N. (II) d'Ocagne	H - Low Correspondances nomographiques III
	B22 5) C.N. (II) d'Ocagne	Lu - P Correspondances nomographiques IV
	B23	Q - Ri Correspondances nomographiques V
	B24	Ro - Z Correspondances nomographiques VI
3	B31 1) C.N. (II) d'Ocagne	V Correspondances nomographiques Boulad
	B32 C.N. d'Ocagne	VI Correspondances nomographiques Boulad
	B33	Nomogrammes à alignement (d'Ocagne) I
	B34 D.N. d'Ocagne	Nomogrammes à alignement (d'Ocagne) II
4	B41 D.N. d'Ocagne	Nomogrammes à alignement (auteurs divers) I
	B42 D.N. d'Ocagne	Nomogrammes à alignement (divers) II
	B42 D.N. d'Ocagne	Abaques divers A - L
	B44 D.N. d'Ocagne	Abaques divers M - Z
5	B51 D.N. d'Ocagne	M - Per Nomogrammes à alignement (divers) III
	B52 D.N. d'Ocagne	Pes - Pzo Nomogrammes à alignement (divers) IV
	B53	Q - W Nomogrammes à alignement V
	B54 D.N. d'Ocagne	Règles à calcul
6	B61 C.N. d'Ocagne	Archives du bureau d'études nomographiques <i>Documents et articles sur les abaqués, la nomographie</i>
7		<i>Abaques utilisés dans le génie civil, les finances. . .</i>
8		<i>Abaques originaux et calculs</i>
9		<i>Appareils d'intégration, machines mécaniques</i>
10		<i>Machines à calculer</i>
11		<i>Artillerie balistique</i>
12		<i>Machines à calculer, planches</i>
13		<i>Génie civil, électricité, bâtiment</i>

TABLEAU 2.1 – Inventaire des boîtes d'archives nomographiques de l'ENPC (2015)

- des réglottes multiplicatrices : appareils à calculs exacts et instantanés pour simplifier la multiplication et la division ;
- des réglottes financières : appareils à calculs exacts et instantanés pour simplifier les calculs financiers et commerciaux ;

- des réglettes multisectrices : appareils à calculs exacts et instantanés pour simplifier la division.

Enfin, un inventaire a été fait par les archivistes de l'ENPC des planches avant leur restauration en 2016 (voir tab. 2.2) ainsi que des dix-sept ouvrages reçus par d'Ocagne. Notons que ce dernier corpus est très diversifié avec des domaines pointus tels que la stéréotopographie, le calcul numérique, l'aéronautique, l'économie et les statistiques, l'électricité, la géométrie des Alpes françaises, le tracé de routes, l'intégration graphique, le calcul des systèmes hyperstatiques, en plus de quelques livres sur la nomographie.

Pour l'objet de cette thèse, j'ai eu accès à tout le fonds d'Ocagne, mais je me suis concentrée uniquement sur les articles et correspondances concernant la nomographie en laissant de côté, pour l'instant, les boîtes 9, 10 et 12 relatives aux machines à calculer ainsi que la collection de livres. Devant l'ampleur de ces documents (plus de 500 articles numérisés, soit environ 7 000 pages et plus de 1 100 lettres, soit environ 3 200 pages), un travail de tri était indispensable afin de gagner du temps par la suite et d'avoir une vision globale des archives. Chaque article et chaque lettre a donc été lu rapidement puis enregistré dans deux bases de données principales nommées « Articles de l'ENPC » et « Correspondances de l'ENPC ». Certains articles ne rentrant pas dans la première catégorie ont été classés dans des bases annexes, comme les articles sur les instruments par exemple. La base de données des articles comporte 22 champs (voir un exemple fig. 2.4) : la référence de l'article dans ma base de données, le titre en français, le titre original (pour les articles écrits en langue étrangère), l'année de publication, le nom de l'auteur, le thème, le type de document, l'éditeur, la revue (et éventuellement le numéro, le tome, le volume, l'année...), la langue dans laquelle l'article est écrit, le pays d'édition, la date exacte, les noms importants cités dans l'article, quelques mots-clés, le nombre de pages de l'article, les numéros des pages, l'appartenance au fonds d'Ocagne, le numéro de la boîte dans laquelle nous pouvons retrouver le document, l'image de la première page de l'article, la date de création de la fiche, le lien éventuel sur Internet, si je le considère comme un favori, et un cadre de remarques dans lequel peuvent figurer le sommaire, quelques points importants ou toute autre information qui me semblait éclairante sur l'article. La base des correspondances en comporte 15 : la référence, le titre, l'année d'envoi, l'auteur, le destinataire, le thème, la section ou le service à l'origine de la lettre, la langue, le pays, la ou les dates exactes, le nombre de lettres (certaines lettres de même auteur et/ou de même sujet ont été regroupées par année), le nombre de pages

Titre	Présentation
Astronomie, navigation	chemise marron
Nomogrammes de M. Esnouf et du général Jacob	chemise marron
Formules Charbonnier-Sugot, nomogrammes Bartorewsky-Janet	chemise marron
Nomogramme de l'équation $z^3 + nz^2 + pz + q = 0$ par M. d'Ocagne	chemise kraft
Nomogrammes d'Ocagne dont les nomogrammes des terrassements des chemins de fer à voie étroite de Mostaganem (Canfourier), les nomogrammes du canon de 14 cm marine modèle 1910, le nomogramme des vitesses des navires	chemise marron
Divers nomogrammes de la section technique de l'aéronautique	enveloppe marron
Formules Gossot Liouville type 1918	2 feuilles bleues
Balistique	chemise marron
Nomogrammes pour l'aviation	chemise liens roses
Canon de 75 modèle 1897. Tables graphiques de correction de tir	classeur violet
Canon de 155 long modèle 1877 et modèle 1914 Schneider. Tables graphiques et correction de tir + planche isolée	classeur papier d'Annonay vert
Cartes de France (Tours, Angers, Alençon, Caen, Chartres, Rouen) et cartes d'Europe centrale (Grèce, Belgrade, etc.)	
M. le commandant de l'escadrille (...) de la part du commandant Bertin	enveloppe carrée
Nomogramme de tir Goybet-d'Ocagne 1916	chemise
Obus D charge BM9	petit dossier
Nomogramme Jacquemetton pour le tir des mitrailleuses	enveloppe
Papiers quadrillés et papier logarithmique 25 ^e leçon	enveloppe, chemise
Papiers personnels : Neptune français (1er volume) + liste complète des nomogrammes à points alignés publiés ou en cours de publication + 1 ^{er} concours de machines à calculer Jury 1921 + 3 affiches Université de Paris – Faculté des sciences : cours libre de calcul graphique et nomographie + cours d'Ocagne	feuille + feuille + feuille + affiches + revers cartonné de chemise
Nomogramme d'Ocagne contenant les bons à tirer des 01.05, 11-13.05 et 23.05.1917	chemise marron déchirée
Trois documents isolés : Hafen Dortmund (plan en couleur) + Hafen Emden (plan en couleur sur onglet) + croquis d'architecture (noir et blanc). Filature de Windisch (Suisse)	3 planches

TABLEAU 2.2 – Inventaire des planches avant leur restauration (2016)

que cela représente, l'appartenance au fonds d'Ocagne, le numéro de la boîte, la date de création de la fiche, si je le considère comme un favori et les remarques. La liste des articles et des correspondances est disponible en annexe B. Si la bi-

R088B41
Accès à l'article

Titre

Titre original

Année

Auteur

Thème

Type

Éditeur

Revue

Langue

Pays

Date

Noms cités

Mots-clé

Nombre de pages

Pages de ... à ...

Fonds d'Ocagne Oui

Boîte

Couverture



Créé le

Déjà numérisé ? Oui

Favoris Oui

Plusieurs abaqués de Morel (Suisse) décortiqués, étapes :

Première partie :

- 1) Quelques explications sur la nomographie
- 2) Échelles logarithmiques

Deuxième partie :

- 1) Abaque pour le calcul des colonnes
- 2) Abaque pour poutres métalliques fortement chargées
- 3) Abaque de l'écoulement des eaux en canaux découverts
- 4) Abaqués à échelles parallèles générales

FIGURE 2.4 – Un exemple d'entrée de la base des articles de l'ENPC

biographie des articles s'affiche de manière relativement conventionnelle, celle de la correspondance mérite une petite explication : les entrées apparaissent avec le nom de l'auteur, puis la date entre parenthèses. Ensuite, j'ai choisi un titre pour chaque entrée, correspondant au contenu de la ou des lettres. Enfin, j'ai indiqué le nombre de lettres que comporte l'entrée : j'ai en effet regroupé certaines lettres dont le sujet était proche, et lorsque la correspondance était dense, j'ai regroupé

les lettres par année.

À la suite de ces enregistrements, deux sous-bases m'ont paru importantes à créer : celle des auteurs (plus de 100) et celle des journaux (environ 150).

La moitié des articles du fonds sont dédiés au calcul graphique et à la nomographie, ce sont des articles mathématiques qui expliquent les fondements de la nomographie, la manière de créer des nomogrammes, le lien avec la géométrie... Un tiers est dédié plus particulièrement à la nomographie et à ses applications, le reste des articles parle de l'histoire de la nomographie, de l'enseignement et des instruments de calcul tels que les règles et disques à calcul. Cela concerne 32 pays et 18 langues. Ces articles seront utilisés tout au long de la thèse, mais une étude plus précise de ce corpus sera faite dans le chapitre 4 : utilisation de la nomographie entre le 19^e et le 20^e siècle, et le chapitre 5 : la circulation de la nomographie dans les journaux.

Parallèlement au fonds nomographique de l'ENPC, d'autres archives intéressantes ont été utiles afin de mieux connaître la vie de d'Ocagne. En effet, cela paraissait indispensable, pour analyser l'évolution de ses publications, de faire le lien avec des lieux, des personnes rencontrées, d'essayer de comprendre la manière dont il a mené ses recherches... Les archives qui ont été exploitées pour l'élaboration de sa biographie (chapitres 6 et 7), sont :

- le dossier militaire de d'Ocagne (53 documents), comportant ses notes et classements à l'École polytechnique, les comptes rendus de son travail en tant qu'élève ingénieur à l'École des ponts et chaussées, ses notes signalétiques de service dans l'administration, ses promotions et demandes de congé, divers documents de bibliographie personnels... Ce dossier peut être consulté aux Archives nationales ;
- ses souvenirs en quatre tomes composés de huit livres et 1200 pages, non publiés, mais légués à l'Institut de France et ouverts uniquement après le décès de d'Ocagne conformément à sa demande. Dans le premier tome⁸, il évoque ses souvenirs de famille et de jeunesse (livres 1 et 2) : ses origines plus ou moins lointaines, des histoires de famille, son enfance, la période de la guerre de 1870-1871, ses vacances, sa vie en tant qu'écolier puis comme étudiant à l'École polytechnique et élève ingénieur à l'École des ponts et chaussées. Dans le tome 2⁹, il expose ses années passées en

8. Maurice d'OCAGNE (1935c). « Mes souvenirs, livre I : Souvenirs de famille et livre II : Souvenirs de jeunesse ». T. 1.

9. Maurice d'OCAGNE (1935e). « Mes souvenirs, livre III : Province et livre IV : Paris ». T. 2.

province successivement à Rochefort, Cherbourg et Pontoise (livre III) puis les souvenirs de sa vie parisienne, à côtoyer des familles importantes de la scène politique comme la famille royale, la famille Bonaparte, ou encore la princesse Mathilde. Il relate également ses sorties dans le monde des lettres, des arts et des salons (livre IV). Le troisième tome¹⁰ est dédié à ses souvenirs d'avant-guerre, avec de nombreux voyages à l'étranger (livre V) et des chroniques de guerre au front ou à l'arrière (livre VI). Le dernier tome¹¹ parle de l'après-guerre et de ses expéditions à travers la France (livre VII), puis de ses souvenirs mathématiques de ses débuts à la fin de sa carrière où il décrit nombre de scientifiques qu'il a pu fréquenter.

2.4 Étude de la correspondance reçue

La correspondance nomographique concerne les boîtes 1 et 2 en entier, ainsi qu'une partie des boîtes 3 et 6. Cette section en fait une succincte étude statistique, mais leur contenu sera exploité tout au long de la thèse afin d'illustrer ou de clarifier certains propos. La première remarque que nous pouvons faire, comme souvent pour les correspondances, est que nous n'avons, sauf exception, que les lettres reçues par d'Ocagne. Certaines sont des lettres simples, par exemple des questions posées, des demandes d'abaques, des remerciements, des propositions... qui nous permettent de comprendre directement le propos sans toutefois avoir la réponse de d'Ocagne. D'autres sont des réponses faites à d'Ocagne pour lesquelles nous n'avons pas la demande exacte mais dont le contenu nous éclaire suffisamment. Nous avons également des échanges intéressants de plusieurs lettres relevant du même thème. Enfin, nous disposons de quelques lettres de d'Ocagne : lorsque c'est le cas, c'est généralement parce qu'il a fait un brouillon, ou qu'il ne l'a pas envoyé tel quel car il comportait des ratures. Ces lettres sont la plupart du temps des réponses où il apparaît « agacé » (voir par exemple fig. 2.5¹²) de propos tenus par des collègues à son égard.

10. Maurice d'OCAGNE (1935f). « Mes souvenirs, livre V : Souvenirs de voyages d'avant-guerre et livre VI : Souvenirs des années de la guerre ». T. 3.

11. Maurice d'OCAGNE (1935g). « Mes souvenirs, livre VII : Après-guerre et livre VIII : Vie scientifique ». T. 4.

12. Maurice d'OCAGNE (24 sept. 1907b). *Lettre de d'Ocagne en réponse à Clark*. Une lettre.

Cher Monsieur Clark,
 Je reçois à l'instant votre
 lettre^s du 19 et la note qui y
 était jointe. ~~Les distinctions~~
~~que vous y établissez me semblent~~
~~un peu subtiles, toutefois je~~
~~n'aurais pas demandé mieux~~
~~que d'obtenir ce compte sans~~
~~monner aucun paiement pour~~
 mon manuel capable de l'op-
~~ération~~ ~~graphique~~ ~~de~~ ~~la~~ ~~nomographie~~
~~de~~ ~~la~~ ~~nomographie~~ dont il bon à tirer
 est déjà donné depuis un
 quinzaine de jours, ~~est~~ ~~actuellement~~
~~en~~ ~~train~~ ~~de~~ ~~être~~ ~~géré~~
~~par~~ ~~un~~ ~~travaux~~ ~~de~~ ~~la~~ ~~nomographie~~

FIGURE 2.5 – Un exemple de lettre « de justification » de d'Ocagne à Clark (24 septembre 1907).
 Source : ENPC

2.4.1 Étude chronologique

Au total, ce sont 1 108 lettres pour un total de 3 151 pages qui ont été léguées à l'ENPC. Le diagramme en bâtons de la figure 2.6 nous montre la répartition de ces lettres tout au long des 54 années pendant lesquelles d'Ocagne a échangé avec ses contemporains.

Si nous étudions ce diagramme de manière ponctuelle, nous remarquons tout d'abord un « pic » en 1917 : pas moins de 71 lettres reçues cette année là. La raison est toute trouvée : il s'agit de l'année suivant la création du bureau d'études nomographiques pendant la Première Guerre mondiale. Des lettres affluent notamment du front, la plupart pour demander des séries d'abaques qui servent à calculer plus rapidement les paramètres à appliquer aux canons (voir chapitre 4.2 : Étude de cas, le nomogramme pendant la Grande Guerre). D'autres lettres sont

nombre de lettres reçus

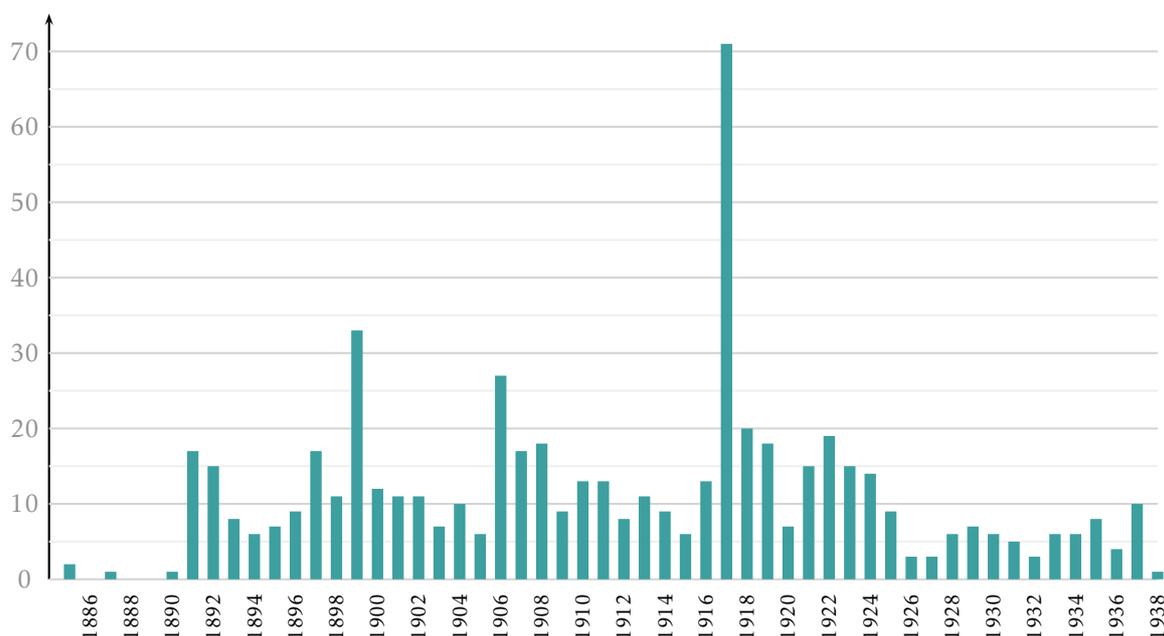


FIGURE 2.6 – Diagramme en bâtons du nombre de lettres reçues par d'Ocagne selon les années

écrites pour le remercier d'avoir proposé une méthode simple à utiliser et très efficace. Une autre année se fait distinguer, il s'agit de 1899, en corrélation avec la sortie de la première édition de son *Traité de nomographie* : il reçoit des lettres de remerciements et de félicitations pour ce traité, et plus généralement pour la nomographie. Des comptes rendus de son livre apparaissent dans des journaux techniques tels que *Le génie civil* ou les *Annales des chemins ruraux* par exemple. Enfin, l'année 1906 sort légèrement du lot mais cela ne semble pas incomber à un fait particulier ; nous pouvons simplement dire que les échanges ont été nombreux avec Farid Boulad Bey, ingénieur des chemins de fer en Égypte, dont nous reparlerons dans le chapitre 8.

En regardant maintenant le diagramme dans sa globalité, il n'est pas aisé de déterminer des tendances, d'Ocagne ayant été dynamique tout au long de sa carrière, voire de sa vie. Le vrai début de ses échanges semble commencer en 1891 au lendemain de sa publication *Nomographie. Les calculs usuels effectués au moyen des abaques*, qui apparaît comme un tremplin pour d'Ocagne, si nous en croyons le nombre de lettres y faisant référence. Nous pouvons également observer que la période 1916-1924 est légèrement plus active en terme de nombre de lettres, faisant suite notamment, comme nous l'avons vu précédemment, à la création du bureau nomographique. À partir de 1926, le nombre de lettres diminue sans tou-

tefois devenir nul. Une raison à cela est certainement due au fait qu'il s'agit de l'année de mise à la retraite de d'Ocagne. Nous pouvons cependant remarquer que, jusqu'à son décès en 1938, il continuera à échanger à propos de nomographie.

2.4.2 Étude du contenu des lettres

Cette étude linéaire globale peut être complétée par le type de lettres reçus : la base de données m'a permis de distinguer dix catégories particulièrement intéressantes représentées dans la figure 2.7.

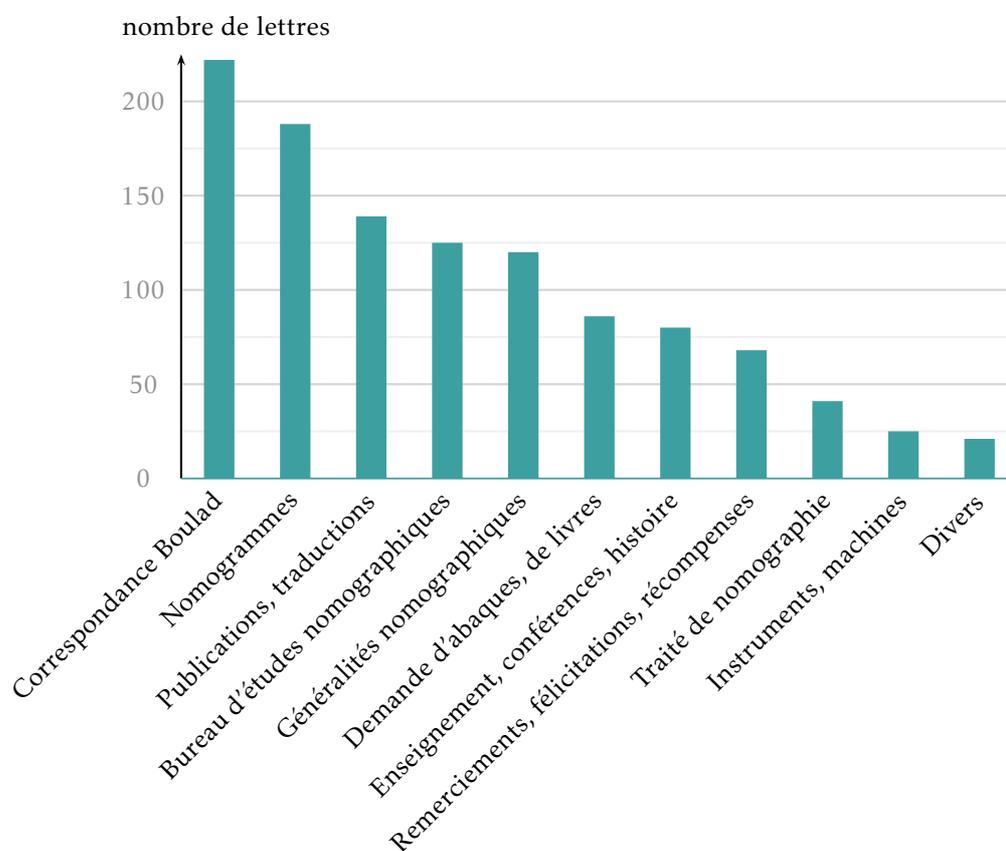


FIGURE 2.7 – Diagramme en bâtons du nombre de lettres reçues par d'Ocagne en fonction de leur contenu

Avec 222 lettres, la correspondance avec Boulad constitue la catégorie la plus nombreuse. C'est pourquoi il nous semble important de s'y intéresser plus précisément : ce sous-corpus fera l'objet du chapitre 8. Boulad et d'Ocagne ont eu des échanges de 1906 à 1938 quasiment sans discontinuité puisque seules les années 1930, 1931, 1933 et 1934 sont absentes, à une période où d'Ocagne était

lui-même à la retraite. La seconde catégorie concerne les 188 lettres liées à des nomogrammes particuliers. Nous y trouvons essentiellement des demandes d'aide pour construire ou modifier un nomogramme original, dans de multiples domaines tels que le débit des tuyaux de conduite, les corrections barométriques, la marine, ou encore la viscosité des huiles minérales de graissage. Ces lettres alimenteront le chapitre 4.1 sur les domaines d'utilisation de la nomographie. En troisième position, 139 lettres font ressortir les abondantes publications de nomographie : des livres, des articles, des notes ou des comptes rendus, y compris dans des pays étrangers. Parmi ces lettres, nous trouvons également des demandes de traduction de livres ou d'articles de d'Ocagne, essentiellement en italien et en allemand. Ce corpus nous permettra de compléter le chapitre 5 sur la circulation de la nomographie. La modalité relative au bureau d'études nomographiques qui a existé pendant la Première Guerre mondiale, et dont nous parlerons dans le chapitre 4.2, comporte pas moins de 125 lettres de demandes d'abaques, de remerciements, de conseils...

Ensuite, 120 lettres s'intéressent à des généralités sur la nomographie qui n'ont pas pu être classées par ailleurs : des questions assez pointues sur la construction des abaques, des corrections à apporter, des conflits de paternité... utilisées tout au long de la thèse. Les messages de demandes d'abaques, d'articles ou de livres (86) établissent une sixième rubrique : il peut s'agir de commander un abaque singulier (abaque pour le calcul de terrassement, abaque électrique, épure pour une gare...), ce sont les plus nombreux. Nous y trouvons en outre des demandes d'articles, d'ouvrages ou de bibliographie existants déjà sur la nomographie. Puis, 80 lettres concernent la visibilité de la nomographie : elles portent sur des conférences données ou réclamées, des propositions de participation à un congrès ou à une exposition, des lectures de notes, des éléments historiques sur la nomographie ou encore des précisions concernant l'enseignement de la nomographie. Nous dénombrons 68 lettres de remerciements, félicitations et récompenses. Notons que cette catégorie pourrait inclure de nombreuses autres lettres venant du bureau d'études nomographiques ou relatives au *Traité de nomographie*, mais le choix a été fait de séparer la période un peu particulière de la Grande Guerre du reste des domaines nomographiques et d'étudier à part le rôle important de son traité. Les remerciements et félicitations peuvent concerner des articles particuliers, des ouvrages, des conférences ou plus généralement l'apport de d'Ocagne pour cette nouvelle science. Ils peuvent également porter sur des nomogrammes envoyés généreusement. Il y est enfin question de prix reçus par d'Ocagne. Nous

trouvons en outre 41 lettres relatives au *Traité de nomographie* : des comptes rendus et notes dans des revues, des adaptations à l'étranger, des félicitations et remerciements et des échanges tout à fait intéressants sur des corrections à apporter à ce livre. Enfin, 25 lettres évoquent les instruments et les machines à calculer, qui pourront être exploitées dans des études ultérieures en lien avec les archives du Conservatoire des arts et métiers. Notons que 21 lettres ne rentrent dans aucune de ces catégories mais n'en sont pas moins intéressantes : ce sont des lettres un peu plus personnelles sur la carrière de d'Ocagne, des déplacements, des voeux de nouvelle année ou plus généralement des lettres aux domaines multiples.

2.4.3 Étude de la provenance des lettres

Nous nous intéressons ici à la provenance des lettres, ainsi qu'aux auteurs qui y sont associés. Plus de la moitié des lettres reçues par d'Ocagne (592) proviennent de pays étrangers. Notons tout de même que la plupart sont écrites ou traduites en français et que seules 79 sont en anglais, en italien ou en allemand. La carte 2.8 représente le nombre de lettres envoyées à l'échelle mondiale, et, pour plus de lisibilité, la carte de l'Europe a été agrandie dans la figure 2.9.

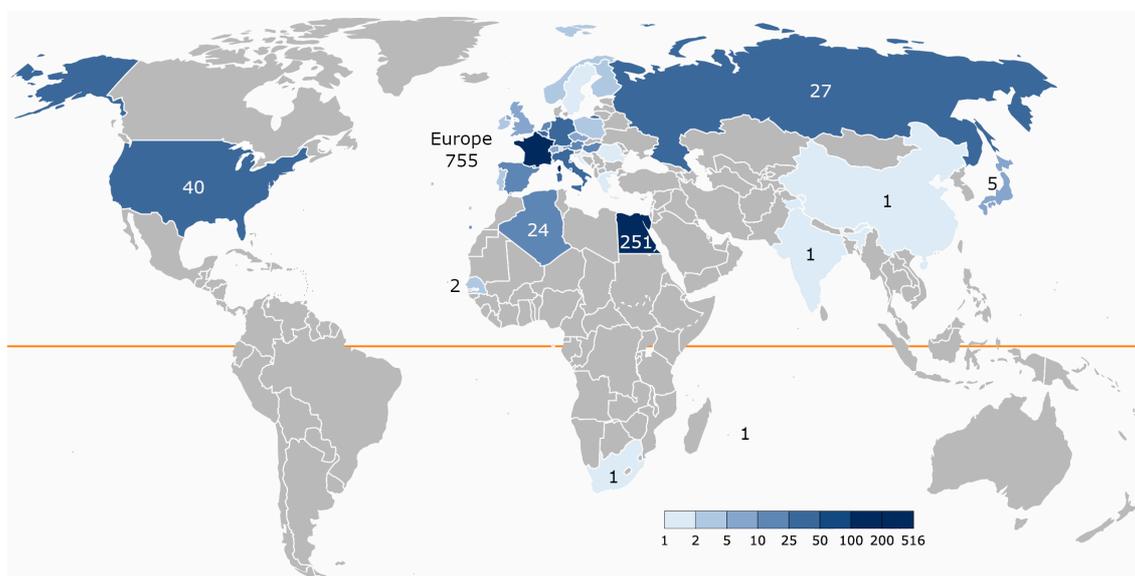


FIGURE 2.8 – Cartographie des provenances mondiales des lettres reçues par d'Ocagne

Au niveau mondial hors Europe, nous pouvons observer deux types de provenance : en premier lieu des pays et un territoire français à faible apport (la Pales-

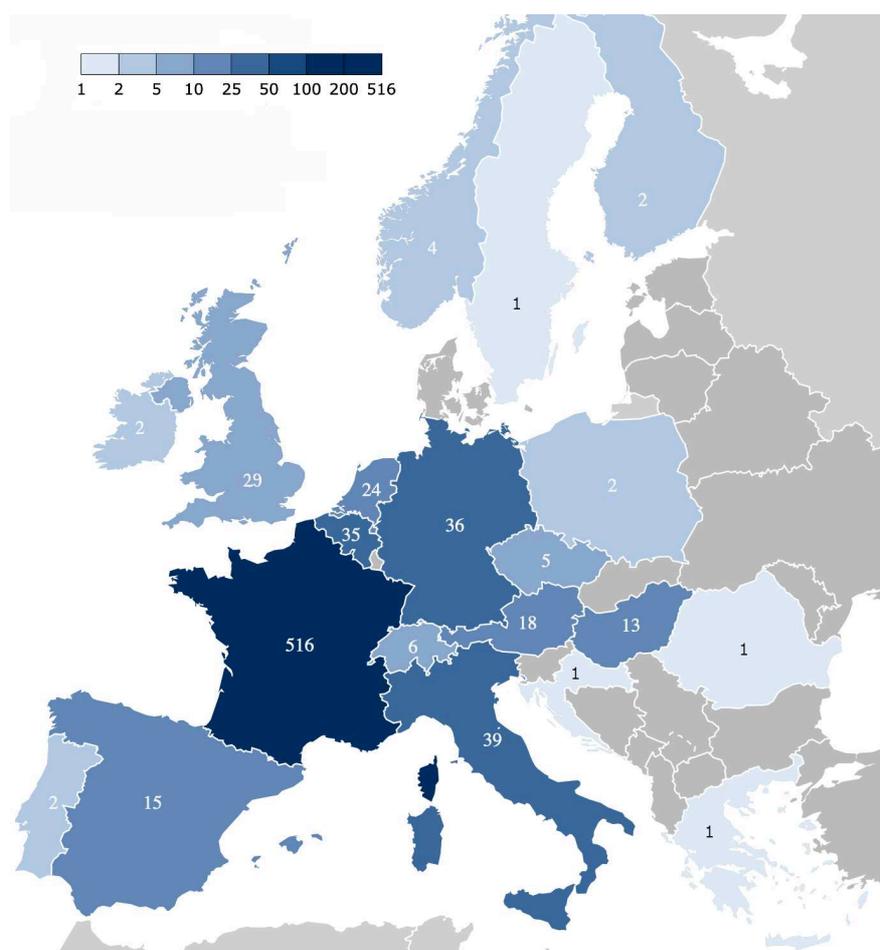


FIGURE 2.9 – Cartographie des provenances européennes des lettres reçues par d'Ocagne

tine, l'Inde, l'île Maurice, le Chine, l'Afrique du sud, le Sénégal¹³ et le Japon) qui comptent moins de cinq lettres. Ils sont le fait d'auteurs isolés ayant entendu parler de nomographie et concernent principalement des demandes d'envois ou de construction de nomogrammes. En deuxième lieu, des pays et un département non métropolitain se démarquent par leur nombre de lettres envoyés (entre 24 et 251) : il s'agit de l'Algérie¹⁴, de la Russie, des États-Unis et de l'Égypte. Mais l'analyse de la provenance des lettres ne peut se résumer à des chiffres bruts sur une carte. En effet, l'effectif des lettres envoyées depuis chaque pays peut être fortement corrélé avec l'auteur qui les envoie. Nous trouverons dans le tableau 2.3

13. Notons qu'à l'époque, le Sénégal est une colonie française, les lettres devraient donc être dénombrées avec celles venant de France. J'ai néanmoins choisi ici de séparer les lettres venant de France métropolitaine de celles venant des départements, colonies et territoires non métropolitains afin de mieux en visualiser la circulation.

14. À l'image du Sénégal, l'Algérie était française.

un récapitulatif, pour chaque pays, du nombre de lettres reçues, du nombre de pages que cela représente, du nombre d'auteurs différents et enfin de l'auteur qui a le plus écrit depuis ce pays (avec entre parenthèses le nombre de lettres qu'il a écrites).

Tout comme pour l'étude précédente, les résultats sont fortement biaisés par la correspondance avec Boulad qui implique 251 lettres venant d'Égypte dont 222 de Boulad. Hormis ce cas tout à fait singulier, les 40 lettres venant des États-Unis concernent 14 protagonistes, mais 13 sont de l'ingénieur américain d'origine suédoise Melker Johan Eichhorn, qui publie de la nomographie outre-Atlantique et tente, par des échanges avec d'Ocagne, de se faire connaître en France. En Russie, 18 lettres sur 27 proviennent de deux auteurs principaux : Nil Glagoleff, président du bureau nomographique scientifique de Moscou et Nicolaï Gercevanoff, ingénieur des Ponts et Chaussées et répétiteur à Saint-Petersbourg. Enfin, en Algérie, 18 lettres sur 24 proviennent du lieutenant de vaisseau français Stanislas Millot qui travaille à la généralisation de l'utilisation des abaques dans la marine depuis le port d'Alger.

Revenons en Europe. La carte nous montre une forte occupation de la plupart des pays proches et, mis à part l'Angleterre et la Belgique où les auteurs sont nombreux, nous pouvons associer à chaque pays un « personnage principal » (relatif aux correspondances nomographiques, ce qui ne préfigure en rien qu'il soit l'acteur principal ayant œuvré pour la nomographie dans son pays). En Italie, il s'agit de Giuseppe Pesci, professeur de géométrie à l'Académie royale navale de Livourne (21 lettres sur 39). Il contribue au développement de la nomographie dans son pays. En Allemagne, le mathématicien appliqué Rudolf Mehmke échange régulièrement avec d'Ocagne ; il est à l'origine de traductions en allemand et d'articles dans l'*Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften*, l'encyclopédie allemande des sciences mathématiques. Le cas de Julius Mandl, lieutenant du génie à Vienne pour le compte de l'empire austro-hongrois, est un peu particulier. En effet, ses treize lettres dans les années 1892 et 1893 ne sont pas particulièrement significatives d'un investissement sur le long terme, mais témoignent d'un intérêt ponctuel. Il en est de même pour l'ingénieur austro-hongrois Arthur Balogh et ses onze échanges concernant un éventuel congrès nomographique à Paris en 1937. L'ingénieur-mécanicien et professeur de mathématiques hollandais Franciscus Johannes Vaes entretient des échanges réguliers pendant presque quarante ans pour le compte de la Hollande. Les huit échanges avec l'ingénieur, inventeur et mathématicien Leonardo Torres Quevedo en Espagne (sur quinze lettres),

Pays	Nombre de lettres	Nombre de pages	Nombre d'auteurs	Auteur principal
France métropolitaine	516	1 158	240	Potin (36)
Égypte	251	1 178	8	Boulad (222)
Italie	39	101	15	Pesci (21)
États-Unis	40	78	14	Eichhorn (13)
Allemagne	36	97	16	Mehmke (11)
Autriche-Hongrie	36	73	12	Mandl (13)
Belgique	35	80	14	Pasquier (8)
Angleterre	20	42	12	Greenkinle (4)
Russie	27	61	5	Glagoleff (10)
Algérie	24	91	4	Millot (18)
Pays-bas	24	57	9	Vaes (10)
Espagne	15	34	6	Torres (8)
Écosse	9	26	4	Whittaker (5)
Suisse	6	14	3	Dumas (4)
Japon	5	8	3	Fujisawa (2)
Norvège	4	5	1	Hansson (4)
Finlande	2	3	2	Hjelmman (1)
Irlande	2	2	1	Morton (2)
Monaco	2	2	1	Prince (2)
Pologne	2	10	2	Ulkowski (1)
Portugal	2	4	1	Guimares (2)
Sénégal	2	4	1	Legoux (2)
Afrique du sud	1	2	1	Hilbert (1)
Chine	1	4	1	Beaurepaire (1)
Grèce	1	1	1	Brikas (1)
Ile Maurice	1	2	1	Esnouf (1)
Inde	1	8	1	Beaurepaire (1)
Palestine	1	1	1	Shisha (1)
Roumanie	1	2	1	Jonesco (1)
Suède	1	2	1	Lilicotrom (1)
Yougoslavie	1	1	1	Vranic (1)

TABLEAU 2.3 – Pays de provenance des lettres reçues par d'Ocagne

montrent la difficulté, à la fin du 19^e siècle, à faire reconnaître et publier des articles de nomographie dans ce pays, faute de connaisseurs. Torres s'intéressera par la suite aux machines à calculer mécaniques (notamment celle de Charles

Babbage) et électroniques.

À ces auteurs écrivant hors de France métropolitaine, nous pouvons ajouter certains noms français qui reviennent fréquemment dans la correspondance : il s'agit de Millot, pour la période où il officiait en France avant de partir pour l'Algérie; de l'ingénieur Rodolphe Soreau, un sérieux concurrent à la paternité de la nomographie; du lieutenant de vaisseau Eugène Perret qui communiquera sur des applications de la nomographie à l'astronomie nautique dans un premier temps, puis sur des problèmes de déblais et remblais dans un second temps alors qu'il travaille comme ingénieur au service des chemins de fer algériens. Enfin, Louis Potin est la personne ayant le plus communiqué avec d'Ocagne, Boulad mis à part, avec 36 lettres réparties régulièrement entre 1909 et 1935. Les premiers envois de Potin concernent les chemins de fer de l'État auxquels il est attaché au moment de la guerre : il s'intéresse à l'artillerie depuis son travail chez Schneider et Cie. Vers la fin de sa carrière, il bifurque vers les assurances en tant que chef des services de statistiques de la Nationale.

2.5 Conclusion

D'Ocagne était un homme très bien organisé : ses différents fonds d'archives, légués lors de sa mise à la retraite, ont fait l'objet d'un article publié dans la *Revue générale des sciences pures et appliquées* permettant de les retrouver, ou tout du moins de savoir où ils avaient été déposés initialement. C'est ainsi que certains fonds sont connus : ceux de l'Institut de France et de l'École polytechnique, et que le fonds nomographique de l'ENPC a pu être identifié il n'y a pas si longtemps. Il reste actuellement deux fonds encore introuvables : ceux du Conservatoire des arts et métiers et du Service géographie de l'armée.

Les archives qui nous occupent ici sont composées de livres, d'articles, d'instruments et de planches dont la plupart ont été annotés d'un nom de personne ou de revue, puis classés scrupuleusement par ordre alphabétique ou par thème dans des boîtes numérotées. D'Ocagne avait d'ailleurs anticipé le fait que quelqu'un puisse, un jour peut-être, s'intéresser à ses documents comme mentionné dans son article. Toute cette organisation a grandement facilité l'exploitation des données, et a permis de construire les deux grandes bases de données que sont la base des 507 articles et documents divers récoltés par d'Ocagne, ainsi que celle des 1 108 lettres reçues.

L'étude préliminaire de ces deux sous-corpus nous montre qu'il y a matière

à analyser plus en profondeur l'apport de d'Ocagne à la nomographie et inversement : c'est ce que nous allons faire dans les deux principales parties de la thèse. La première concernera plus particulièrement la nomographie, tandis que la seconde se concentrera davantage sur le personnage. Toutefois, ces deux parties seront nécessairement liées, la nomographie existant en grande partie grâce à d'Ocagne, et à l'inverse, d'Ocagne s'étant construit et ayant été reconnu essentiellement par le prisme de la nomographie. Les différentes sources identifiées dans cette partie que sont les articles et la correspondance de l'ENPC, le dossier militaire de d'Ocagne et ses livres de souvenirs permettront d'alimenter le contenu de ces chapitres. Par conséquent, cette thèse sera volontairement contrainte par ce que nous avons découvert dans les archives, et ne saurait se substituer à une étude générale de la nomographie. L'objectif est une observation par le prisme du fonds d'Ocagne de l'ENPC essentiellement.

Les bases de données ont fait ressortir de nombreuses pistes d'étude. J'ai dû faire un choix quant aux thèmes que je voulais développer dans cette thèse, sachant qu'il y aurait matière à poursuivre le travail ultérieurement.

Concernant la nomographie, mon choix s'est porté sur son histoire, son utilisation et sa circulation dans les journaux. Cette progression se veut cohérente : des rudiments d'histoire du calcul graphique pour comprendre l'évolution de cette science jusqu'à la nomographie en particulier ; les domaines d'utilisation pour comprendre son efficacité et la diversité des calculs qu'elle permet de mener en rapport aux préoccupations de l'époque ; et enfin la circulation dans les journaux dans le but d'essayer de comprendre comment cette doctrine a pu se développer. Afin de mieux appréhender chacun de ces thèmes, une étude de cas plus précise sera établie à chaque fin de chapitre. Ces études de cas ont été directement inspirées des bases de données et des livres de d'Ocagne. Pour l'aspect historique, les œuvres axées sur les problèmes de déblais et de remblais et à l'origine des premières recherches nomographiques nous montrent qu'il y a matière à en faire une étude plus rigoureuse. Les lettres retrouvées en lien avec le bureau de nomographie offrent un très bel exemple d'utilisation de la nomographie pendant la Première Guerre mondiale. Enfin, le nombre relativement conséquent d'articles en lien avec le triangle sphérique nous éclaire sur la manière dont peut circuler un thème en particulier.

Dans la seconde partie principale, il me semblait important d'apporter des éléments de la vie de d'Ocagne. Ceux-ci devraient en effet être éclairants vis à vis de ses choix de vie ou de l'évolution de sa carrière professionnelle. Outre les

articles et les lettres du fonds de l'ENPC, ce sont essentiellement ses livres de souvenirs, déposés à l'Institut de France, qui nous fourniront de nombreuses informations pour les deux premiers chapitres de cette partie. Corrélés avec son dossier militaire, cela doit nous permettre de dresser un portrait relativement étayé de d'Ocagne. Nous retracerons grâce à cela sa généalogie, puis son parcours de jeunesse et ses études dans un premier chapitre. Puis, nous nous concentrons sur sa vie d'adulte personnelle et professionnelle et nous verrons qu'elle a été très diversifiée, faisant de lui un ingénieur-savant affirmé. Enfin, dans un tout dernier chapitre, la nombreuse correspondance avec Boulad nous offrira une remarquable opportunité d'observer les liens que d'Ocagne pouvait entretenir avec un auteur en particulier. Cela constituera notre dernière étude de cas.

Deuxième partie

**La nomographie, une branche des
mathématiques en constante
évolution depuis la fin du 19^e siècle**

Dans cette partie, nous entrons au cœur de la nomographie. Le premier axe, historique, commencera par rappeler les fondements du calcul graphique qui ont permis d'obtenir des méthodes de plus en plus efficaces jusqu'à la nomographie. Puis, nous suivrons les traces des recherches nomographiques successives ayant abouti à la méthode des points alignés de d'Ocagne. Enfin, nous étudierons le cas particulier de calcul d'optimisation de déblai et de remblai pour la mise en place d'un réseau ferré à grande échelle, en France, dès la fin du 19^e siècle. L'utilisation de la nomographie pendant la période d'Ocagne, et qui constituera notre deuxième axe, nous projettera dans des domaines multiples liés aux préoccupations de l'époque. Nous étudierons comment les abaques ont pu être utilisés et ont évolué au fil du temps et des auteurs. Puis, nous étudierons l'utilisation qu'a été faite des abaques pendant la Grande Guerre via le bureau de nomographie dirigé par d'Ocagne. En dernier lieu, le troisième axe montrera comment s'est effectuée la circulation de la nomographie dans les journaux. Les revues, auteurs et pays seront étudiés afin de trouver des liens de corrélation dans la communication de cette science. La considération d'articles sur le triangle sphérique clôturera ce chapitre en donnant une étude de cas liée à un article en particulier.

Une rapide histoire du calcul graphique et de la nomographie

Sommaire du présent chapitre

3.1 Les premières méthodes de calcul graphique	60
3.1.1 Les prémices du calcul graphique	61
3.1.2 Les tableaux numériques	67
3.1.3 De Descartes aux premières représentations de lois par des graphiques	69
3.1.4 Le calcul par le trait et la statique graphique, naissance du calcul graphique	71
3.2 La nomographie	73
3.2.1 1797 : les abaques à courbes cotées de Pouchet	74
3.2.2 1842 : l'anamorphose de Lalanne et Massau	76
3.2.3 1885 : les abaques hexagonaux de Lallemand	78
3.2.4 1884 : les nomogrammes à points alignés de d'Ocagne	82
3.3 Étude de cas : déblais et remblais	84
3.3.1 Les chemins de fer en France au 19 ^e siècle	85
3.3.2 Le problème géométrique des déblais et remblais	86
3.3.3 La solution des nomogrammes	90
3.4 Conclusion	102

À l'heure où les ordinateurs développent une puissance de calcul de plus en plus grande, on ne se pose plus la question de la manière d'effectuer des calculs, qu'ils soient simples ou complexes. Même le calcul mental est de moins en moins pratiqué tant l'électronique est présente dans nos vies. Pourtant, il y a un peu moins de deux siècles, la révolution industrielle était en marche et avec elle la transformation d'une société à dominante agraire et artisanale vers une société commerciale et industrielle. L'amélioration des techniques de calcul était au coeur des préoccupations, en particulier dans le domaine du génie civil et du développement des chemins de fer lors du boom ferroviaire des années 1840. Comment construire un pont en fonction des différentes contraintes du terrain ou de la résistance des matériaux; comment tracer une voie de chemin de fer la plus rectiligne possible en utilisant le dénivelé du terrain... Les nombreuses formules mathématiques qui modélisent ces situations conduisent à des calculs complexes, voire impossibles à effectuer « à la main », et il était alors indispensable de recourir à d'autres procédés comme, notamment, les méthodes de calcul graphique.

Ce sont ces méthodes que nous allons étudier dans ce premier chapitre qui retrace les grandes étapes de l'histoire du calcul graphique en considérant les premières méthodes de calcul par le trait, les tableaux numériques consignnant directement des résultats d'opérations, pour se diriger vers des méthodes plus abouties de calcul graphique et terminer par la nomographie. Une étude de l'évolution de cette dernière sera faite à travers les principaux acteurs y ayant contribué : Pouchet, Lalanne, Massau, Lallemant et d'Ocagne. Sans prétendre à l'exhaustivité, nous voulons simplement relater quelques étapes que nous avons jugées importantes. Nous verrons notamment comment le cas du calcul de remblai et déblai a été un support fructueux de réflexion pour améliorer les méthodes de calcul graphique.

3.1 Les premières méthodes de calcul graphique

Calculer, c'est-à-dire dans le sens classique de l'époque, effectuer des opérations écrites ou mentales, constitue un travail rébarbatif, pénible et non dénué de risques d'erreurs. C'est pour cette raison que de tout temps, des outils de calcul ont été inventés. En ce qui concerne la fin du 19^e siècle, nous pouvons, par

exemple, retenir la classification suivante proposée par d'Ocagne¹ :

- les instruments et machines arithmétiques ;
- les instruments logarithmiques et règles à calcul ;
- les tracés graphiques, le calcul par le trait ;
- les tables numériques ou barèmes ;
- les tables graphiques ou abaques et la nomographie.

Je m'intéresserai dans cette partie exclusivement aux trois derniers items en tant que moyens de calcul utilisant uniquement des traces écrites. Je donnerai une évolution de ces tracés principalement dans la période allant du 19^e siècle au début du 20^e siècle.

3.1.1 Les prémices du calcul graphique

Avant les débuts du calcul graphique, on trouve dans les grandes époques de l'histoire et chez différents peuples des traces de ce qui peut être caractérisé comme les prémices du calcul graphique. Ce sont essentiellement des constructions géométriques qui permettent, une fois élaborées, d'observer des phénomènes.

Ainsi, dès l'Antiquité, c'est dans le cadre de la gnomonique graphique que cet art est le plus prisé par les Grecs : il s'agit de la science qui consiste à construire des cadrans solaires graphiques. La tâche est ardue puisqu'elle consiste à projeter des éléments d'une sphère sur un disque plat, et fait théoriquement appel à des formules de trigonométrie sphérique dont les anciens ne disposaient pas.

La gnomonique des Grecs ne nous est connue que de façon fragmentaire en raison d'un manque de textes écrits de l'époque. Dans le neuvième livre de son œuvre *De Architectura*², Vitruve³ explique comment construire un analemme : diagramme permettant de tracer des cadrans solaires ou de connaître la hauteur du soleil en fonction d'un lieu et de l'heure (voir fig. 3.1). Celui-ci résulte de la projection des cercles de la sphère céleste sur le plan méridien. De ce fait, le problème s'apparente alors à un problème de résolution graphique dont la solution se lit directement sur l'analemme. Cela constitue déjà une simplification pour l'homme, en facilitant la compréhension de la mécanique céleste. C'est dans le chapitre VIII que Vitruve développe la manière de faire des cadrans solaires, no-

1. Rodolphe RADAU (1894b). « Variétés : Maurice d'Ocagne - Le calcul simplifié par les procédés mécaniques et graphiques ». *Bulletin astronomique*. 11, p. 460.

2. Marcus VITRUVIUS POLLIO (63). *Les dix Livres d'architecture de Vitruve, corrigés et traduits Nouvellement en François, avec des notes et des figures*. Jean Baptiste Coignard.

3. Marcus Vitruvius Pollio (1^{er} siècle av. J.-C.) : architecte romain plus connu sous le nom de Vitruve.

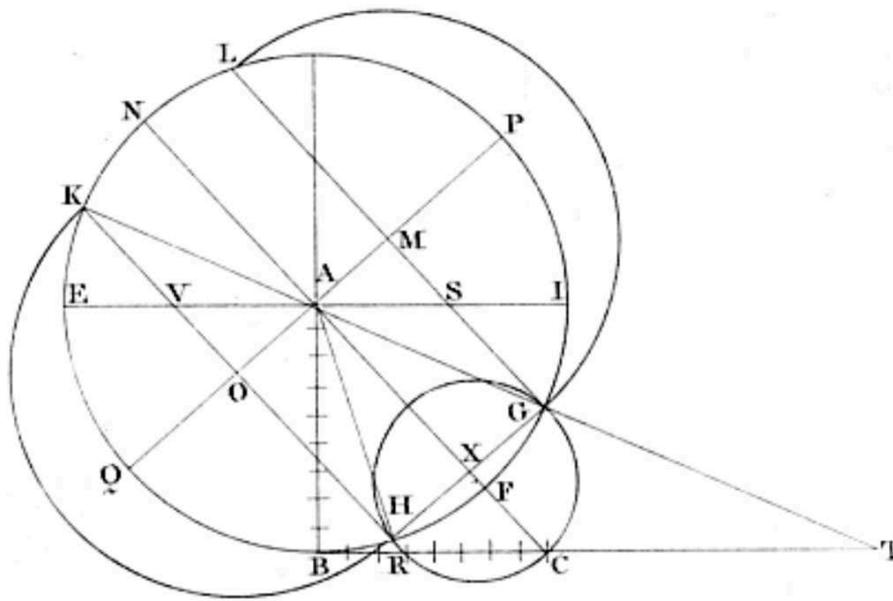


FIGURE 3.1 – Analemme de Vitruve (63). Source : gallica.bnf.fr

tamment à Rome. Le principe qu’il expose consiste à construire géométriquement certains éléments de la mécanique céleste, ici liés au soleil : la valeur des solstices, le rayon du soleil à certaines périodes, le lever du soleil...

La construction graphique de l’analemme est déjà un bel exemple de programme de géométrie pure, utilisant principalement des tracés de portions de droites et de cercles constructibles, d’après l’auteur, à l’équerre et au compas. Chaque tracé correspond à un endroit sur la terre modélisé par une fraction de gnomon, traduction ancienne de la latitude du lieu pris en considération. À Rome, elle a été déterminée à l’époque à huit neuvièmes, et avec un vocabulaire plus contemporain, le tableau 3.1 rend compte du programme de construction relativement élaboré de Vitruve. Remarquons que la proportion de $\frac{8}{9}$ utilisée ici correspond à un angle α de $\arctan \frac{8}{9} \approx 41,63^\circ$. La latitude de Rome étant de $41,89^\circ$, l’erreur commise est donc « seulement » de 0,6 %, ce qui reste très raisonnable. Une fois l’analemme tracé pour une latitude donnée, plusieurs lectures peuvent être faites plus ou moins directement : par exemple, dans la figure 3.2 construite pour Rome, les demi-cercles de déplacement du soleil aux solstices permettent, par découpage en douze parties égales puis projection orthogonale sur leur diamètre, de connaître la demi-durée d’un jour solaire en heures équinoxiales. Les rayons donnés aux solstices et à l’équinoxe représentent quant à eux la distance Terre-Soleil. Pour déterminer ces éléments à un autre moment de l’année, il faut

Programme de construction	Objet tracé
Tracer une demi-droite horizontale d'extrémité B	
Tracer une droite perpendiculaire à cette droite passant par B, sur celle-ci, faire un repérage en 9 parties égales : à l'extrémité de ce repérage placer le point A	Gnomon
Tracer le cercle de centre A passant par B	Cercle méridien
Placer le point C sur la perpendiculaire à (AB) passant par B tel que $BC = \frac{8}{9} BA$	Ombre équinoxiale
Tracer le segment [AC], il coupe le cercle méridien en F	Rayon du soleil à l'équinoxe
Tracer le diamètre [EI] parallèle au plan horizontal	Horizon
Tracer le cercle de centre F, de rayon un quinzième de la longueur du cercle méridien, il coupe ce cercle en H et G	$\widehat{FAG} = \frac{1}{15} \times 360^\circ = 24^\circ$, déclinaison maximale du soleil
Placer le point R, intersection de (AH) et (BC) puis tracer le segment [AR]	Rayon du soleil au solstice d'été
Placer le point T, intersection de (AG) et (BC) puis tracer le segment [AT]	Rayon du soleil au solstice d'hiver
Placer respectivement les points K, N et L, diamétralement opposés à G, F et H sur le cercle méridien	
Tracer [GL] et [HK]	Tropiques du Cancer et du Capricorne
Tracer M et O, les milieux respectifs de [GL] et [HK]	
Tracer le diamètre [PQ] du cercle méridien passant par M et O	Axon, axe des pôles
Tracer le demi-cercle de centre M et de rayon MG du côté de P	Déplacement du soleil au solstice d'été
Tracer le demi-cercle de centre O et de rayon OH du côté de Q	Déplacement du soleil au solstice d'hiver
Tracer le segment [HG]	Lacotomus, partie du méridien entre les tropiques
Placer le point X, intersection de (AF) et (HG)	
Tracer le cercle de centre X passant par H	Manachus, cercle des mois

TABLEAU 3.1 – Programme de construction de l'analemme de Vitruve traduit en langage moderne (63)

dra découper le cercle manachus⁴ en douze parties égales afin de pouvoir construire le demi-cercle de déplacement du soleil.

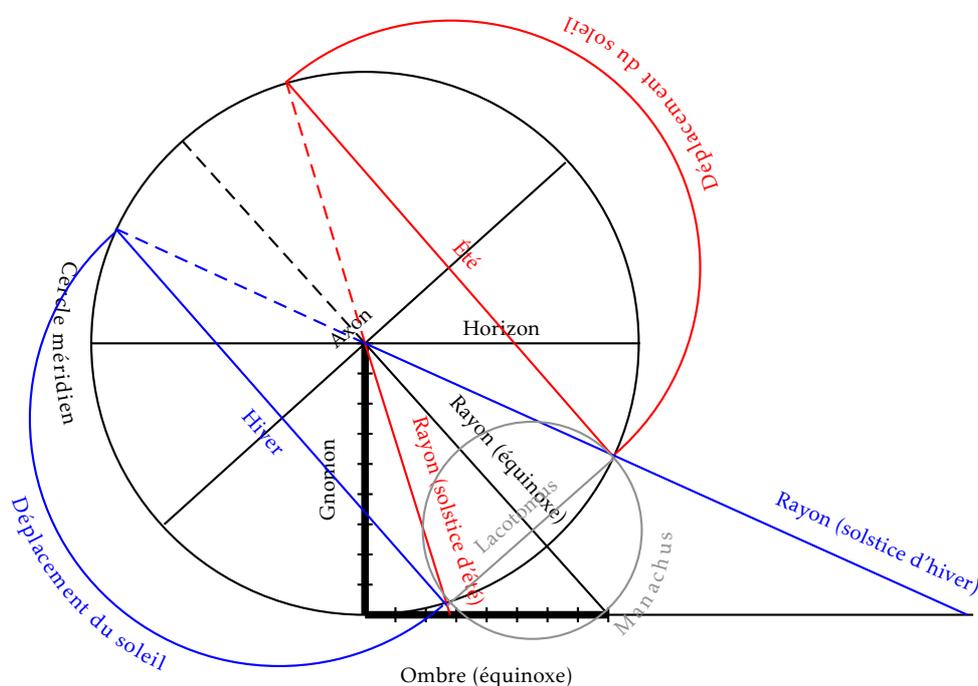


FIGURE 3.2 – Différents éléments pouvant être lus sur l'analemme de Vitruve

Plus tard, au Moyen-Âge, lors de l'émergence du monde arabo-islamique à partir du 8^e siècle, de nombreux savants travaillent sur les astrolabes plans. Le mot astrolabe vient du grec ancien *astrolabos*, preneur d'astres ou preneur d'étoiles. Il permet notamment de déterminer l'heure des prières, les instants de lever et de coucher du soleil et la direction de la Mecque.

Paul Luckey⁵ explique que chez les Arabes, l'astrolabe plan comprend des faisceaux de droites et de cercles cotés, tracés sur un disque circulaire fixe, tournant autour d'un autre et une alidade (réglette mobile) tournant autour du même centre. La résolution de problèmes d'astronomie se fait alors en alignant le cercle mobile avec le cercle fixe et l'alidade⁶. Nous observons ici petit à petit le passage d'une figure tracée géométriquement à un instrument de calcul. On trouve dans le catalogue général de la BnF⁷ un exemple d'astrolabe construit par Ahmed-Ben-

4. Le cercle caractérisant les mois.

5. Paul Luckey (1884-1949) : mathématicien allemand spécialiste de l'histoire des mathématiques islamiques.

6. Paul LUCKEY (1923b). « Zur älteren Geschichte der Nomographie ». *Unterrichtsblätter für Mathematik und Naturwissenschaften*, p. 58.

7. Bibliothèque nationale de FRANCE (2020). *Astrolabe arabe construit par Ahmed-Ben-Khalaf*

Khalaf (voir fig. 3.3). La notice fait état d'un matériel en cuivre mesurant 13 cm par 19 cm. Il est composé différentes pièces^{8,9} :

- un disque principal gradué sur son contour par une échelle de 0° à 360°. Sur le contour supérieur de son dos se trouve une échelle de 0° à 180° ;
- quatre cadrans mobiles à double face aussi appelés tympan sur lesquels figurent les divisions du jour en douze heures inégales. Ils caractérisent la sphère céleste fixe et dépendent du lieu d'observation ;
- une araignée mobile. Le cercle principal est divisé selon les constellations zodiacales pour les latitudes moyennes de l'hémisphère Nord. Les crochets indiquent les étoiles les plus brillantes ;
- une alidade à pinnules fixée par un boulon traversant tout l'appareil. L'alidade est située au dos de l'astrolabe et ses œilletons permettent de viser les astres.



FIGURE 3.3 – Astrolabe arabe construit par Ahmed-Ben-Khalaf (10^e siècle). Source : gallica.bnf.fr

À la Renaissance, l'émergence de cadrans solaires portatifs en tous genres fait

pour Djafar, fils de Moktafi Billah, né en 294 de l'Hégire, mort en 377 (905-987 de notre ère). URL : <https://catalogue.bnf.fr/ark:/12148/cb406735649> (visité le 18/10/2020).

8. Ibid.

9. Université Paris Nord - I.R.E.M. (2000). « L'astrolabe au carrefour des savoirs ».

davantage évoluer cette science. Nous retrouvons plus particulièrement au 15^e siècle un instrument connu sous le nom de « *Quadratum horarium generale* » (voir fig. 3.4)¹⁰, que l'on pourrait traduire par « Cadran solaire pour toutes les latitudes », ou encore « *Analemma rectiligne general* ». Pour Luckey il ne s'agit

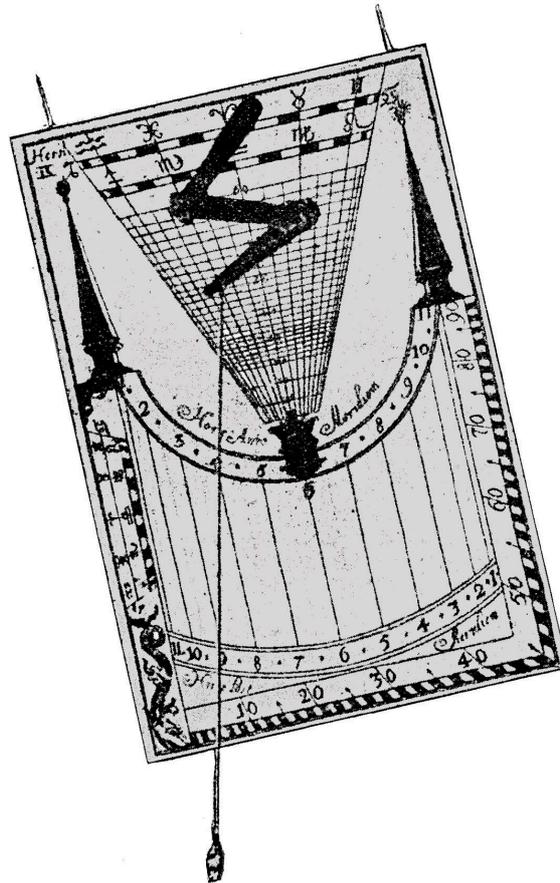


FIGURE 3.4 – *Quadratum horarium generale* (15^e siècle). Source : ENPC

pas d'un diagramme, mais plutôt d'un instrument-diagramme, instrument qu'il faut orienter d'une certaine façon selon l'endroit où l'on se trouve par rapport aux astres. Cette manipulation se fait grâce à deux trous qu'il faut aligner avec le soleil. Outre ces trous, le cadran solaire est composé de trois principales parties. Le diagramme du haut est composé de lignes rayonnantes autour d'un point correspondant aux différentes valeurs de la déclinaison du soleil, les lignes horizontales ayant pour cotes la latitude du lieu. Le diagramme du bas est constitué, quant à lui, de lignes verticales parallèles cotées en fonction de l'heure de la matinée en haut et de l'heure de l'après-midi en bas. Enfin, une partie mécanique, constituée

10. LUCKEY 1923b, fig.1 p.56.

d'un bras articulé finissant par un fil à plomb, permet d'ajuster le jour. L'heure solaire se lit comme intersection entre les heures de la journée et le fil à plomb.

Finalement, ces instruments étaient surtout utilisés pour la représentation de la sphère céleste. Les procédés de lecture n'étaient pas toujours simples et dépendaient du lieu où l'on se trouvait. En outre, leur élaboration n'était pas aisée et tout le monde n'y avait pas accès.

3.1.2 Les tableaux numériques

Selon Dominique Tournès¹¹, un tableau numérique, dans sa forme la plus générale, est une représentation matérielle d'un ensemble de nombres à l'aide de lignes, de colonnes ou d'autres codes graphiques imaginés pour organiser spatialement l'ensemble de nombres donné afin de faire apparaître certaines de ses propriétés.

Dans l'*Encyclopédie méthodique* de Jean le Rond d'Alembert¹², une table est une suite de valeurs prises par une fonction. On trouve deux principales formes de tables :

- celles représentant une fonction à une variable principale (par exemple la fonction inverse), pour lesquelles un tableau à simple entrée suffit : on entre en première colonne la valeur de la variable et en deuxième colonne la valeur de la fonction pour cette variable, en correspondance horizontale ;
- celles représentant une fonction à deux variables principales (par exemple la table de Pythagore), pour lesquelles un tableau à double entrée est indispensable : la première colonne sert de liste pour l'une des variables, la première ligne sert de liste pour l'autre variable, et le résultat s'obtient à l'intersection de ces deux listes.

Pour des fonctions à plus de deux variables principales, la représentation en deux dimensions n'est plus possible directement. Un subterfuge est cependant utilisable pour les fonctions à trois variables en créant des listes de tableaux pour chacune des premières variables, ce qui devient long et fastidieux.

Ces tables numériques, appelées aussi barèmes, ont constitué un outil très performant pendant des années et ont permis d'effectuer les calculs les plus courants. L'idée est de représenter, une fois pour toutes, les résultats d'une formule pour

11. Dominique TOURNÈS (2011). « What is a numerical table? Milestones for a historical research project ». *Oberwolfach Reports*, p. 643-645.

12. Jean le Rond d'ALEMBERT (1789). *Encyclopédie méthodique. Mathématiques*. Panckoucke.

toutes les valeurs possibles théoriquement. Ces résultats constituent un catalogue que les ingénieurs peuvent consulter afin d'obtenir sans aucune opération mentale ou posée le résultat dont ils ont besoin.

Les plus anciennes tables connues datent des périodes présargoniques au milieu du 3^e millénaire avant J.-C. Les premières tables concernaient des calculs numériques classiques : table des carrés, des rectangles, des inverses (voir fig. 3.5). À

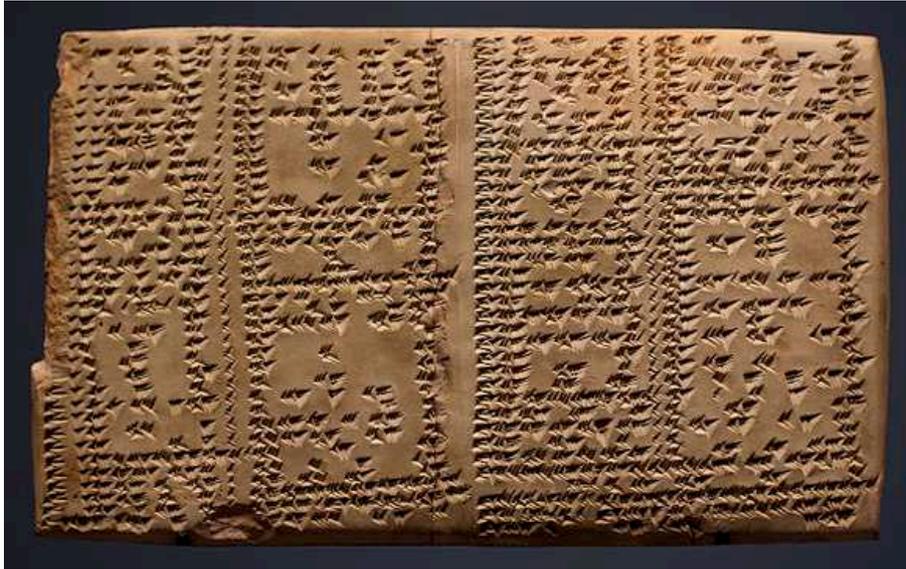


FIGURE 3.5 – Table d'inverses babylonienne, Uruk, période séleucide (v. 300 av. J.-C.). Source : musée du Louvre

partir du 2^e millénaire avant J.-C., les tables se spécialisent dans le domaine de la métrologie. Plus tard, les tables astronomiques (suites de nombres qui indiquent les situations et les mouvements des astres, ou qui servent à les calculer) ont rendu de fiers services aux astronomes : on retrouve notamment au 2^e siècle, dans l'*Almageste* de Claude Ptolémée, les tables du mouvement du soleil, de la lune et des cinq planètes étudiées à l'époque. Au début du 17^e siècle, grâce aux tables de logarithmes, remarquable invention de John Neper permettant de transformer des multiplications en additions, ces tables astronomiques se simplifient au profit de tables moins volumineuses.

Finalement, ce sont de multiples corps de métiers qui s'emparent de ces tableaux. De nombreux carnets de tables sont édités, à l'image par exemple du *Carnet de l'ingénieur*¹³, un ouvrage édité pour la première fois en 1842 qui connaîtra de multiples ré-éditions et révisions au fur et à mesure du progrès et des avancées

13. *Carnet de l'ingénieur : recueil de tables, de formules et de renseignements usuels et pratiques sur les sciences appliquées à l'industrie* (1865). Lacroix.

technologiques. Il s'agit, selon la première page de ce livre, d'un recueil de tables et de formules sur les sciences appliquées à l'industrie à l'usage des ingénieurs-constructeurs, des architectes, des chefs d'usines industrielles, des mécaniciens... Il contient des centaines de tables et de formules dans des domaines tels que l'algèbre, la géométrie, la mécanique, les machines, la résistance des matériaux, l'hydraulique, les combustibles, les données économiques...

Les tables numériques ont été un incroyable outil de calcul mais ont un inconvénient majeur : chaque application numérique exige à elle seule un tableau, et il faut de nombreux calculateurs dédiés à ce travail fastidieux et répétitif.

3.1.3 De Descartes aux premières représentations de lois par des graphiques

Dans le livre premier de *La Géométrie* de René Descartes¹⁴, on trouve le schéma 3.6 et les lignes explicatives (traduites ici en français moderne) qui vont avec :

« Soient AB, AD, EF, GH, etc., plusieurs lignes données par position, [...] pour me démêler de la confusion de toutes ces lignes je considère l'une des données, et l'une de celles qu'il faut trouver, par exemple AB et CB, comme les principales, et auxquelles je tâche de rapporter ainsi toutes les autres. Que le segment de la ligne AB, qui est entre les points A et B, soit nommé x; et que BC soit nommé y et que toutes les autres lignes données soient prolongées, jusqu'à ce qu'elles coupent ces deux, aussi prolongées si besoin, et si elles ne leur sont point parallèles [...] »

Cette citation est une partie du texte dans lequel Descartes, cherchant à démontrer le théorème de Pappus¹⁵, exploite pour la première fois le lien entre l'algèbre et la géométrie en exprimant ces conditions par une équation qu'il souhaite représenter sous forme géométrique. Il définit alors les coordonnées x et y à partir d'un repère d'origine le point B et dont les axes sont les droites (BA) et (BC). Cette « découverte », ou notion fondamentale, sera à l'origine de toutes sortes de représentations graphiques, dans un système de coordonnées rectangulaires, d'une équation à deux variables dans un premier temps.

14. René DESCARTES (1637). *Discours de la méthode pour bien conduire sa raison & chercher la vérité dans les sciences plus la Dioptrique, les Météores et la Géométrie qui sont des essais de cette méthode*. Imprimerie de Ian Maire, p. 309-310.

15. Il s'agit de déterminer le lieu géométrique des points qui satisfont des conditions relatives à la distance de chacun de ces points à un certain nombre de droites.

Selon d'Ocagne, la nomographie n'a commencé à être possible qu'avec la découverte par Descartes de la géométrie analytique, car cette innovation a permis de représenter graphiquement, dans un système de coordonnées rectangulaires, sous la forme d'une courbe, une équation à deux variables ²¹.

3.1.4 Le calcul par le trait et la statique graphique, naissance du calcul graphique

Une sorte d'artefact de calcul fait son apparition dans la première partie du 19^e siècle : il s'agit de représenter des éléments numériques par des éléments géométriques, c'est à dire des nombres par des segments de droite (ou plus rarement des angles ou des aires simples rectangulaires). Le calcul numérique est alors transformé en calcul géométrique, à l'aide de constructions géométriques donnant, in fine, le résultat. Édouard Cousinery ²², écrit le premier essai en 1839 intitulé *Calcul par le trait*. Voilà les premières lignes de son livre ²³ :

« La géométrie comporte des figures de deux espèces : les unes, purement théoriques, n'exigent presque aucun soin de tracé; elles se composent, le plus souvent, de lignes grossièrement exécutées à la craie sur une planche noire, et suffisent, telles quelles, pour porter dans l'esprit la plus entière conviction. [...]

Mais, aussitôt qu'un dessin géométrique a un but d'utilité, dès qu'il est susceptible de recevoir une destination spéciale et pratique, cette imperfection ne peut plus être tolérée; il est indispensable que les lignes y soient bien droites et bien déliées, les cercles parfaitement ronds, les courbes fidèlement reproduites et purement tracées, les intersections distinctes et rigoureusement appliquées, les mesures exactement relevées et convenablement appliquées [...].

Ces dernières remarques se rattachent plus particulièrement à la science des projections en général; on parvient à les mettre en pratique par le moyen de l'art du trait. »

Il dresse notamment dans la première partie de son livre les règles élémentaires du calcul graphique : construction de l'addition et de la soustraction, de la multiplication et de la division, des moyens de partager un segment en parties égales,

21. LUCKEY 1923b, p. 55.

22. Édouard Cousinery (1790-1851) : ingénieur français des Ponts et Chaussées.

23. Edouard COUSINERY (1839). *Calcul par le trait, ses éléments et ses applications*. Carilian-Gœury et V^r Dalmont.

la formation des puissances (voir fig. 3.7), des proportions par différence et quotient, des progressions par différence et quotient et des extractions de racines. Le reste de son livre est consacré aux quadratures, cubatures, interpolation graphique et applications.

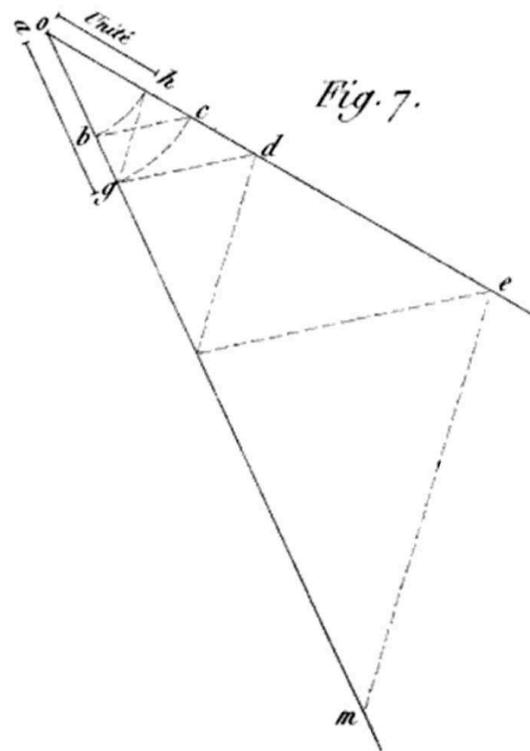


FIGURE 3.7 – Détermination graphique des puissances successives de a : $og = a$, $od = a^2$, $oe = a^4$, $om = a^5$ Cousinery (1839). Source : archive.org

Quasiment dans le même temps, une autre méthode se fait peu à peu une place chez les ingénieurs, prioritairement étrangers. Il s'agit de la statique graphique, une méthode géométrique de résolution de problèmes de mécanique statique (par exemple pour la stabilité des constructions et la résistance des matériaux). Celle-ci est née de la double notion du polygone des forces et du polygone funiculaire, et donc à l'équilibre de ces systèmes. Ils sont la traduction graphique du principe fondamentale de la statique : dans un référentiel galiléen, un solide est en équilibre si la somme des forces extérieures exercées sur ce solide (polygone des forces ou dynamique) est nulle et si la somme des moments des forces (polygone funiculaire ou funiculaire) est nulle également (voir fig. 3.8).

C'est à Karl Culmann²⁴ qu'il revient d'attribuer les principes généraux de la statique graphique, qu'il fonde en tant que corps de doctrine à l'École polytech-

24. Karl Culmann (1821-1881) : ingénieur allemand, professeur à Zurich.

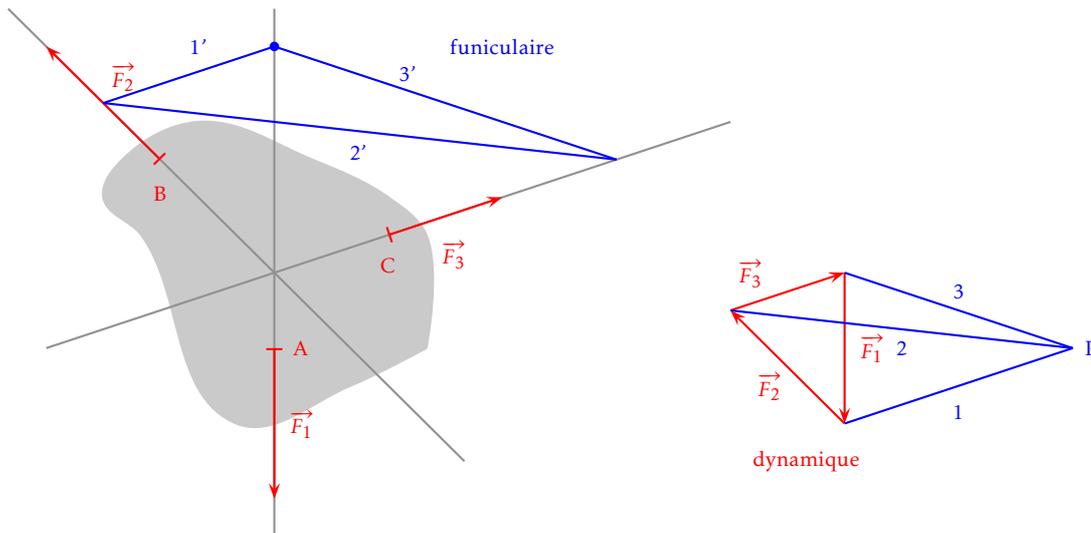


FIGURE 3.8 – Dynamique et funiculaire d'un solide en équilibre

nique de Zurich à partir de 1860. En 1864, il écrit la première édition de son traité de statique graphique *Die graphische statik*²⁵. En France, citons Maurice Lévy²⁶ comme fervent utilisateur des idées de Culmann. Son livre *La statique graphique*²⁷, paraît en 1874 soit près de dix ans après Culmann. La diffusion progressive de la statique graphique parmi les ingénieurs favorise les recherches sur le calcul graphique

3.2 La nomographie

Jusque là, les procédés de calcul graphique consistaient à créer des constructions graphiques relatives à chaque problème, avec la nécessité pour les utilisateurs d'avoir des connaissances solides en la matière. Nous allons voir dans cette partie comment, au fil du temps, cette technique s'est considérablement simplifiée jusqu'à devenir utilisable par simple lecture graphique. Nous suivrons cette évolution à travers un exemple classique mais idéal pour bien comprendre les métamorphoses successives des tables graphiques : celui de la table de multiplication.

25. Karl CULMANN (1864). *Die graphische Statik*. Meyer und Zeller.

26. Maurice Lévy (1838-1910) : ingénieur des Ponts et Chaussées français

27. Maurice LÉVY (1874). *La statique graphique et ses applications aux constructions*. Gauthier-Villars.

3.2.1 1797 : les abaques à courbes cotées de Pouchet

Le mot abaque vient du grec *abax* signifiant damier, planche, tablette, ayant dérivé en latin en *abacus*, table à faire des calculs. C'est souvent le nom donné à des instruments de calcul anciens : de simples cailloux posés à même le sol, des tracés dans le sable, des bouliers de toutes sortes... Le nom d'abaque s'est généralisé aux tableaux graphiques de calculs tout faits, en tant que présentations graphiques de tableaux numériques, puis à toutes les sortes de représentations graphiques à l'aide d'éléments cotés (droites, courbes...).

Louis-Ézéchiél Pouchet²⁸ semble avoir initié la méthode en créant des tables graphiques permettant de réaliser les opérations élémentaires. Il publie en premier lieu en 1795 un petit fascicule de seize pages intitulé *Arithmétique linéaire, ou nouvelle méthode abrégée de calculer, que l'on peut pratiquer sans savoir lire ni écrire*²⁹. Puis, en 1797, dans sa *Métrologie terrestre*³⁰, il consacre un chapitre entier à établir les opérations principales de l'arithmétique linéaire : l'addition, la soustraction, la multiplication, la division et l'extraction de racine carrée avec en prime à la fin de son livre, différents tableaux graphiques pour l'arithmétique linéaire. Il tente la construction systématique de tables graphiques à double entrée.

Son tableau graphique pour la multiplication (voir fig. 3.9), et donc la division comme opération inverse de la multiplication, est un premier exemple permettant de lire graphiquement le résultat d'une multiplication. Si l'on souhaite effectuer le calcul de 5×8 par exemple, on choisit le multiplicande 5 sur l'échelle de gauche puis le multiplicateur 8 sur l'échelle du haut. À l'intersection des deux droites correspondantes se trouve une hyperbole dont la cote se lit en suivant celle-ci jusqu'à l'échelle de droite. La méthode est facile à comprendre, quoique pas toujours commode à exécuter... on trouve 40. Notons que ce type de graphique est également nommé « abaque à lignes concourantes ».

D'autres imaginent des méthodes analogues, notamment pour les besoins de l'artillerie. C'est le cas d'Alexandre-Magnus d'Obenheim³¹ en 1814 et Joseph

28. Louis-Ézéchiél Pouchet (1748-1809) : manufacturier distingué français de Rouen.

29. Louis-Ézéchiél POUCHET (1795). *Arithmétique linéaire, ou Nouvelle méthode abrégée de calculer, que l'on peut pratiquer sans savoir lire ni écrire*. Guedra.

30. Louis-Ézéchiél POUCHET (1797). *Métrologie terrestre ou tables des nouveaux poids, mesures et monnaies de France*. Guilbert & Herment.

31. Alexandre-Magnus d'Obenheim (1753-1840) : capitaine du Génie français, puis professeur dans des Écoles d'artillerie

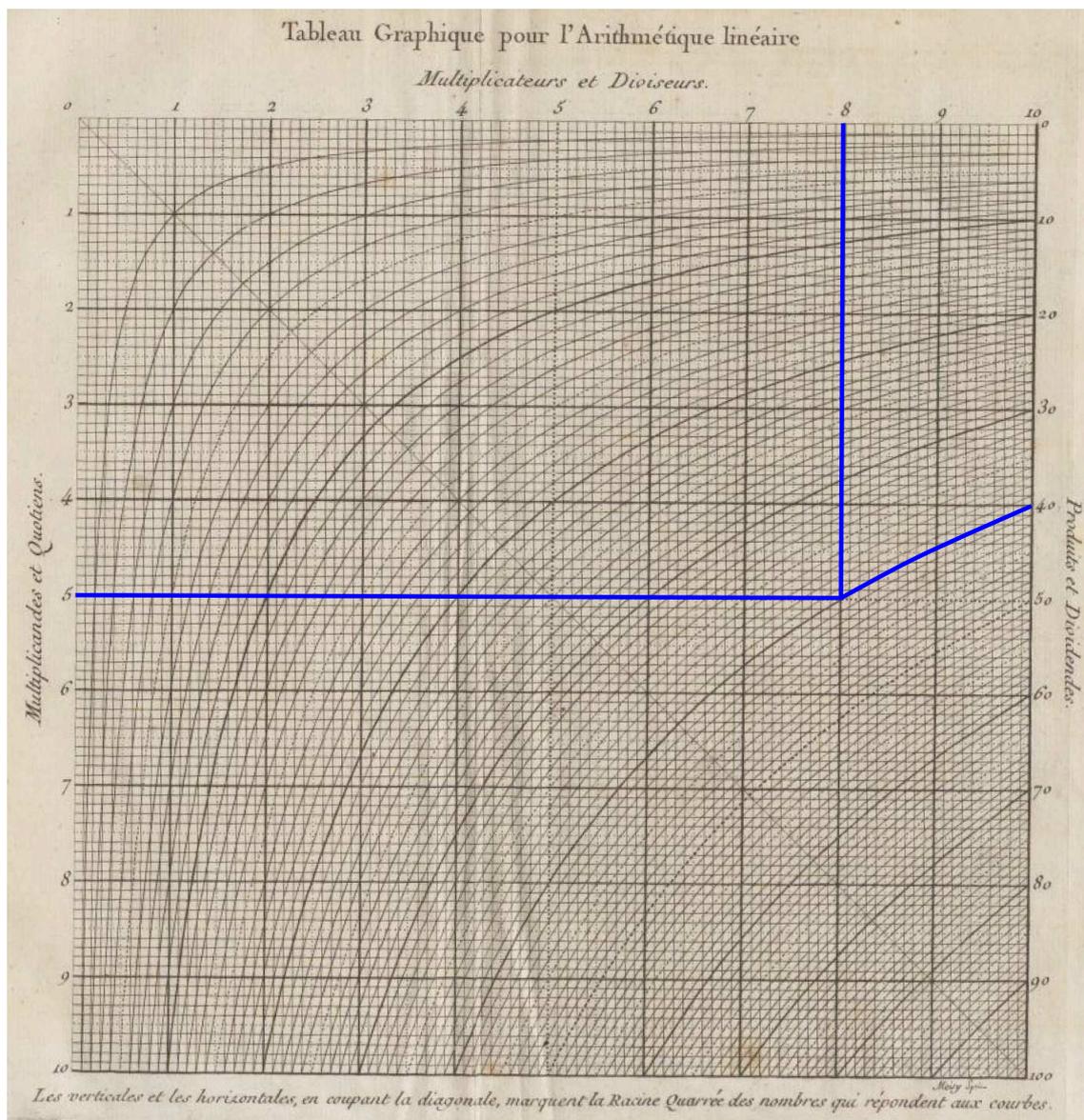


FIGURE 3.9 – Table graphique de Pouchet pour la multiplication et la division (1797). Source : gallica.bnf.fr

Bellencontre³² en 1830, qui donnent quelques exemples de transcription de tableaux à double entrée, mais de manière isolée. Olry Terquem³³, en 1830, fait le lien entre les tables numériques à double entrée traduisant une loi à trois variables en les représentant par des surfaces topographiques sur un plan grâce aux courbes de niveau. En 1889, d'Ocagne introduit le terme de nomographie à

32. Joseph Bellencontre (1785,1849) : colonel d'artillerie français, député du Calvados de 1849 à 1849.

33. Olry Terquem (1782 - 1862) : mathématicien français.

la *Commission du Répertoire bibliographique des Sciences mathématiques* pour désigner la théorie et l'emploi des abaques comme un certain type de calcul graphique utilisant des épures faites un fois pour toutes³⁴. En 1902, Friedrich Schilling³⁵ propose le terme de nomogramme, étymologiquement bien plus général en lieu et place d'abaque. D'Ocagne accepte cette proposition qui lui paraît très pertinente³⁶.

La méthode est généralement une transcription de tables numériques, permettant de représenter avec un unique abaque de nombreux tableaux. En revanche, cette méthode de calcul graphique est différente du calcul par le trait et de la statique graphique puisqu'il ne s'agit plus de combiner des constructions d'éléments géométriques afin d'obtenir le résultat, mais tout simplement de lire le résultat en exploitant une image de la loi mathématique dessinée une fois pour toutes.

3.2.2 1842 : l'anamorphose de Lalanne et Massau

Parlons un peu de Lalanne, cet ingénieur des Ponts et Chaussées qui a eu une idée lumineuse dans le but de simplifier les calculs inhérents au calcul des profils de déblai et de remblai lors de la construction des premières grandes lignes du réseau de chemins de fer français. En proposant le principe de l'anamorphose dès 1842, il permet de faciliter à la fois la construction et la lecture des nomogrammes. Dans son *Mémoire sur les tables graphiques et sur la géométrie anamorphique*³⁷, il introduit le terme d'*anamorphose* pour désigner une modification d'échelles, transformant ainsi des courbes du graphique en droites. Il montre en outre que tout tableau à double entrée peut être représenté par un tableau graphique, et désigne alors cette géométrie nouvelle par anamorphique.

Reprenons l'exemple de la table de Pythagore afin de voir la trame de sa réflexion, il commence par faire le lien entre le tableau et l'abaque à courbes cotées (voir fig. 3.10) : si nous reprenons l'abaque à courbes cotées de multiplication de Pouchet, il est constitué de droites horizontales et verticales ainsi que plu-

34. Henri VERINE (1997). « Interdisciplinarité ou transdisciplinarité? Le cas d'une méthode de calcul graphique : la nomographie et sa terminologie ». *Bibliothèque des cahiers de l'Institut de linguistique de Louvain*, p. 80.

35. Friedrich Schilling (1868-1950) : mathématicien allemand de l'université de Göttingen.

36. Maurice d'OCAGNE (1900f). « Sur les divers modes d'application de la méthode graphique à l'art du calcul. Calcul graphique et nomographie ». *Deuxième congrès international des mathématiciens*, p. 422.

37. Léon LALANNE (1846). *Mémoire sur les tables graphiques et sur la géométrie anamorphique, appliquées à diverses questions qui de rattachent à l'art de l'ingénieur*. Carilian-Gœury et V^r Dalmont.

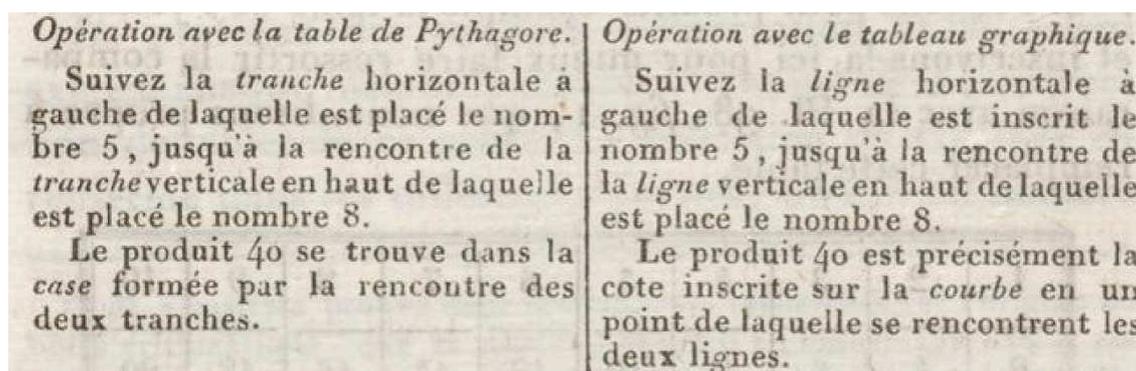


FIGURE 3.10 – Comparaison table-tableau graphique par Lalanne (1846). Source : gallica.bnf.fr

sieurs hyperboles d'équation $z = xy$. Lalanne transforme ces hyperboles en lignes droites en modifiant les échelles régulières en échelles logarithmiques. En effet, l'application du logarithme à notre équation précédente donne $\log z = \log x + \log y$ et transforme ainsi un produit en une somme, facilement identifiable graphiquement. Grâce à cette transformation, qu'il a lui-même nommée anamorphose logarithmique, les tables se simplifient et le papier quadrillé logarithmiquement fait son apparition.

Le calcul par exemple de 5×8 se fait quasiment de la même façon que précédemment, en tout cas pour la lecture des nombres 5 et 8 en entrée, et 40 en sortie. La seule différence est que l'on suit une ligne droite en lieu et place d'une courbe : la figure 3.11 nous montre la transformation d'une échelle normée à une échelle logarithmique, permettant aux hyperboles de « devenir » droites³⁸.

D'Ocagne a, lui, une façon très imagée de décrire l'anamorphose³⁹ :

« Je vais supposer, pour expliquer l'idée de principe que j'ai en vue, sans recourir à l'usage des mathématiques, que l'abaque d'une formule à deux variables indépendantes ait été construit, suivant le mode précédemment indiqué, sur un plan extensible, tel, par exemple, qu'une feuille de caoutchouc.

Si nous donnons à toutes les parties de ce plan des dilatations égales à la fois dans le sens horizontal et dans le sens vertical, nous allons l'agrandir en conservant au tableau qui y est dessiné la même disposition. Ses dimensions seront devenues doubles, triples... des primitives, mais sa configuration n'aura pas varié. »

38. Ibid., pl. 98.

39. Maurice d'OCAGNE (1892b). « Le calcul sans opérations. La nomographie ». *Revue des questions scientifiques*, p. 21.

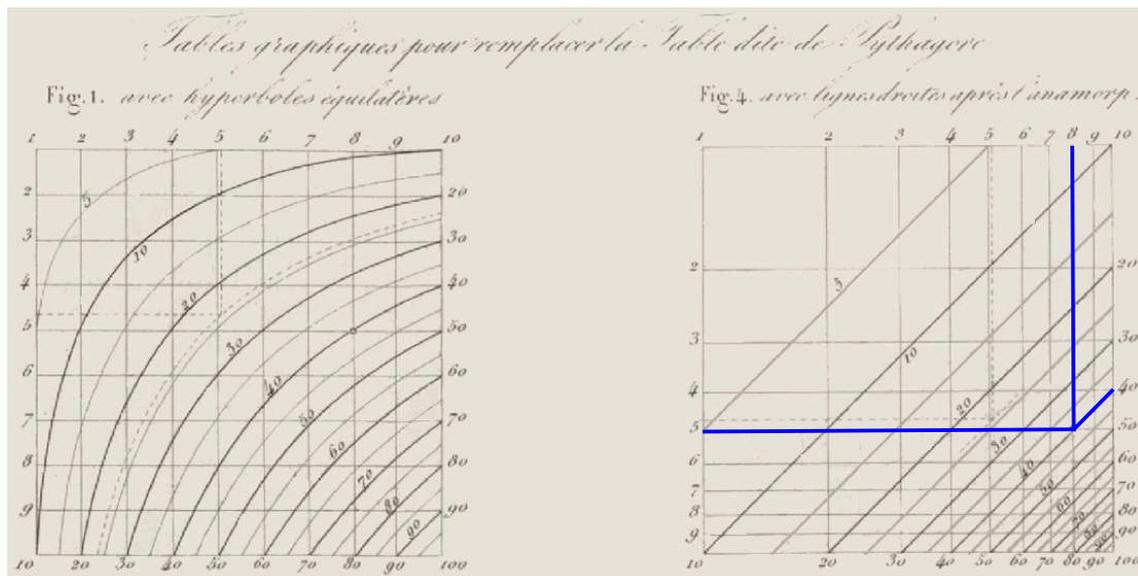


FIGURE 3.11 – Tables graphiques de la multiplication sans et avec anamorphose. Lalanne (1846). Source : gallica.bnf.fr

L'idée de Lalanne a été approfondie une quarantaine d'années plus tard par Junius Massau⁴⁰ qui offre un cadre plus général aux abaques à droites concourantes.

3.2.3 1885 : les abaques hexagonaux de Lallemand

Toutes ces représentations graphiques, quelles que soient les transformations qu'on y apporte afin de les simplifier, ont tout de même un inconvénient : elles s'appliquent uniquement à des fonctions à deux variables indépendantes. De plus, la lecture de l'intersection de deux droites n'est pas toujours aisée, et l'interpolation difficile à établir en raison du grand nombre de lignes. Ces raisons ont conduit Charles Lallemand⁴¹ à chercher une méthode nouvelle basée sur les abaques qui gommerait ces reproches.

Après deux ans d'expérimentation d'une nouvelle sorte d'abaque aux calculs de corrections d'erreurs des opérations de nivellement de la France, Lallemand explique sa méthode en 1885 dans un mémoire intitulé : *Les abaques hexagonaux, nouvelle méthode générale de calcul graphique*⁴². Le principe, développé par Lallemand, s'appuie sur une somme graphique particulière qu'il résume ainsi (voir

40. Junius Massau (1852-1909) : ingénieur belge des Ponts et Chaussées.

41. Charles Lallemand (1857-1938) : ingénieur et géophysicien français.

42. Charles LALLEMAND (1885c). *Les abaques hexagonaux, nouvelle méthode générale de calcul graphique; avec de nombreux exemples d'application*. Autologie & imprimerie J. Marchadier & C^{ie}.

fig. 3.12) :

« La somme des projections d'un segment de droite sur deux axes faisant entre eux un angle de 120° , est égale, en grandeur et en signe, à la projection du même segment sur la bissectrice intérieure de l'angle de ces axes. »

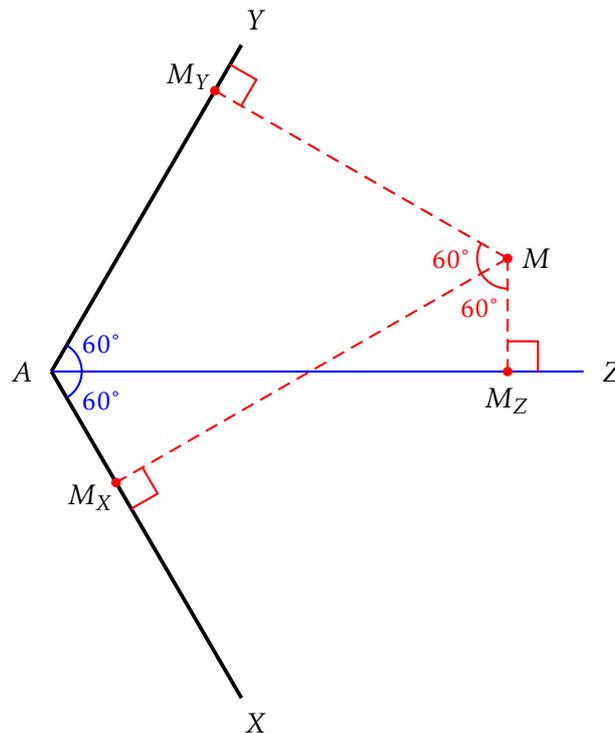


FIGURE 3.12 – Représentation graphique de la somme dans un abaque hexagonal : nous avons ainsi $\overline{AM_Z} = \overline{AM_X} + \overline{AM_Y}$

Fort de ce principe, la somme déterminée graphiquement avec un tel système d'axes se fait en utilisant un transparent composé de trois axes inclinés les uns sur les autres à 60° comme le sont les axes (AX), (AY) et (AZ). Ce transparent doit être orienté de manière à ce que ses axes soient perpendiculaires aux axes de l'abaque dont deux coupent les axes (AX) et (AY) aux cotes dont on veut calculer la somme. Le résultat se trouve à l'intersection de l'axe (AZ) avec le troisième axe.

La figure 3.13 nous montre comment faire la somme de 3,4 et 1,8⁴³. Le transparent est orienté de la manière suivante :

- l'axe (Bx) est perpendiculaire à l'axe (AX) et il coupe celui-ci en 3,4;
- l'axe (By) est perpendiculaire à l'axe (AY) et il coupe celui-ci en 1,8;

43. Ibid., p.16.

— l'axe (Bz) est alors naturellement perpendiculaire à l'axe (AZ) et il coupe celui-ci en 5,2 qui est la somme de 3,4 et de 1,8.

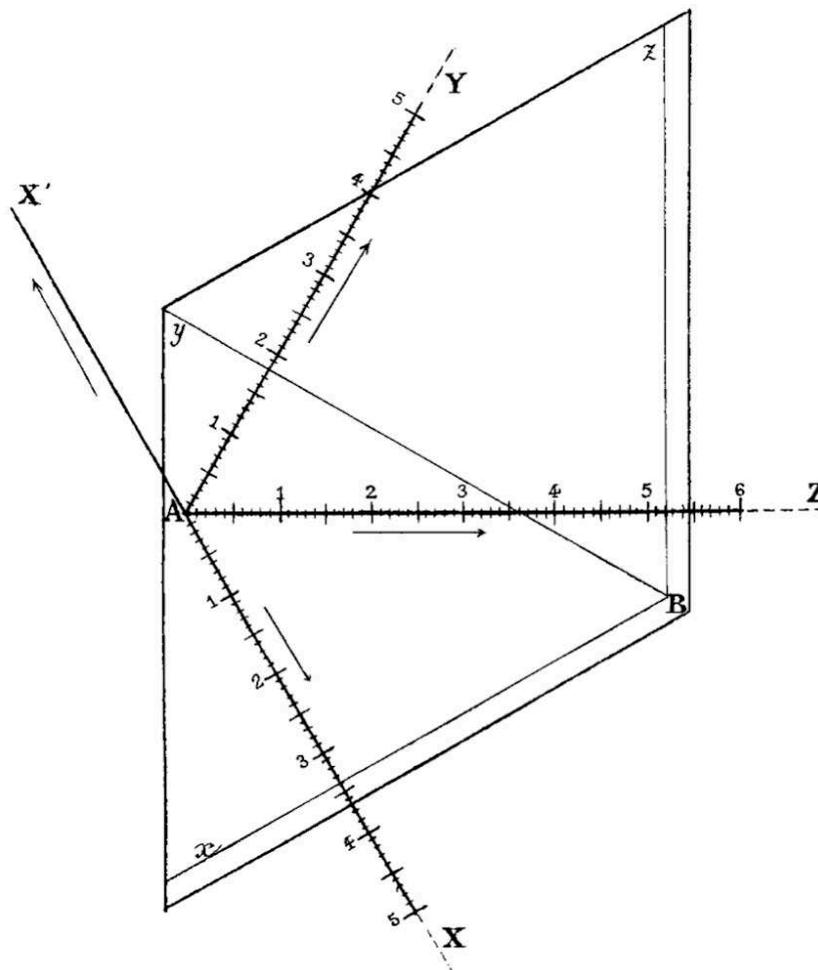


FIGURE 3.13 – Somme de 3,4 et 1,8 à l'abaque de Lallemand (1885). Source : ENPC

Le même type d'abaque, à condition d'utiliser des échelles logarithmiques, peut-être établi pour la multiplication et la division. Lallemand l'appelle abaque universel, auquel il va ensuite appliquer quelques modifications dans le but d'en réduire les dimensions en utilisant la « règle du glissement ». Il s'agit globalement de reporter une partie des échelles de (AX) et (AY) symétriquement par rapport à la perpendiculaire à (AZ) . Pour pouvoir utiliser cette nouvelle version d'abaque, le transparent précédent est transformé en un transparent dont la forme est un hexagone régulier avec ses trois diamètres. Lallemand donne le nom d'« abaque hexagonal » à cette sorte d'abaque pour la distinguer des abaques ordinaires⁴⁴.

44. LALLEMAND 1885c, p. 33.

Si nous étudions maintenant notre table de Pythagore, comme le montre la figure 3.14, le transparent étant représenté en bleu, la multiplication de 5 par 8 donne toujours 40. Pour cela, on lit en entrée les cotes 5 et 8 sur les deux échelles notées B et en sortie le résultat sur l'échelle BB. Les axes du transparent sont respectivement perpendiculaires aux échelles A, B et AA (et donc BB, ou AB).

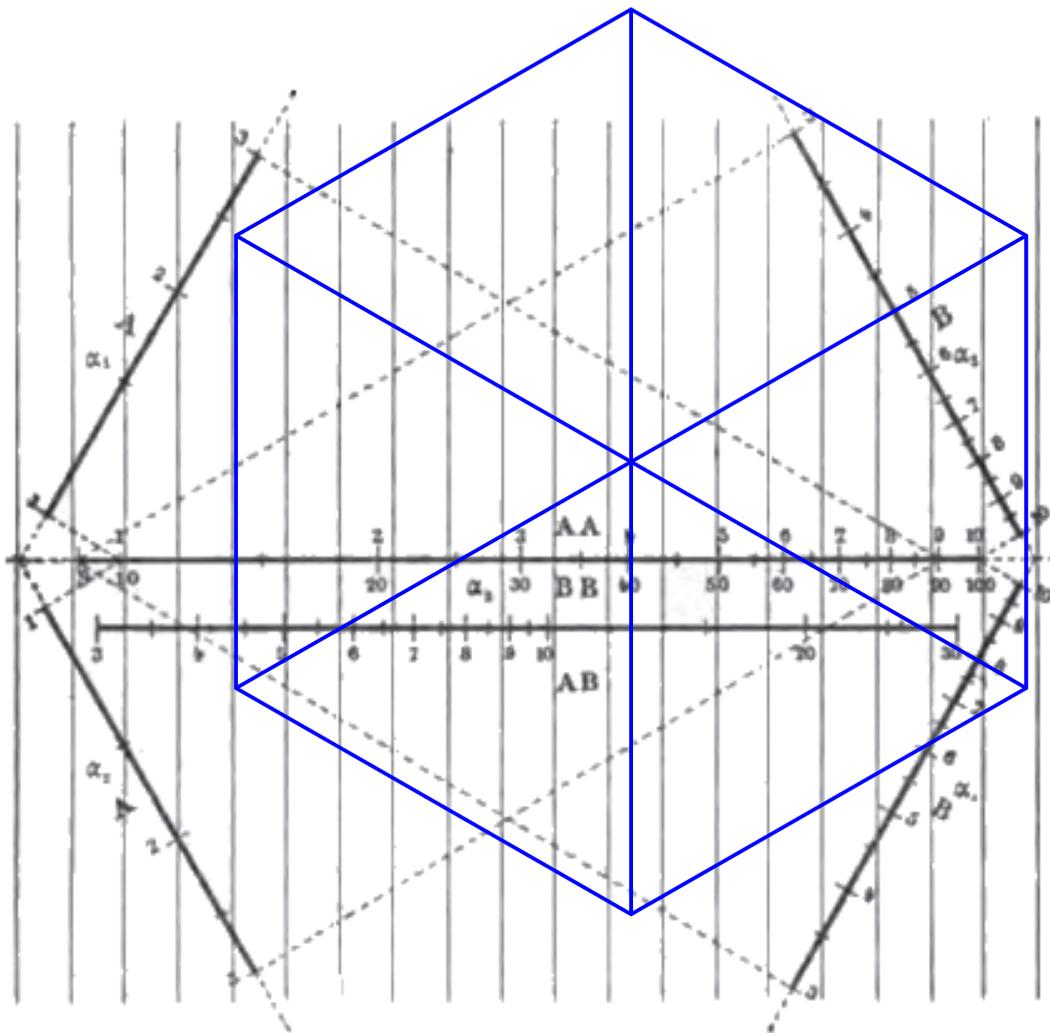


FIGURE 3.14 – Abaque hexagonal universel de la multiplication de Lallemand (1885). Source : ENPC

L'introduction des abaques hexagonaux de Lallemand ouvre donc des perspectives de calculs plus rapides : la lecture est plus aisée en vertu d'un abaque plus sobre et moins chargé, et surtout, cette méthode permet de représenter des lois dépendant d'un nombre quelconque de variables pourvu qu'elles soient séparées par groupes de trois ou qu'elles puissent le devenir avec l'introduction de variables intermédiaires.

3.2.4 1884 : les nomogrammes à points alignés de d'Ocagne

En faisant usage des abaques du type de Lalanne, d'Ocagne est frappé par la possibilité d'erreurs relatives au fait de suivre, à travers les faisceaux de parallèles serrées, les trois droites concourantes pour aller lire leur cote inscrite à l'extrémité de chacune d'elles, tout en risquant, au cours de ce déplacement, de passer d'une ligne à la suivante. De plus, l'interpolation de la troisième donnée dans le cas où le point d'intersection des deux premières droites se situerait entre deux droites, entraîne nécessairement une certaine imprécision. La méthode de Lallemand, quoiqu'elle engendre déjà une amélioration visuelle, peut encore être améliorée, puisqu'elle ne s'adapte qu'à un certain type d'équations : celles représentables par trois systèmes de droites parallèles. C'est à la suite de ces réflexions que d'Ocagne tente d'inventer une méthode personnelle permettant la représentation dans un nomogramme de trois systèmes de droites quelconques qu'il appelle dans un premier temps « méthode des points isoplèthes » en 1884, puis « méthode des points alignés ». La réelle innovation est de remplacer, par dualité, un système de droites concourantes par l'alignement de points. Le terme *isoplèthe*, du grec *iso*, égal et *plèthos*, quantité, désigne des courbes de même valeur (égales en grandeur) est emprunté à Christian August Vogler,⁴⁵ qui utilise ce terme pour les courbes que l'on peut assimiler à des courbes de niveau, en référence à des notions assez semblables d'isobarres, d'isothermes⁴⁶...

Le principe de la méthode est le suivant : d'Ocagne considère un abaque à trois systèmes d'isoplèthes rectilignes et il construit une figure corrélative telle qu'à chaque droite corresponde un point. Il obtient ainsi trois systèmes de points cotés qu'il appelle points isoplèthes. Ces systèmes constituent alors trois courbes graduées par une échelle. La lecture sur le nomogramme classique se faisant par intersection de trois courbes, par dualité, la lecture sur l'abaque à points alignés se fait alors tout simplement par l'alignement de trois points. Le nomogramme est de fait beaucoup moins chargé, ce qui lui permet d'être plus facile à utiliser et de diminuer nettement les erreurs d'interpolation puisqu'alors les valeurs sont continues. En guise d'exemple, le nomogramme de la figure 3.15⁴⁷ représente un système de courbes cotées. Si on a à déterminer la valeur de α_3 telle que $\alpha_1 = 2,75$

45. Christian August Vogler (1841-1925) : professeur de géodésie allemand.

46. Christian August VOGLER (1877). *Anleitung zum entwerfen graphischer tafeln und zu deren Gebrauch beim Schnellrechnen sowie beim Schnellquotiren mit Aneroid und Tachymete*. Ernst & Korn.

47. Maurice d' OCAGNE (1899). *Traité de nomographie. Théorie des abaques. Applications pratiques*. 1^{re} éd. Gauthier-Villars, fig. 52 p. 25.

et $\alpha_2 = 3,7$ il suffit de tracer un segment de droite passant par les deux valeurs données pour trouver la troisième : on lit alors $\alpha_3 = 3,2$. D'Ocagne précise à juste

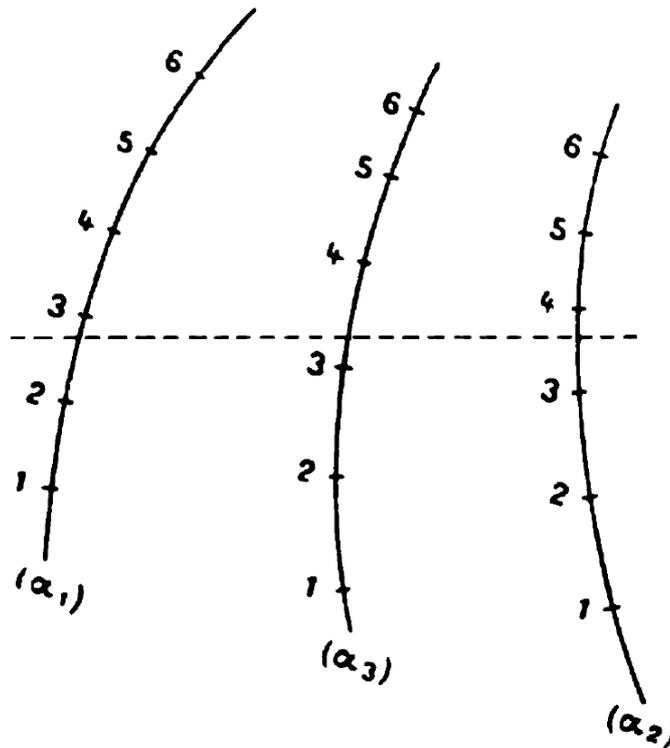


FIGURE 3.15 – Système de trois courbes cotées. D'Ocagne (1899). Source : ENPC

titre qu'il n'est pas nécessaire de tracer cette droite physiquement, mais qu'il suffit de tendre un fil ou d'utiliser un transparent à un index.

Dans son *Traité de nomographie*, d'Ocagne donne un exemple de nomogramme à points alignés⁴⁸ (voir fig. 3.16) pour notre fameuse table de Pythagore : il est constitué de cinq droites parallèles dont certaines sont doublement cotées constituant au total huit échelles. Cet abaque peut paraître compliqué au premier coup d'œil, et il est tout à fait possible de construire un abaque à points alignés avec uniquement trois droites parallèles et trois échelles. L'objectif ici est de réduire les dimensions du nomogramme et pour ce faire, les échelles sont fractionnées. Pour effectuer le produit de deux nombres (compris tous les deux entre 1 et 10), on repère le premier terme sur l'une des échelles de gauche : échelle (I) et (III) si le nombre est compris entre 1 et 3 et échelle (II) s'il est compris entre 3 et 10. Puis, on repère le deuxième terme sur l'une des échelles de droite : échelle (I) si le nombre est compris entre 1 et 3, échelle (II) s'il est compris entre 3 et 10 et que le

48. Ibid., fig. 64 p. 152.

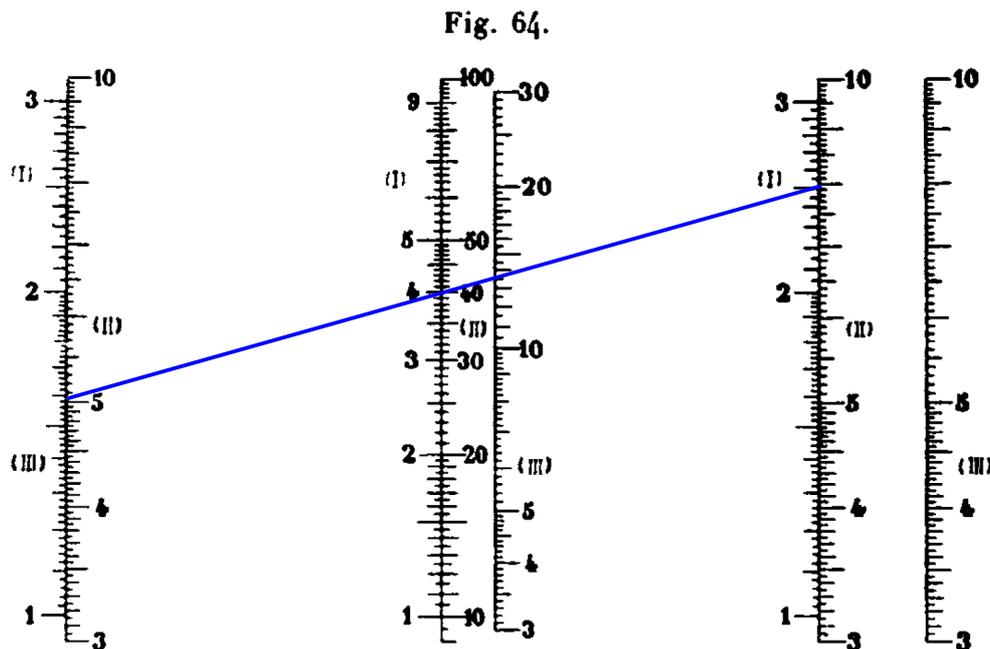


FIGURE 3.16 – Un exemple d'abaque pour la multiplication. D'Ocagne (1899). Source : ENPC

premier terme a été repéré sur l'échelle (II), et échelle (III) s'il est compris entre 3 et 10 et que le premier terme a été repéré sur l'échelle (III). On lit alors le résultat par alignement sur l'une des échelles du milieu dont le numéro correspond aux numéros des échelles des deux premier termes.

En choisissant la multiplication 5×8 par exemple, on repère 5 sur l'échelle (II) de gauche, 8 sur l'échelle (IV) de droite et on lit 40 sur l'échelle (III) du milieu.

Si les nombres sont supérieurs à 10 ou compris entre 0 et 1, on leur applique un coefficient décimal afin de les rendre exploitables dans cet abaque.

3.3 Étude de cas : déblais et remblais

Il y a un domaine qui aura fait progresser les mathématiques et les sciences en général, il s'agit du génie civil puisque ce domaine requiert un grand nombre de calculs et de savoir-faire techniques. Plus particulièrement, nous nous préoccupons ici de la construction du réseau ferroviaire. La période couvrant essentiellement la fin du 19^e siècle jusqu'à la Première Guerre mondiale prévoit la construction de milliers de kilomètres de lignes de voies ferrées afin d'obtenir un réseau permettant de desservir à terme toutes les sous-préfectures de France. Tracer des voies ferrées les plus rectilignes possibles reste un défi de taille en raison du relief

chaotique du paysage français. L'utilisation d'abaques par des techniciens ou des ingénieurs rendra de grands services ; il s'agit de la première utilisation massive de tels abaques.

3.3.1 Les chemins de fer en France au 19^e siècle

Au milieu du 19^e siècle, nous observons principalement trois modes de communication dédiés au déplacement d'hommes et de biens. Il s'agit des routes ordinaires, sur lesquelles circulent des hommes et des voitures mues par des chevaux : en 1844, on compte environ 70 000 km de routes royales et départementales. À cette époque, ce mode de déplacement est lent et coûteux, d'où la nécessité d'améliorer les voies navigables et les liens entre elles : fleuves et rivières pour les voies naturelles, artificielles pour les canaux, pour un total d'environ 8 000 km de cours d'eau navigables. Les transports lointains s'en trouvent facilités et moins onéreux ; cependant, la croissance constante de l'industrie, demandant de plus en plus de transport de marchandises, favorise l'émergence d'une nouvelle voie de communication plus rapide et pouvant transporter de grandes quantités de produits : le chemin de fer. Le perfectionnement de la machine à vapeur, initié par James Watt⁴⁹, contribue au développement de ce type de transport. Jean Lobet s'exprime en ces mots à ce sujet⁵⁰ :

« Les chemins de fer sont les voies de communication les plus parfaites qui existent. Ils offrent sur les canaux, les rivières et les routes l'inappréciable avantage de la vitesse, d'un service fixe, constant et régulier, complètement à l'abri des intempéries de l'air et des saisons. »

S'il est difficile de dater de manière exacte l'arrivée des premiers chemins de fer, on retrouve dès 1649 des « chemins de bois » utilisés dans des exploitations houillères de Newcastle-sur-Tyne, en Angleterre. La première utilisation de rails en fer au lieu du bois remonte à 1820, lorsque la fabrication du fer devient plus aisée et moins onéreuse. Le problème de l'époque est plutôt de faire circuler une machine à la seule force de la vapeur. Nicolas-Joseph Cugnot⁵¹ réalise en 1769 le *fardier à vapeur* : une machine propulsée grâce à la vapeur mais n'ayant ni frein ni direction et ne pouvant fonctionner qu'une quinzaine de minutes. À partir de là,

49. James Watt (1736-1819) : ingénieur écossais.

50. Jean LOBET (1845). *Des chemins de fer en France, ou traité des principes appliqués à leur tracé, à leur construction et à leur exploitation*. 2^e éd. Paris, Parent-Desbarres.

51. Nicolas-Joseph Cugnot (1725-1804) : ingénieur militaire français.

il faudra un demi-siècle pour que cette invention soit suffisamment perfectionnée afin de pouvoir l'utiliser sur des rails en fer, et c'est en 1829 que la France accueille ses premières locomotives à vapeur.

Le 11 juin 1842 est adoptée la loi relative à l'établissement de grandes lignes de chemins de fer⁵². Celle-ci impose d'établir un réseau de chemins de fer liant Paris aux pays frontaliers comme la Belgique, l'Angleterre, l'Allemagne, l'Espagne ainsi que l'océan Atlantique et la mer Méditerranée, tout en passant par les principales grandes villes françaises (Lille, Nancy, Strasbourg, Lyon, Marseille, Tours, Bordeaux...). Cette loi crée un partenariat public-privé pour lequel l'État est le propriétaire des terrains où seront construites les voies ferrées : il finance la construction des infrastructures, mais en concède l'usage à des compagnies qui bâtissent les voies et investissent dans le matériel roulant. Bientôt, les chemins de fer placent Paris à 14 h de Bordeaux, 11 h de Lyon ou encore 20 h de Marseille, une véritable révolution⁵³ ! Les convois de chemin de fer offrent un authentique spectacle aux passants et comme en témoigne la figure 3.17⁵⁴, on peut observer que ce nouveau mode est étudié de manière à optimiser le transport grâce à un seul véhicule tractant : la locomotive. Le tender permet de stocker la réserve de charbon nécessaire au fonctionnement de la locomotive à vapeur. Puis deux sortes principales de voitures se partagent l'espace : celles destinées à transporter les voyageurs (la diligence à coupé, la plus luxueuse ; la diligence de 2^e classe, et enfin le wagon découvert, le moins coûteux), et celles destinées au transport d'animaux et d'objets de toutes sortes : marchandises, bagages, voitures...

En 1852, le réseau s'étend sur 3 000 km, 17 000 km en 1870 et 26 000 km en 1882. Le rail pénètre peu à peu dans des contrées plus reculées permettant le déplacement des personnes et des biens.

3.3.2 Le problème géométrique des déblais et remblais

Outre les problèmes de locomotives, le tracé des voies de chemin de fer a pendant longtemps été un réel casse-tête pour les ingénieurs : en effet, l'adage qui dit que le chemin le plus court est la ligne droite ne s'applique pas pour les chemins de fer. Trouver la ligne la plus appropriée pour relier deux villes principales n'est

52. Royaume de FRANCE (1842). « Loi relative à l'établissement de grandes lignes de chemins de fer ». *Bulletin des lois de la République française*.

53. Pierre Bos DARNIS (1843). *Histoire des chemins de fer*. 2^e éd. Paris, Administration et rédaction du journal des connaissances utiles, p. 16.

54. *Ibid.*, p. 17.

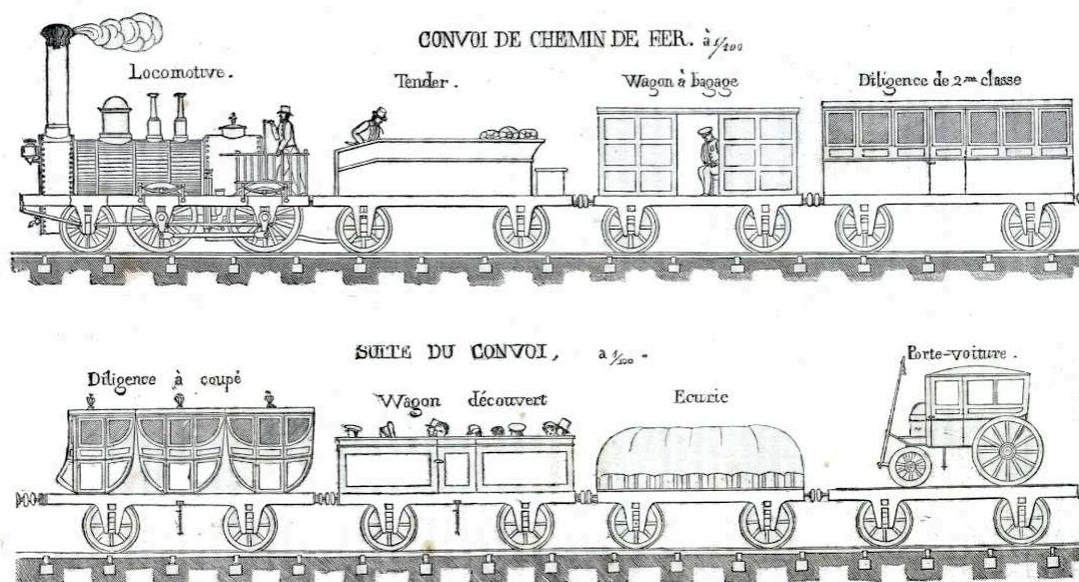


FIGURE 3.17 – Un convoi de chemin de fer classique au milieu du 19^e siècle. Source : gallica.bnf.fr

pas une mince affaire, car il faut faire face à un problème d'optimisation relevant de multiples contraintes techniques, mais aussi sociales et économiques (se rapprocher au maximum des richesses naturelles par exemple).

Techniquement, quatre paramètres principaux sont à étudier : la pente, la vitesse, la consommation et la sécurité. Ces paramètres sont intimement liés à la longueur de la voie, le degré d'inclinaison et le rayon de courbure de chaque virage. Pour tracer au mieux la voie de communication, il faut percer des montagnes, combler des vallées et effectuer des opérations de nivellement. Par conséquent, il est fondamental de maîtriser les travaux d'art (ponts, aqueducs, viaducs...) et de terrassement (transport des terres par déblais et remblais).

L'étude qui nous intéresse ici est un problème d'optimisation : comment effectuer le transport de terres d'un endroit à un autre permettant un déplacement minimal ? La figure 3.18⁵⁵ nous donne un exemple de courbe à obtenir (la droite AB) de manière à avoir une pente correcte. Pour cela, le plan de coupe suggère qu'il faut déplacer un maximum de terre située à l'intérieur des polygones « au dessus » de la droite (AB) comme Aabcd (déblai) aux polygones situés « en dessous »

55. Edward-Georges HUGUES (1847). *Tables donnant en mètres cubes les volumes des terrassements dans les déblais et remblais des chemins de fer, canaux, routes, etc.* Paris, librairie scientifique-industrielle, pl. 2 fig. 3.

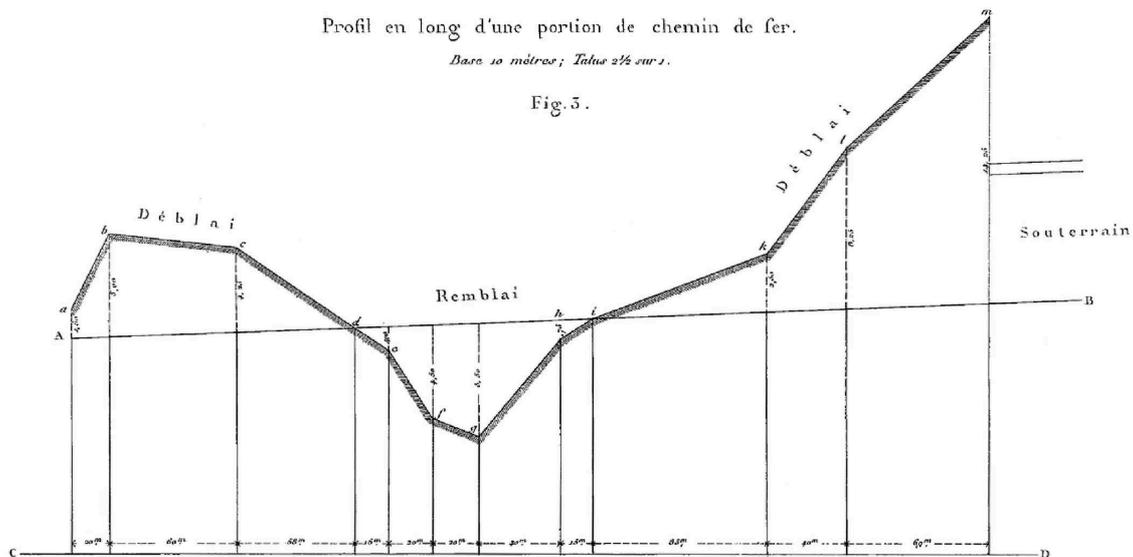


FIGURE 3.18 – Profil en long d'une portion de chemin de fer. Hugues (1847). Source : gallica.bnf.fr

de la droite (AB) comme defghi (remblai).

Gaspard Monge⁵⁶ est le premier à s'atteler à la tâche, il y consacre notamment un *Mémoire sur la théorie des déblais et des remblais*⁵⁷, où il expose ainsi le problème à résoudre⁵⁸ :

« Lorsqu'on doit transporter des terres d'un lieu dans un autre, nous avons coutume de donner le nom de déblai au volume des terres que l'on doit transporter, et le nom de remblai à l'espace qu'elles doivent occuper après le transport. Le prix du transport d'une molécule étant, toutes choses d'ailleurs égales, proportionnel à son poids et à l'espace qu'on lui fait parcourir, et par conséquent le produit du transport total devant être proportionnel à la somme des produits des molécules multipliées par l'espace parcouru, il s'ensuit que le déblai et le remblai étant donnés de figure et de position, il n'est pas indifférent que telle molécule du déblai soit transportée dans tel ou tel autre endroit du remblai, mais qu'il y a une certaine distribution à faire des molécules du premier dans le second, [...] d'après laquelle la somme de ces produits sera la moindre possible, et le prix du transport to-

56. Gaspard Monge (1746-1818) : comte de Péluse, mathématicien spécialisé en géométrie et homme politique français.

57. Gaspard MONGE (1783). « Mémoire sur la théorie des déblais et des remblais ». *Histoire de l'Académie royale des sciences*.

58. Le texte original est en ancien français, il a été ici modernisé.

tal sera un minimum.

C'est la solution de cette question que je me propose de donner ici. »

Sans entrer dans les détails, il propose dans son mémoire deux parties en considérant tour à tour des aires puis des volumes à déplacer. Étienne Ghys dira à son propos « qu'il ne résout pas le problème mais qu'il engendre une série de problèmes riches et féconds »⁵⁹.

En 1822, Charles Dupin⁶⁰ tente lui aussi de résoudre le problème de transport de terre. Dans son troisième mémoire intitulé *Sur le tracé des routes, dans les déblais et remblais*⁶¹, il reprend des éléments de Monge en partant du transport à une, deux, puis trois dimensions tout en prenant en compte des cas particuliers, mais pourtant courants, de routes qui ne sont pas parfaitement linéaires ou qui ne sont pas parfaitement définies.

En 1884, le problème n'est toujours pas résolu, l'Académie des sciences charge une commission constituée de MM. Bertrand, Hermitte, Darboux, Jordan et Bouquet de juger le concours du prix Bordin en sciences mathématiques⁶² dont le sujet est la suivant : « Soit l'étude générale du problème des déblais et des remblais. Soit la solution dans un cas simple choisi par l'auteur du mémoire ». Trois candidats sont récompensés le 21 décembre 1885 : Paul Appell⁶³ reçoit un prix de 2 000 francs pour son mémoire⁶⁴, qu'il complètera par un autre article en 1928⁶⁵ sans apporter de réelle solution. Otto Ohnesorge, dont le mémoire manuscrit semble ne pas avoir été retrouvé, reçoit un prix de 1 000 francs. Enfin, Albert de Saint-Germain établit un mémoire⁶⁶ qui tente de compléter les travaux de Monge et Dupin, précisant certains points et soulignant quelques erreurs. Il reçoit la mention honorable.

Plus récemment, le problème est toujours fécond et il est parfois nommé d'une

59. Étienne GHYS (2012). *Gaspard Monge, le mémoire sur les déblais et remblais*. URL : <http://images.math.cnrs.fr/Gaspard-Monge,1094.html> (visité le 18/10/2020).

60. Charles Dupin (1784-1873) : mathématicien, ingénieur, économiste et homme politique français

61. Charles DUPIN (1822). *Applications de géométrie et de mécanique, à la marine, aux ponts et chaussées, etc.* Paris, Bachelier, successeur de M^{me} V^e Courcier.

62. Pierre GAUJA (1917). « Prix Bordin, 1884-1885 ». *Les fondations de l'académie des sciences 1881-1915*.

63. Paul Appell (1855-1930) : mathématicien français.

64. Paul APPELL (1887). « Mémoire sur les déblais et remblais des systèmes continus ou discontinus ». *Mémoires présentés par divers savants à l'Académie royale des sciences de l'Institut de France*.

65. Paul APPELL (1928). « Le problème géométrique des déblais et remblais ». *Mémorial des sciences mathématiques*.

66. Albert de SAINT-GERMAIN (1886). « Étude sur le problème des déblais et des remblais ». *Mémoires de l'Académie nationale des sciences, arts et belles-lettres de Caen*.

façon très imagée « La brouette de Monge ». En 1940, Leonid Kantorovitch⁶⁷ revient sur la question en application à des problèmes économiques de transport optimal.

3.3.3 La solution des nomogrammes

Mais revenons à l'époque qui nous préoccupe, et étudions quelques cas classiques de remblai et de déblai, puisque c'est à cette occasion que beaucoup de méthodes nomographiques ont été développées.

En 1896, d'Ocagne réunit dans un livre intitulé *Application générale de la nomographie au calcul des profils de remblai et déblai*⁶⁸ les travaux sur ce thème en abordant trois axes :

- donner une base commune à tous les abaques existants ou à créer ;
- montrer que, malgré les différences dans la construction d'abaques, le résultat reste le même ;
- déduire de la théorie quel type d'abaque il faudrait construire afin qu'il soit le plus simple à utiliser.

Un peu de génie civil : étude de terrain pour la construction des routes et des voies ferroviaires

Quelles que soient les voies tracées, qu'elles soient destinées aux voitures à cheval ou au chemin de fer, les contraintes sont similaires. Elles doivent résister aux nombreux passages et au poids des véhicules, à l'usure, aux éléments naturels tels que la pluie et le vent, et doivent également être relativement planes, sans déclivité transversale et ne pas avoir une trop forte pente. De telles voies n'existent en réalité quasiment pas dans la nature, d'où la nécessité de transporter des terres. Lorsque la voie à construire se situe au dessus du terrain naturel, on parle de remblai et lorsque que celle-ci est située en dessous du terrain naturel, il s'agit de déblai. À partir d'un relevé topographique, les ingénieurs ont donc à établir deux sortes de profils : les profils en travers (voir fig. 3.19)⁶⁹, qui sont des coupes perpendiculaires à l'axe de la voie, et le profil en long (voir fig. 3.18) qui

67. Leonid Kantorovitch (1912-1986) : mathématicien et économiste soviétique, spécialiste de l'optimisation.

68. Maurice d'OCAGNE (1896c). *Application générale de la nomographie au calcul des profils de remblai et déblai, avec une instruction pratique pour la construction et le mode d'emploi des abaques à points isoplèthes*. Dunod et Vicq.

69. R. PUJOL (1909). *Routes : cours de construction - Officiers-élèves du Génie et de l'artillerie coloniale, 3 leçons*. Lithographie de l'École d'application de l'artillerie et du Génie, p. 2.

est une coupe verticale qui suit l'axe de la voirie. Ces profils permettent alors de

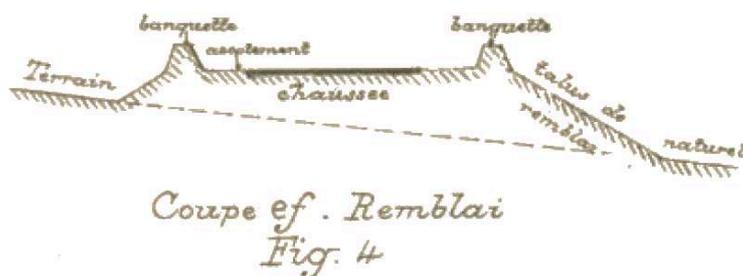
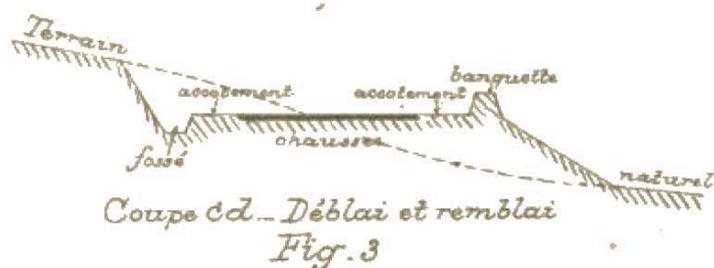
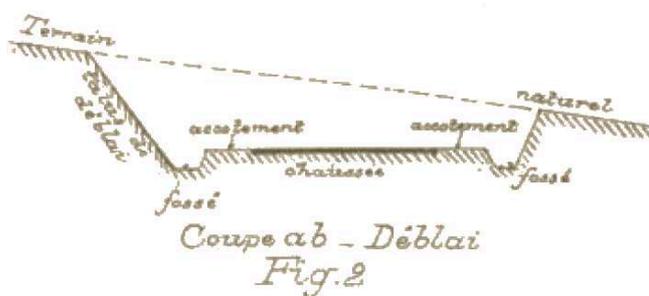
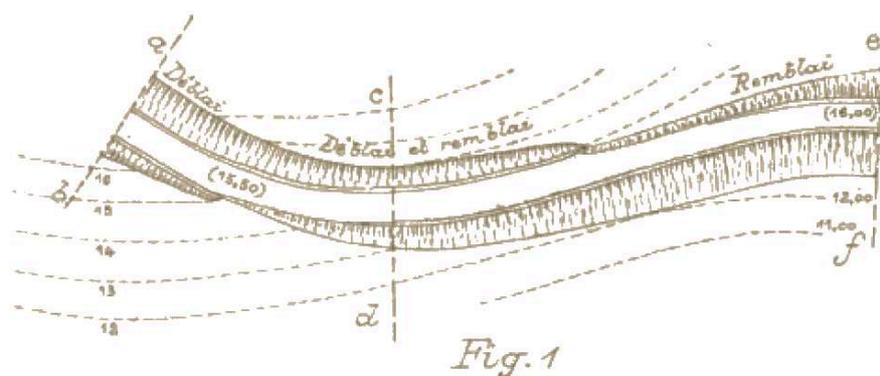


FIGURE 3.19 – Profils en travers les plus courants : tout en déblai, tout en remblai ou mixte, en déblai et en remblai. Pujol (1909). Source : gallica.bnf.fr

déterminer le tracé optimal de manière à avoir un volume de déblai et de remblai, appelé cubature, le plus faible possible. Le calcul des cubatures est alors déterminant afin de fixer un tracé le plus économique possible : l'objectif est de recher-

cher un maximum de compensations de terrassement afin d'obtenir un équilibre des déblais et des remblais. Cependant, cet équilibre dépend également de la distance de transport des terres : en effet, si le transport d'une section en déblai se situe à une trop grande distance de sa partie correspondante en remblai, le coût et le travail engendrés ne seront pas avantageux par rapport à un dépôt de terre au voisinage de la voie ou à une extraction de terre à proximité.

Dans son cours de constructions routes⁷⁰, R. Pujol⁷¹ explique que la méthode employée pour le calcul des volumes est celle de la moyenne des aires. Celle-ci consiste globalement en trois grandes étapes :

- évaluer, pour chaque profil en travers d'une section, les aires respectives des parties en déblai et en remblai ;
- calcul des cubatures : entre deux profils consécutifs en déblai ou en remblai, on calcule le volume de terre par la formule $V = \frac{S_1 + S_2}{2} \times \ell$ où S_1 et S_2 sont les surfaces des deux profils consécutifs et ℓ la distance les séparant. Le volume total étant la somme des volumes pour chacune des sections ;
- recherche de la compensation la meilleure : celle-ci se fait de proche en proche en fonction du profil en long, quitte à remanier le tracé et à effectuer de nouveau les étapes précédentes.

Les profils en travers

Pujol⁷² souligne dans son cours de routes :

« Il existe, pour le calcul des surfaces des profils, de nombreux procédés ainsi que des tables numériques ou graphiques qui abrègent les opérations. »

C'est pour la première étape notamment que d'Ocagne a réalisé ses abaques à points alignés, dans son livre intitulé *Application générale de la nomographie au calcul des profils de remblai et de déblai*⁷³, il détermine six cas permettant d'établir l'aire du profil en travers pour n'importe quelle situation. Pour chacun de ces cas, il commence par désigner la formule à utiliser. Afin de bien appréhender les formules, il faut tout d'abord comprendre quelques principes de construction de

70. PUJOL 1909.

71. R. Pujol, capitaine du Génie et Instructeur à l'École d'application de l'artillerie et du génie français.

72. PUJOL 1909, p. 56.

73. Maurice d'OCAGNE (1896c). *Application générale de la nomographie au calcul des profils de remblai et déblai, avec une instruction pratique pour la construction et le mode d'emploi des abaques à points isoplèthes*. Dunod et Vicq.

voies de chemin de fer. Pour un profil en travers, il faut prendre en considération les éléments suivants en reprenant les notations de d'Ocagne (voir fig. 3.20) :

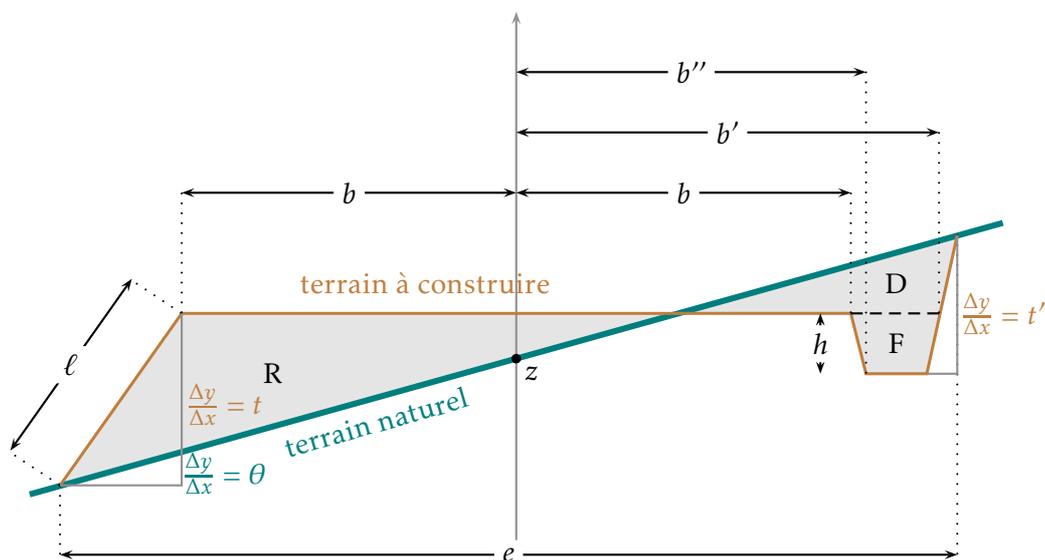


FIGURE 3.20 – Profil en travers

- la plate-forme est la chaussée sur laquelle on va disposer les voies de chemin de fer, elle doit être quasiment horizontale et on note b sa demi-largeur ;
- le terrain naturel a la cote z prise à partir du centre de la plate-forme, sa déclivité transversale, c'est-à-dire la pente qu'elle fait avec la plate-forme est de θ ;
- le talus de remblai ou de déblai a pour longueur ℓ , la pente du talus de remblai est notée t et celle du talus de déblai est dotée t' ;
- en cas de déblai sur une pente, il est nécessaire d'ajouter un fossé favorisant l'écoulement des pluies et des terres, sa hauteur est h , la somme de sa largeur au fond et des longueurs des deux talus résultants du fossé est notée φ ;
- b' et b'' sont respectivement les demi-largeurs augmentées de la largeur du fossé et de la distance séparant le début du fossé à son arête intérieure la plus proche ;
- l'emprise e est la longueur totale du chantier, plate-forme, fossé et talus compris ;
- enfin, on notera R l'aire de la section du remblai, F celle du fossé éventuel et D celle du déblai comprenant l'aire du fossé s'il existe.

Les six cas qu'il détermine dépendent globalement de deux paramètres :

- le signe de z , pris positif si à l'origine, le terrain naturel est situé au dessus de la plate-forme à bâtir, négatif dans le cas contraire ;
- la pente θ que le terrain naturel fait par rapport à la plate-forme (voir fig. 3.21). Ce dernier est classé selon trois possibilités :
 - le cas où le terrain naturel reste totalement en dessous d'un fossé éventuellement construit en cas de déblai, donc qui passe en dessous du coin inférieur et intérieur du fossé. Ceci est modélisé par le fait que θ est inférieur à $-\frac{z+h}{b''}$;
 - le cas où le terrain naturel reste totalement au dessus d'un fossé éventuellement construit en cas de déblai, donc qui passe au dessus du coin supérieur et intérieur du fossé, modélisé par le fait que θ est supérieur à $-\frac{z}{b}$;
 - et enfin le cas intermédiaire.

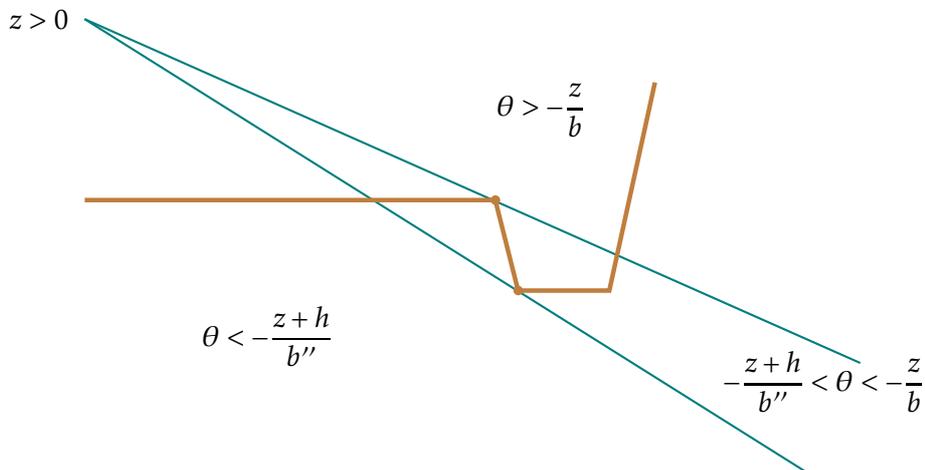


FIGURE 3.21 – Disjonction des cas en fonction de la pente du terrain naturel

Il obtient les résultats suivants :

Paramètres z et θ

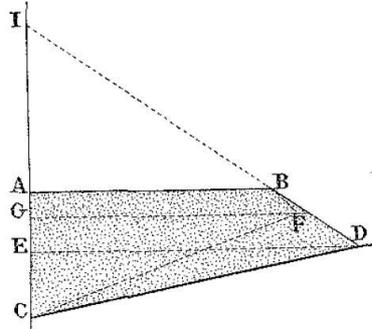
Exemple de schématisation

Formules de déblai et de remblai

I - Demi-profil simple en remblai

$z < 0$

$\theta < -\frac{z+h}{b''}$

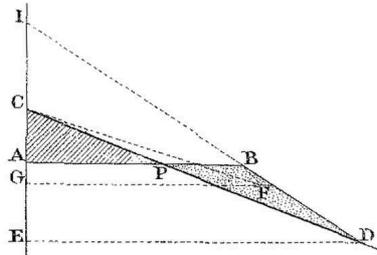


$$R = \frac{(bt - z)^2}{2(t + \theta)} - \frac{b^2 t}{2}$$

II - Demi-profil mixte en remblai

$z > 0$

$\theta < -\frac{z+h}{b''}$



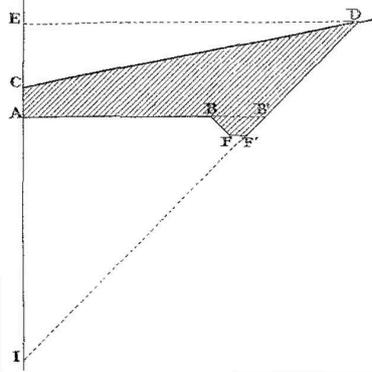
$$R = \frac{(bt - z)^2}{2(t + \theta)} - \frac{b^2 t}{2} + \frac{z^2}{2|\theta|}$$

$$D = \frac{z^2}{2|\theta|}$$

III - Demi-profil simple en déblai

$z > 0$

$\theta > -\frac{z}{b}$

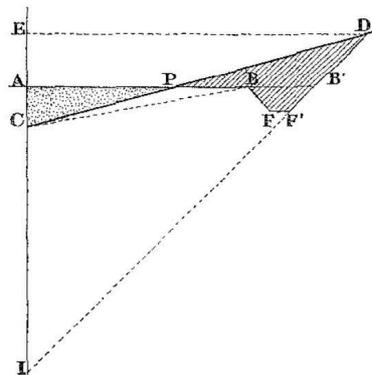


$$D = \frac{(b't' + z)^2}{2(t' - \theta)} - \frac{b'^2 t'}{2} + F$$

IV - Demi-profil mixte en déblai

$z < 0$

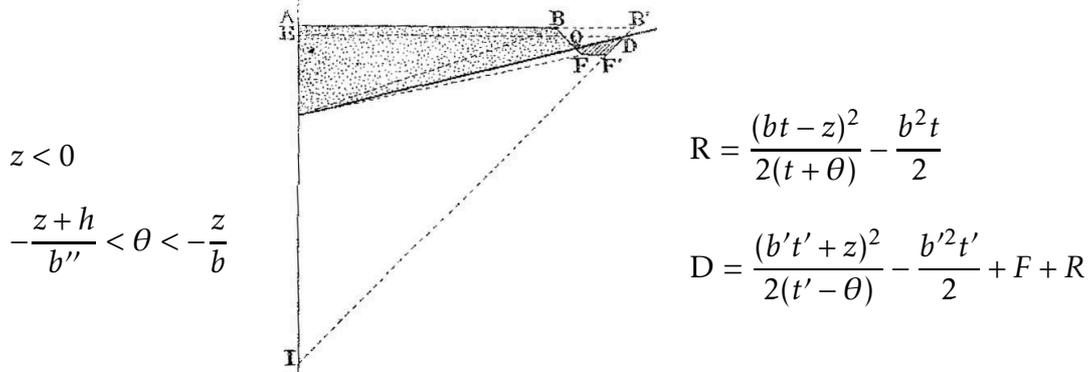
$\theta > -\frac{z}{b}$



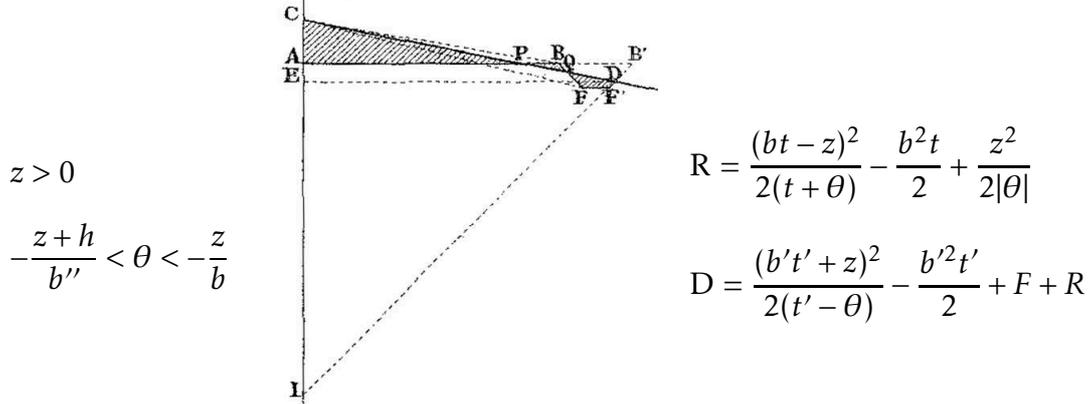
$$R = \frac{z^2}{2\theta}$$

$$D = \frac{(b't' + z)^2}{2(t' - \theta)} - \frac{b'^2 t'}{2} + F + \frac{z^2}{2\theta}$$

V - Demi-profil mixte en remblai, le terrain naturel rencontrant le talus inférieur du fossé



VI - Profil mixte en déblai, le terrain naturel rencontrant le talus inférieur du fossé



Pour déterminer ces formules, d'Ocagne commence tout d'abord par calculer l'emprise, puis la longueur du talus, et enfin les aires du déblai et/ou du remblai. Prenons par exemple le cas IV :

Calcul de l'emprise : on a d'une part

$$IC = IA - AC = b't' - (-z) = b't' + z$$

et d'autre part

$$IC = IE - EC = et' - e\theta$$

D'où

$$b't' + z = et' - e\theta \iff e(t' - \theta) = b't' + z \iff e = \frac{b't' + z}{t' - \theta}$$

Longueur totale du talus :

$$\ell = BF + FF' + F'B' + B'D$$

d'après les données, on a

$$BF + FF' + F'B' = \varphi$$

et

$$\sin(\widehat{B'DE}) = \frac{AE}{B'D} = \frac{t'}{\sqrt{1+t'^2}} \iff B'D = \frac{AE \times \sqrt{1+t'^2}}{t'}$$

avec

$$AE = IE - IA = et' - b't'$$

d'où

$$\ell = \varphi + \frac{\sqrt{1+t'^2} \times t'(e-b')}{t'} = \varphi + \sqrt{1+t'^2} \left(\frac{b't' + z}{t' - \theta} - b' \right)$$

Aire du remblai :

$$R = \text{aire}(APC) = \frac{AC \times AP}{2} = \frac{z \times \frac{z}{\theta}}{2} = \frac{z^2}{2\theta}$$

Aire de déblai : par décomposition des aires, on a

$$\begin{aligned} D &= \text{aire}(IDC) - \text{aire}(ICPB') + \text{aire}(BFF'B') \\ &= \text{aire}(IDC) - \text{aire}(IAB') + \text{aire}(APC) + F \\ &= \frac{IC \times ED}{2} - \frac{IA \times AB'}{2} + \frac{z^2}{2\theta} + F \\ &= \frac{e(t' - \theta) \times e}{2} - \frac{b't \times b'}{2} + \frac{z^2}{2\theta} + F \\ &= \frac{e^2(t' - \theta)}{2} - \frac{b'^2 t}{2} + \frac{z^2}{2\theta} + F \\ &= \frac{(b't' + z)^2 \times (t' - \theta)}{(t' - \theta)^2 \times 2} - \frac{b'^2 t}{2} + \frac{z^2}{2\theta} + F \\ &= \frac{(b't' + z)^2}{2(t' - \theta)} - \frac{b'^2 t}{2} + \frac{z^2}{2\theta} + F \end{aligned}$$

Nous pouvons faire quelques remarques concernant ces résultats :

- pour les remblais des cas V et VI, la formule déterminée est dépendante de la pente du talus de déblai notée t' qu'il substitue par t afin de simplifier les calculs. La raison qu'il donne à cela est que ces cas ne se trouvent finalement pas souvent dans la nature, et que la différence est suffisamment négligeable pour ne pas avoir de trop grandes conséquences sur les calculs ;
- le nombre de cas à étudier peut varier d'une personne à une autre. Lalanne, par exemple, avait déterminé neuf cas⁷⁴ ;
- d'Ocagne reprend en partie cette application dans son *Traité de nomographie* de 1899, et en 1921. À l'occasion de la deuxième édition, les deux derniers cas disparaissent, faisant passer à quatre le nombre de cas possibles. La raison de cette disparition tient au fait que, par la pratique, ce type de configuration n'a aucun intérêt.

Les nomogrammes pour le calcul des aires

De nombreux nomogrammes de types différents ont été construits à partir de ces formules. Citons par exemple l'abaque à graduations algébriques d'Emmanuel-Napoléon Davaine^{75,76} en 1845, les abaques superposés à graduations logarithmiques de Lalanne⁷⁷ en 1850, les abaques hexagonaux de Lallemand⁷⁸ en 1885... Avec la méthode des points alignés de d'Ocagne, c'est un abaque relativement simple qui fait alors son apparition (voir fig. 3.22)⁷⁹.

Sans entrer dans le détail de la construction pratique du nomogramme, regardons comment d'Ocagne a élaboré cet abaque : en étudiant les formules de déblai et de remblai pour les six cas (on se place au début du contexte nomographique, à un moment où les deux derniers cas font encore partie de son étude), il apparaît de nombreuses similitudes que d'Ocagne relève très rapidement.

74. Léon LALANNE (1839). *Tables nouvelles pour abrégé divers calculs relatifs aux projets de routes principalement les calculs des terrassements et des plans parcellaires*. Paris, Imprimerie royale, p.xxvij.

75. Emmanuel-Napoléon DAVAINÉ (1804-1864) : ingénieur français des Ponts et Chaussées.

76. Emmanuel-Napoléon DAVAINÉ (1849). « Note explicative sur la construction et l'emploi d'un tableau graphique servant à calculer les surfaces de déblai et de remblai et les largeurs des profils ». *Annales des ponts et chaussées*. 17, p. 356-362.

77. Léon LALANNE (1850). « Détermination des surfaces de déblai et de remblai et des longueurs de profils, pour la rédaction des projets de route ». *Annales des ponts et chaussées*. 19, p. 133-170.

78. LALLEMAND 1885c, p. 97-107.

79. Maurice d' OCAGNE 1899, pl. 1.

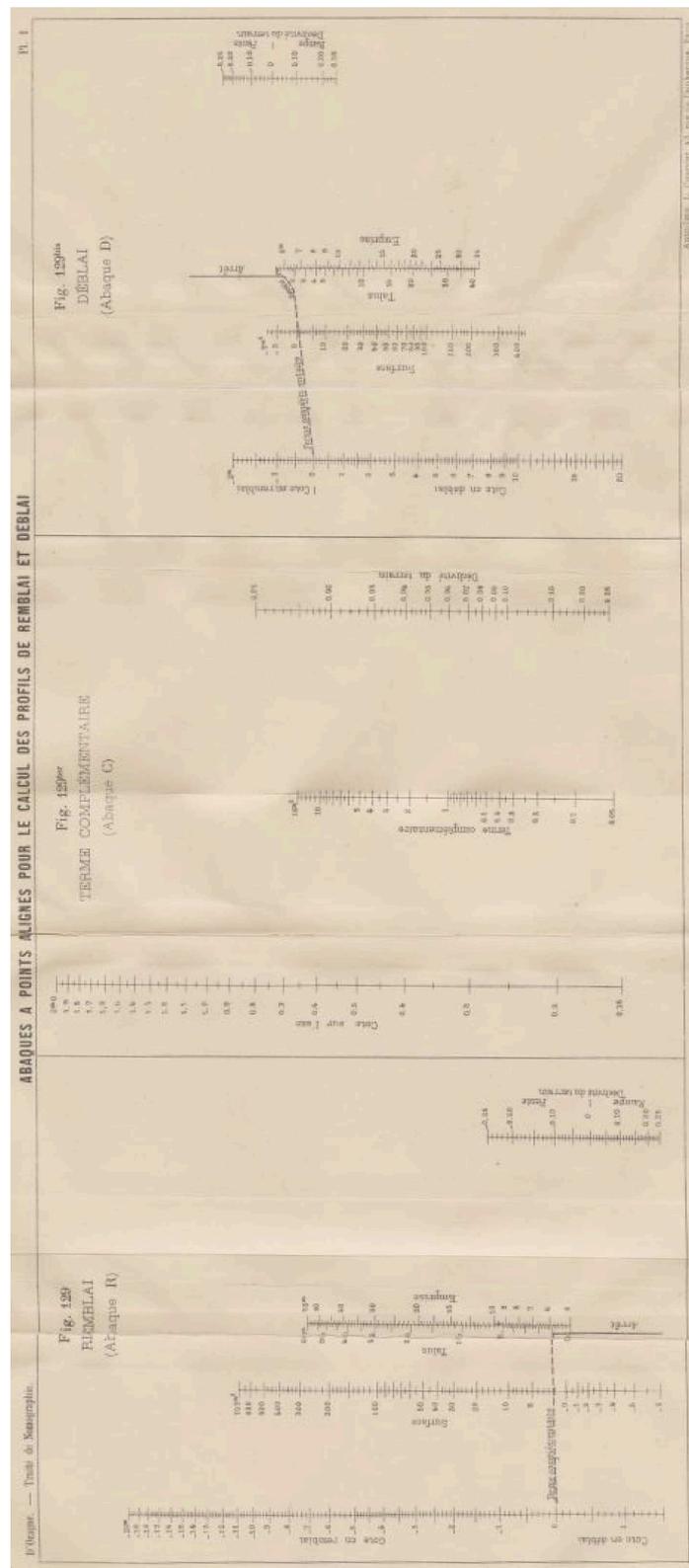


FIGURE 3.22 – Abaques à points alignés pour le calcul de remblai et de déblai. Ocagne (1899)

En effet, en notant σ, θ et σ' les quantités

$$\sigma = \frac{(bt - z)^2}{2(t + \theta)} - \frac{b^2 t}{2} ; \quad \gamma = \frac{z^2}{2|\theta|} ; \quad \sigma' = \frac{(b't' + z)^2}{2(t' - \theta)} - \frac{b'^2 t'}{2} + F$$

les formules de déblai et de remblai des six cas se transforment ainsi :

- Cas I : $R = \sigma$.
- Cas II : $R = \sigma + \gamma$ et $D = \gamma$.
- Cas III : $D = \sigma'$.
- Cas IV : $R = \gamma$ et $D = \sigma' + \gamma$.
- Cas V : $R = \sigma$ et $D = \sigma' + \sigma$.
- Cas VI : $R = \sigma + \gamma$ et $D = \sigma' + \sigma + \gamma$.

De cette manière, trois nomogrammes suffisent à déterminer tous les cas possibles : un nomogramme **R** de remblai correspondant à la variable σ , un nomogramme **D** de déblai correspondant à la variable σ' , et un nomogramme **C** pour le terme complémentaire γ . En fonction du cas étudié, on se contentera donc d'utiliser entre un et trois nomogrammes. Les trois abaques sont à droites parallèles et à points alignés, simplifiant ainsi au maximum l'utilisation et la lecture. Les nomogrammes de remblai et de déblai sont constitués de deux échelles principales par lesquelles on entre dans l'abaque : l'échelle de la cote z du terrain naturel, la cote étant en déblai ou en remblai, et l'échelle de la déclivité du terrain, selon s'il est en pente ou en rampe. Trois échelles de sortie permettent d'obtenir les informations nécessaires : une échelle double donnant la longueur de l'emprise et du talus, et l'échelle de la surface de remblai ou de déblai. Le nomogramme du terme complémentaire comprend, lui, les deux échelles principales de la cote et de la déclivité du terrain naturel, ainsi que l'échelle de lecture du terme complémentaire.

Le principe des nomogrammes est de simplifier les calculs, mais aussi de pouvoir être utilisé par n'importe quelle personne n'ayant pas forcément toutes les compétences pour déterminer le cas dans lequel il se situe. Pour cela, les nomogrammes de déblai et de remblai comportent également des barres supplémentaires permettant de déterminer le déblai et le remblai dans n'importe quel cas. Chacun de ces nomogrammes comprend tout d'abord une « barre d'arrêt » (un segment parallèle aux échelles). Lorsque l'on relie la cote z à la déclivité θ en entrant soit par l'abaque de remblai, soit par l'abaque de déblai, si cette ligne croise la barre d'arrêt, cela signifie qu'il faut utiliser l'autre abaque (déblai ou remblai). Ils disposent

en outre d'un ou deux segments en pointillés nommés « terme complémentaire » et « remblai ». Si la ligne coupe ces segments, cela signifie qu'il faut se rapporter au nomogramme cité. D'Ocagne donne le mode d'emploi de ce triple abaque de la façon suivante⁸⁰ :

*« On entre dans l'abaque **R** ou **D**, sur lequel l'index⁸¹ ne rencontre pas la barre d'arrêt, et on lit immédiatement l'emprise et le talus.*

*Si l'index ne rencontre aucune barre de renvoi, on lit, en outre, immédiatement la surface, et celle-ci est de même désignation, **R** ou **D**, que l'abaque dans lequel on se trouve.*

Si l'index rencontre une ou plusieurs barres de renvoi, on se reporte aux abaques indiqués par le mot écrit à côté de chacune de ces barres. La somme des lectures faites sur l'abaque d'entrée et sur les abaques de renvoi donne la surface de même désignation que l'abaque d'entrée. La somme des lectures faites sur les abaques de renvoi donne la surface de désignation contraire. »

Imaginons, par exemple, une cote égale à 1 m (donc en déblai) et une déclivité de $-0,1$ (en pente). Sur la figure 3.22, la ligne rejoignant ces deux coordonnées dans l'abaque de remblai coupe la barre d'arrêt. Il faut donc transporter ces mêmes cotes sur l'abaque de déblai, qui donne immédiatement une surface de 5 m^2 , ainsi qu'une emprise de $6,8 \text{ m}$ et un talus de 2 m . Nous pouvons en déduire par ailleurs que nous sommes dans le cas III d'un demi-profil simple tout en déblai.

Prenons un autre exemple : $z = 0,2$ et $\theta = -0,25$. La ligne passant par ces deux cotes ne traverse pas la barre d'arrêt de l'abaque de remblai et on trouve immédiatement l'emprise $e = 7,2 \text{ m}$, la longueur du talus $\ell = 2,7 \text{ m}$ et la surface de remblai $S_R = 3 \text{ m}^2$. Cependant, l'indicatrice traversant le segment du terme complémentaire, il faut ajouter à cette valeur la valeur trouvée dans l'abaque C. La ligne indicatrice du terme complémentaire nous donne $T_C = 0,13 \text{ m}^2$. La surface de remblai est alors de $S = 3 \text{ m}^2 + 0,13 \text{ m}^2 = 3,13 \text{ m}^2$ et la surface de déblai est de $D = 0,13 \text{ m}^2$. Nous nous situons dans les cas II d'un profil mixte en remblai.

80. Maurice d' OCAGNE 1899, p. 290.

81. La ligne qui relie la cote à la déclivité du terrain.

3.4 Conclusion

À la fin du 19^e siècle, différents outils et techniques de calcul coexistent : il s'agit par exemple des machines mécaniques, des règles à calcul, des tableaux numériques, du calcul graphique et de la nomographie. Ces techniques sont nées de besoins de plus en plus grandissants de pouvoir effectuer des calculs rapidement ou de manière systématique.

Dès l'Antiquité, les grecs confectionnent des analemmes, figures graphiques permettant de se repérer dans le temps. Au Moyen-Âge, les Arabes construisent aux alentours du 8^e siècle des astrolabes dans le même objectif, passant ainsi d'un simple graphique à un outil. Les tableaux numériques, quant à eux, permettent de consigner une fois pour toutes les résultats d'une loi pour différentes valeurs. Au 19^e siècle apparaissent des méthodes plus systématiques de calcul graphique : l'idée est de représenter des nombres par des éléments géométriques, permettant de déterminer graphiquement le résultat de certaines opérations en fonction des figures tracées. Il s'agit du calcul par le trait. L'inconvénient de cette méthode, qui nécessitait de construire une représentation graphique pour chaque calcul à effectuer, a ensuite été gommé par l'apparition de la nomographie.

La construction d'abaques a eu des évolutions intéressantes et des développements ingénieux : Pouchet entreprend tout d'abord la transformation de tableaux en abaques à courbes cotées, permettant de lire dans le tableau graphique le résultat de multiples opérations appartenant à une même loi par l'entrecroisement de courbes. Lalanne et de Massau utilisent l'anamorphose pour modifier les échelles afin de transformer ces courbes en droites. Lallemand propose de faciliter la lecture avec des abaques hexagonaux pourvus d'échelles cotées, formant entre elles des angles de 60°, et nécessitant un transparent hexagonal pour la lecture. Enfin, d'Ocagne transforme les systèmes de courbes en systèmes de points et des intersections de courbes par des alignements de points, favorisant ainsi une bien meilleure lecture des nomogrammes, des erreurs moins fréquentes et une utilisation plus aisée. Les améliorations apportées par Lallemand et d'Ocagne permettent, en outre, de représenter davantage de variables sur un même abaque là où, auparavant, seules trois variables pouvaient être représentées : les abaques hexagonaux de l'Allemand le permettent à condition de regrouper par trois les variables, ceux de d'Ocagne sont plus universels.

Basée sur des concepts géométriques et analytiques, la nomographie a autorisé de grandes avancées dans divers domaines, en particulier celui de la conquête

ferroviaire dans le cadre des calculs initiés pour la recherche de l'optimisation de déblai et de remblai. Inversement, cette conquête aura fait avancer la recherche nomographique, permettant l'emploi d'abaques de plus en plus précis, concis et simples à utiliser même pour un novice.

À partir de cette nouvelle doctrine, il est alors possible, pour de multiples domaines de l'époque, de réaliser de tels nomogrammes afin de simplifier les calculs. C'est ce que nous allons voir dans le chapitre suivant.

Chapitre 4

L'utilisation de la nomographie entre le 19^e et le 20^e siècle

Sommaire du présent chapitre

4.1 Domaines d'utilisation	106
4.1.1 Terrassement et chemins de fer	108
4.1.2 Navigation navale, aérienne et astronomique	117
4.1.3 Balistique	128
4.1.4 Énergies	139
4.1.5 Résistance des matériaux	152
4.1.6 Économie et médecine	159
4.2 Étude de cas : le nomogramme pendant la Grande Guerre	168
4.2.1 Contexte : la Première Guerre mondiale	169
4.2.2 Le nomogramme : une solution aux préparations et aux réglages de tirs?	173
4.2.3 Le rôle de Maurice d'Ocagne et du bureau nomographique pendant la Première Guerre	183
4.3 Conclusion	190

Nous nous intéressons dans ce chapitre à l'utilisation qui a été faite de la nomographie à la fin du 19^e siècle et dans la première moitié du 20^e siècle. Comme dans le chapitre précédent, il ne s'agit pas d'une étude exhaustive, mais plutôt d'un panorama fait à travers le prisme des archives nomographiques.

Nous observerons tout d'abord les domaines où la nomographie a été mise en place, de manière plus ou moins chronologique. Ainsi, nous étudierons les nomogrammes utilisés pour le terrassement et la gestion mécanique des trains au moment de la croissance ferroviaire ; ceux de la navigation navale et astronomique utiles pour les déplacements commerciaux et militaires ; les abaques pour la balistique, essentiellement pendant la Première Guerre mondiale ; ceux utilisés pour le transport des énergies (eau, gaz, électricité) pendant la révolution industrielle ; puis nous ferons une incursion dans l'utilisation des nomogrammes au sein du génie civil et de la résistance des matériaux. Plus proche de nous, nous verrons leurs apports dans les domaines financiers et médicaux.

Enfin, nous développerons notre traditionnelle étude de cas afin d'illustrer de manière plus précise l'un de ces secteurs d'application. Mon choix s'est porté sur la période de la Grande Guerre pour étudier la manière dont ces nomogrammes ont été utilisés dans l'artillerie, notamment grâce au bureau nomographique dirigé par d'Ocagne.

4.1 Domaines d'utilisation

Dès 1898, d'Ocagne publie dans la *Revue générale des sciences pures et appliquées* un article sur les applications pratiques de la méthode des points cotés¹. Il y fait figurer des applications relatives à l'astronomie, au calcul des profils de remblais et déblais, à la formule des poids des cordes filées, à l'art de la construction, aux chemins de fer, aux machines à vapeur, à l'artillerie, à la navigation et aux assurances. Puis, dans un document d'archives qui semble dater des environs de 1910², d'Ocagne affine ses choix et consigne les domaines d'utilisation de la nomographie selon les catégories suivantes : la physique, la topométrie, la navigation (navale et astronomique), la résistance des matériaux, l'hydraulique, les machines (hydrauliques et à vapeur), les chemins de fer, les constructions navales, l'artillerie et les finances. À ces catégories, nous pourrions en ajouter d'autres, souvent plus tardives, comme le transport et la transformation des énergies, l'économie, les statistiques, la photographie ou la médecine. D'Ocagne a également noté dans ce document la fonction, le nom et le pays de provenance des auteurs qui publient de la nomographie.

1. Maurice d'OCAGNE (1898h). « Sur quelques applications pratiques de la méthode des points cotés ». *Revue générale des sciences pures et appliquées*. 9.

2. Maurice d'OCAGNE (s. d.). « Applications de la méthode nomographique de M. d'Ocagne ».

L'étude du corpus des documents découverts aux archives de l'ENPC et récoltés par d'Ocagne de son vivant est propre à nous donner une bonne idée de l'utilisation de la nomographie à cette époque, notamment en Europe. Lors de la mise en place de l'exploitation de ces données dans le chapitre 2, nous avons alors signalé qu'environ la moitié des documents des archives concernaient l'aspect mathématique du calcul graphique et de la nomographie. Cette partie des documents ne nous concernera pas dans la présente étude : nous nous intéresserons ici plus particulièrement aux articles qui ont trait aux applications et aux utilisations de la nomographie. Il nous reste alors 246 documents exploitables, sur les 506 contenus dans la base.

À la lumière de ces 246 documents, j'ai choisi d'établir le classement suivant, qui suit l'ordre de l'année moyenne des publications : le terrassement et les chemins de fer ; la navigation navale, aérienne et astronomique ; la balistique ; les énergies ; la résistance des matériaux et enfin l'économie et la médecine. Ces domaines sont représentés par des diagrammes de Tuckey dans la figure 4.1. Nous observons que quasiment toutes les catégories sont représentées sur les soixante années de la période allant de 1877 à 1937, et c'est essentiellement l'intervalle inter-quartile qui varie d'une catégorie à une autre, en lien avec les innovations de l'époque. Notons tout de même que la latitude de cette étude, réalisée par choix sur la « période d'Ocagne », biaise nécessairement des résultats plus globaux, en tout cas pour sa partie postérieure, puisque des applications ont continué à être réalisées en nombre conséquent lors de la Seconde Guerre mondiale, de la reconstruction et des Trente Glorieuses ³.

L'objectif ici n'est pas de donner une liste exhaustive de toutes les applications nomographiques, mais plutôt de dégager, pour chacun de ces domaines, des exemples d'abaques qui ont pu avoir une certaine importance au regard de l'utilité et/ou du nombre d'articles publiés, ou des abaques d'aspect original. Nous avons pu retracer, pour quelques domaines, la chronologie des publications de certains nomogrammes et, lorsque cela a été possible, nous avons comparé ces nomogrammes dans le temps ou selon les auteurs. Enfin, nous avons essayé de présenter ici des exemples de nomogrammes (prioritairement à points alignés) avec des modes d'emploi différents, afin de montrer leur diversité et le champ important de variables qu'il est possible de traiter.

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

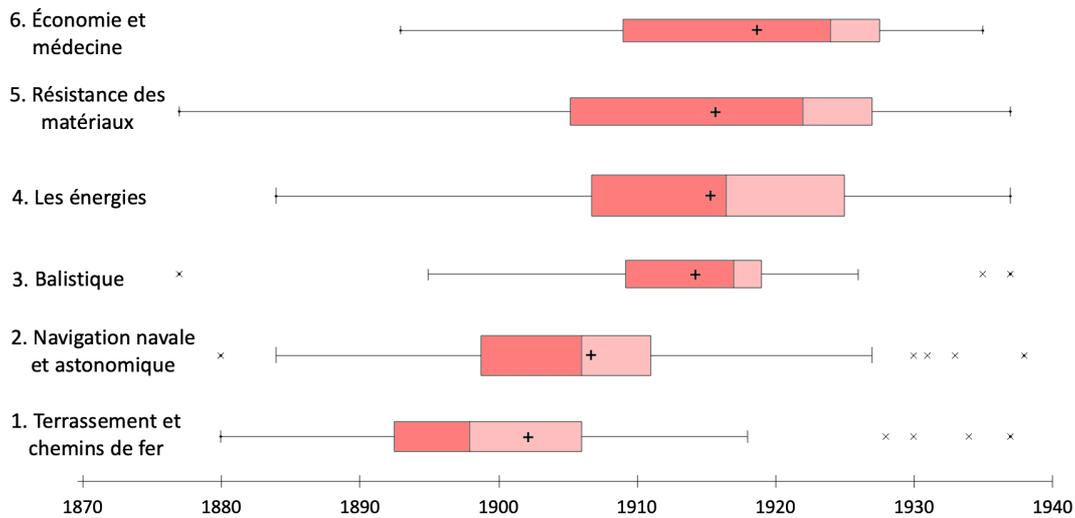


FIGURE 4.1 – Diagramme de Tuckey des domaines qui utilisent la nomographie en fonction des années, entre 1877 et 1937

4.1.1 Terrassement et chemins de fer

Dans le chapitre 3, section 3, nous avons vu que l'émergence des voies de circulation, qu'elles soient terrestres ou fluviales, a fait naître des besoins en calculs. L'étude de cas qui nous a occupés dans ce chapitre était relative aux déblais et remblais nécessaires pour construire des voies les plus « droites » possibles, tout en ayant un rendement efficace en matière de déplacement des terres. Les articles sur ce thème sont encore nombreux au moment où d'Ocagne entre en jeu, et nous allons voir comment les techniques de calcul de déblais et remblais ont pu se perfectionner jusque-là. Outre cette problématique importante, nous verrons également l'utilisation des nomogrammes pour le fonctionnement des véhicules ferroviaires. Notons que ce thème est le plus précoce, comme on peut le constater sur la figure 4.1, et que plus de la moitié des articles dont nous disposons datent du 19^e siècle.

Des nomogrammes pour le terrassement

Pour rappel, l'objectif des terrassements est de déterminer suffisamment rapidement les aires des polygones des profils en travers dans le but de calculer les masses de terre à déplacer. Pour cela, les méthodes de calcul ont évolué jusqu'à l'utilisation de méthodes graphiques. Déjà, en 1880, l'ingénieur des Ponts et

Chaussées français Henri Willotte fait état de cette progression ⁴ :

« L'emploi des méthodes graphiques pour résoudre les problèmes de construction tend à se généraliser de plus en plus. Chaque jour les méthodes nouvelles se créent ou se perfectionnent, et les progrès déjà accomplis ne font qu'appeler plus vivement sur ce sujet l'attention des ingénieurs. »

Avant les années 1890, l'une des techniques de calcul en usage consiste à utiliser une règle à calcul. Dans son « Mémoire sur l'application des règles logarithmiques au calcul des terrassements » ⁵, Raymond Le Brun propose une règle à calcul à échelles logarithmiques basée sur la méthode du profilomètre de l'ingénieur des Ponts et Chaussées Ernest Siegler ⁶, dispensée dans de nombreux cours de route de l'époque. Dans son mémoire, il compare notamment sa règle au profilomètre en terme de nombre d'opérations élémentaires à effectuer et du temps passé à obtenir le résultat final. Il ne manque pas d'envoyer à d'Ocagne sa note en insistant sur l'exactitude et la rapidité des opérations faites à la règle à calcul dont il trouve que l'usage n'est pas assez important en France, au regard de ce qu'il se passe en Angleterre ⁷. Honoré Paulin, de son côté, propose en 1889 une règle à calcul pour les profils en travers ⁸, mais se laisse également tenter par un abaque dans sa « Nouvelle méthode graphique pour le calcul des surfaces des profils en travers » ⁹ en commençant ainsi :

« La méthode qui va être décrite ne peut constituer qu'un moyen de plus pour résoudre la question du calcul des surfaces des profils en travers non rapportés. Il n'est pas douteux qu'elle présente, à l'égard de quelques autres systèmes similaires en usage depuis plusieurs années, des points d'infériorité et de réels défauts. Mais nous pensons qu'elle peut être comparée, sans désavantage trop fort, au point de vue de la rapidité des calculs, à la plupart des méthodes qui ont eu pour objet de réduire, autant que possible, le temps à employer pour la confection des pièces d'un avant-projet. »

4. Henri WILLOTTE (1880a). « Note sur la détermination à l'aide de tableaux graphiques des surfaces des profils de terrassements ». *Annales des ponts et chaussées*. 2, p. 303.

5. Raymon LE BRUN (1886c). « Mémoire sur l'application des règles logarithmiques au calcul des terrassements ». *Mémoires de la Société des ingénieurs civils de France*. 2, p. 152-218.

6. Ernest SIEGLER (1881). « Note sur un procédé rapide de détermination des surfaces de profils en travers ». *Annales des ponts et chaussées*. 1, p. 98-107.

7. Raymon LE BRUN (14 juin 1886a). *Correspondance à propos de son mémoire sur une règle logarithmique pour le terrassement*. Une lettre.

8. Honoré PAULIN (1889c). « Règle pour le calcul des surfaces des profils en travers ». *Portefeuille de la société des conducteurs des ponts et chaussées et des gardes-mines*. 5, p. 133-145.

9. Honoré PAULIN (1889a). « Nouvelle méthode graphique pour le calcul des surfaces de profil en travers ». *Portefeuille de la société des conducteurs des ponts et chaussées et des gardes-mines*. 8.

Le tableau graphique qu'il construit fait référence aux méthodes de Lalanne et est constitué d'un quadrillage à coordonnées rectangulaires et de deux faisceaux de droites (voir fig. 4.2). L'utilisation de ce graphique reste tout de même assez com-

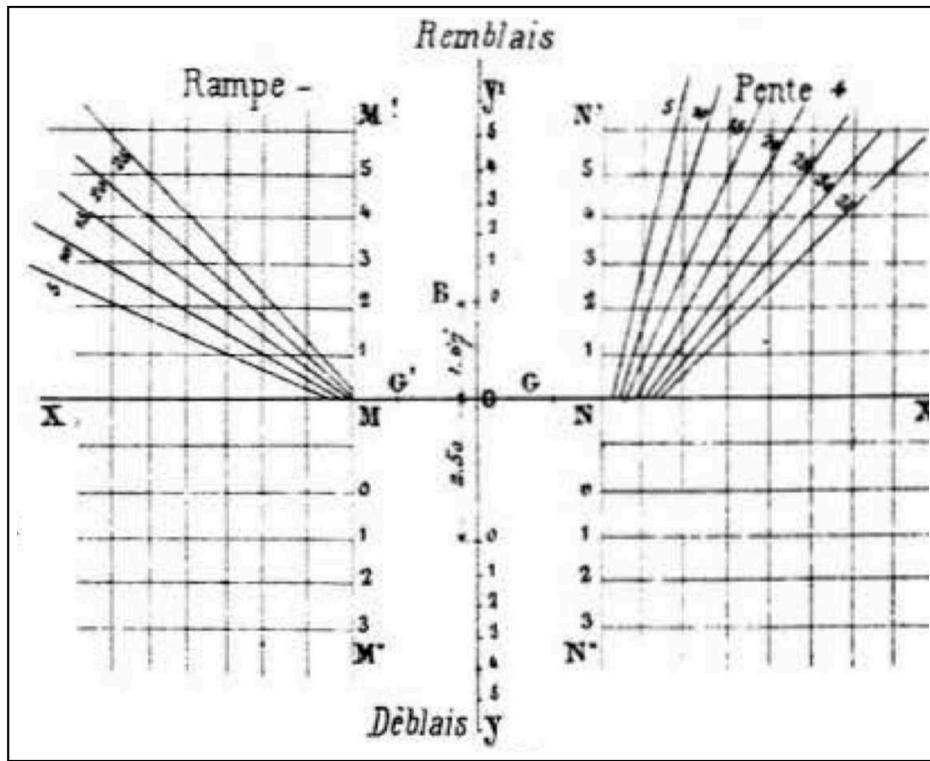


FIGURE 4.2 – Tableau graphique de remblais et déblais, créé par Paulin (1889). Source : ENPC

plexe et nécessite plusieurs alignements effectués à la règle. La réserve que Paulin émet à l'égard de cette méthode semble concerner, entre autres, l'approximation donnée par le dessin par rapport à un calcul. Dans les exemples numériques qu'il donne, il récapitule les résultats obtenus par le calcul et à la règle sur l'abaque (voir fig. 4.3). On observe une différence de 0 % à 3,26 % ce qui, pour Paulin, constitue un écart moindre par rapport au temps nécessaire pour effectuer les calculs.

En 1891, le conducteur des travaux Louis Lanave propose à d'Ocagne¹⁰ sa propre méthode consistant à construire des abaques à lignes concourantes^{11,12}.

10. Louis LANAVE (18 jan. 1892a). *Correspondance sur une application graphique des terrassements*. Une lettre.

11. Louis LANAVE (1891b). « Notice sur les tableaux graphiques et sur leurs applications (I) ». *Revue pratique des travaux publics*. 6, p. 124-136.

12. Louis LANAVE (1891d). « Notice sur les tableaux graphiques et sur leurs applications (II) ». *Revue pratique des travaux publics*. 7, p. 148-164.

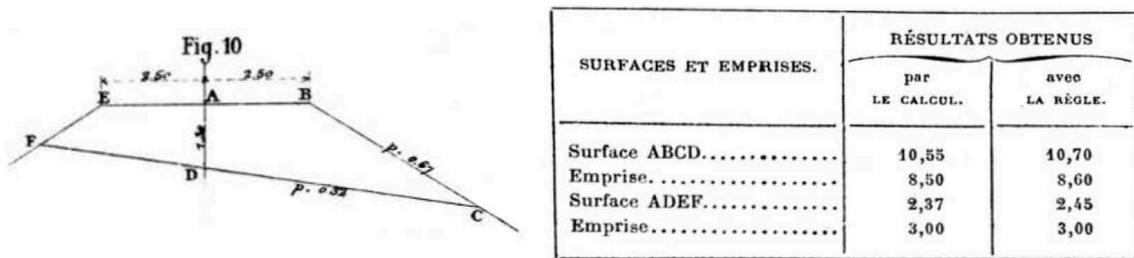


FIGURE 4.3 – Résultats obtenus pour le calcul des surfaces et des emprises d'un profil tout en remblai par Paulin (1889). Source : ENPC

Basée sur le principe des échelles binaires à radiantes que d'Ocagne a exposé dans sa *Nomographie*, ses graphiques sont relativement simples à lire mais ne sont pas universels : il existe un graphique pour calculer la surface dans le cas d'un profil de travers uniquement en déblai, un pour un profil uniquement en remblai, un autre pour les profils mixtes, encore un autre pour déterminer l'emprise et le talus... En 1893, d'Ocagne transforme les formules des déblais et remblais dans un nomogramme construit au moyen de la méthode des points isoplèthes, dont nous avons parlé dans le chapitre 3.3. Il compose ainsi un nomogramme universel, facile à utiliser et à lire, cumulant les avantages des abaques précédemment cités, le tout sur une unique feuille (de grande taille). Ce nomogramme est constitué de trois planches : celle pour le remblai, celle pour le déblai et celle pour le terme complémentaire éventuel en fonction de la situation. L'abaque relatif au remblai est représenté figure 4.4 : il est issu d'un document manuscrit de d'Ocagne constitué d'une note explicative et des trois planches avant qu'elles ne soient imprimées. On y voit à ce titre des indications d'impression, comme l'échelle et le caractère « très pressé »¹³.

La facilité d'utilisation dans le cas d'un profil en travers tout en remblai simple est visible : le segment de droite rouge représente la modélisation pour une cote en remblai de 2 m et une pente de 0,1 ; on trouve une surface de remblais de 16 m², une longueur de talus de 5 m et une emprise de 9,4 m. Ainsi a-t-on eu besoin uniquement d'un outil rectiligne (règle, fil tendu...) pour déterminer en une seule manipulation la surface, le talus et l'emprise, ce qui n'était pas possible dans les représentations graphiques de Paulin et Lanave. Notons que cet abaque constitue la base des nomogrammes à points alignés les plus simples avec la nécessité d'effectuer un seul alignement.

13. Maurice d'OCAGNE (1893b). « Les abaques de remblai et de déblai construits au moyen de la méthode des points isoplèthes ». *Annales des ponts et chaussées*. 8, p. 467-479.

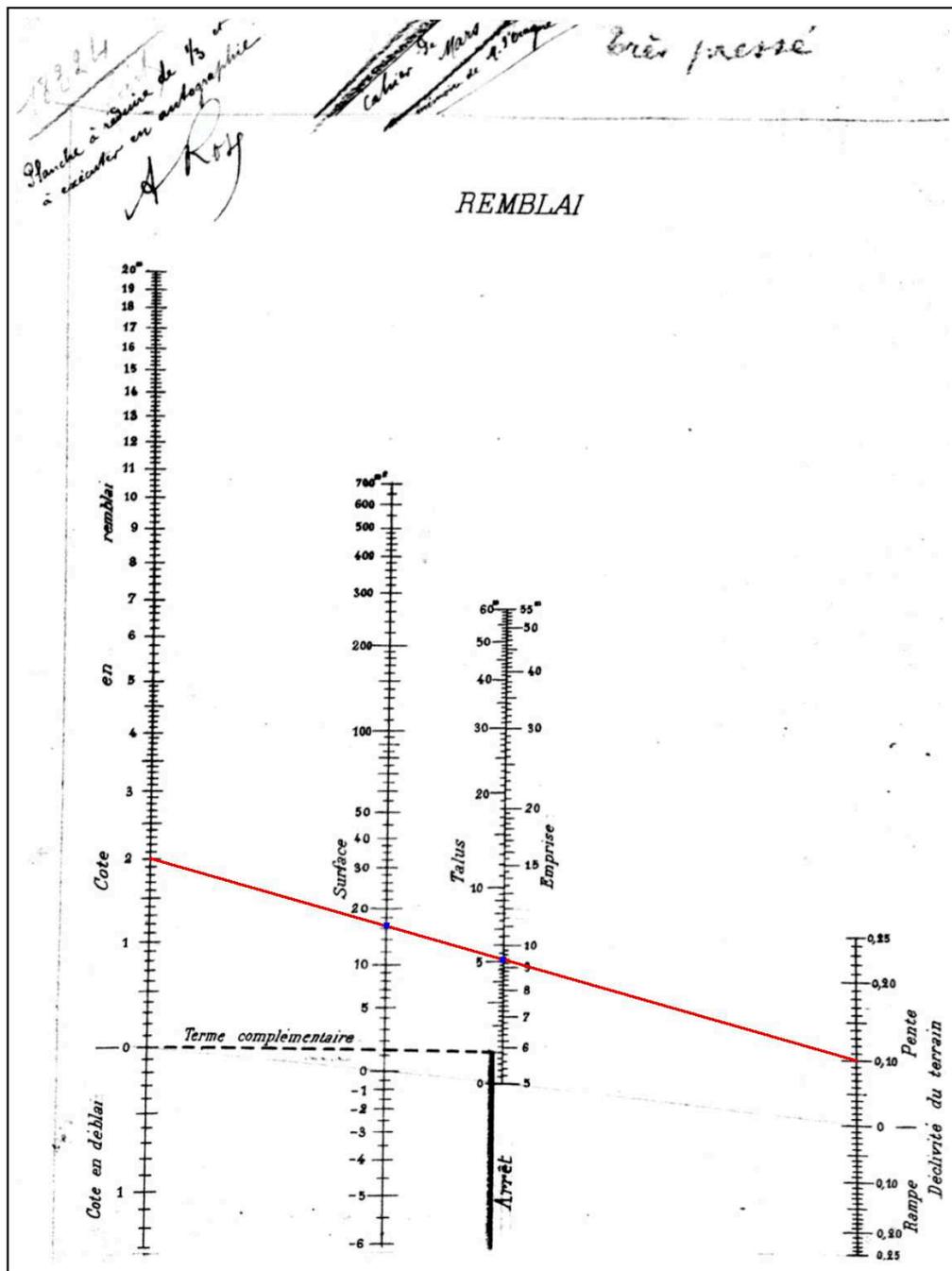


FIGURE 4.4 – Abaque pour le remblai que d’Ocagne propose à la reproduction (1893). Source : ENPC

Nul doute que de nombreuses variantes ou nomogrammes personnels aient été construits à ce sujet, et il n’est pas possible ici de tous les présenter, mais je souhaitais tout de même en dévoiler un autre particulièrement coloré (voir fig. 4.5) dont le but est, probablement, d’en simplifier l’utilisation. On y observe

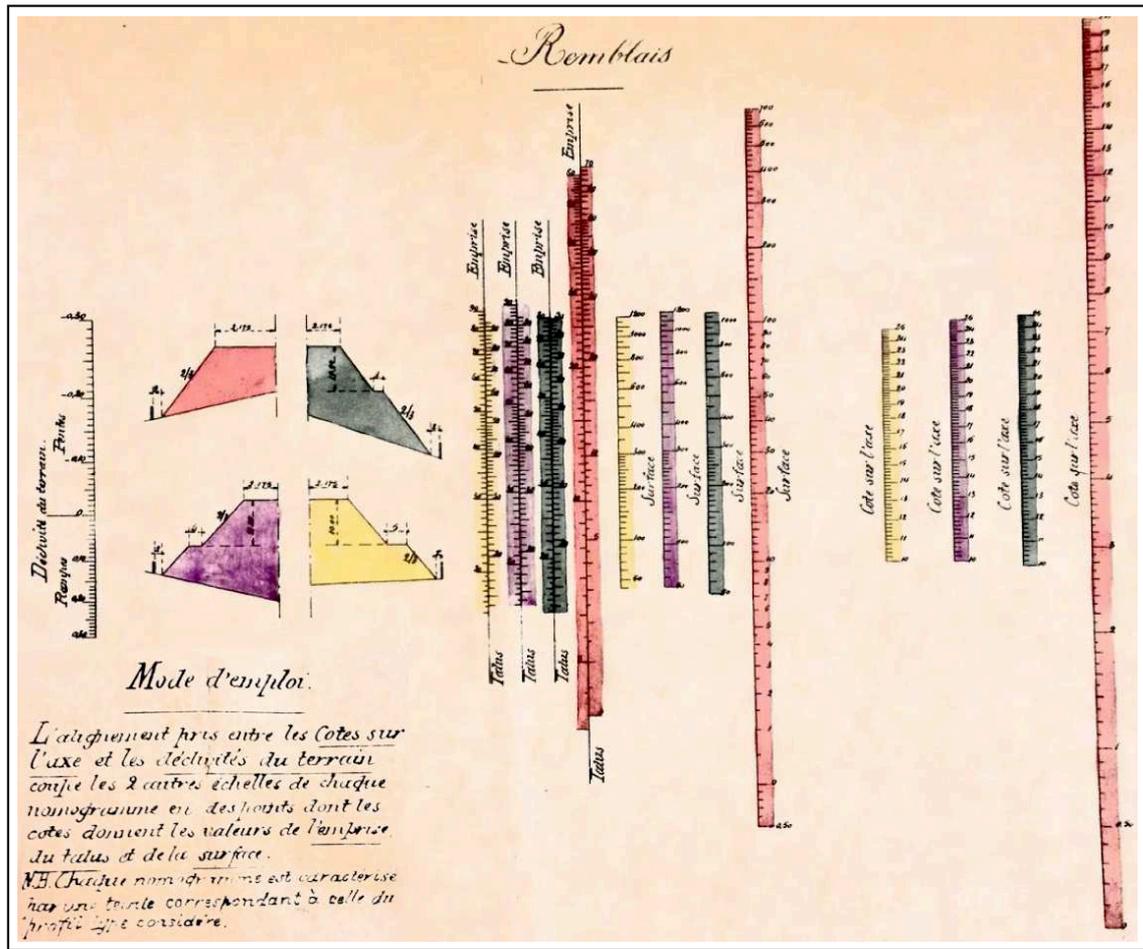


FIGURE 4.5 – Exemple de nomogramme pour les remblais, en couleur, d'auteur inconnu. Source : ENPC

des échelles de couleur en fonction de la forme du demi-profil en remblai, et une échelle neutre servant à toutes les situations. Comme la plupart du temps, le mode d'emploi est indiqué sur un coin de la feuille, ici de manière littérale.

Des nomogrammes pour la mécanique et la gestion des trains

Même si la nomographie a pu prendre son envol à travers la résolution de calculs pour les terrassements, elle a aussi été employée pour étudier la mécanique du train, primordiale pour assurer la sécurité des voyageurs et pour optimiser les coûts de fonctionnement. En 1892, Maurice Beghin, ancien élève de l'École polytechnique, expose un abaque simple à points isoplèthes composé de trois échelles rectilignes qui donne la vitesse d'un train sur un profil donné connais-

sant le poids du train et la rampe ¹⁴. En Hollande, l'ingénieur-mécanicien Franciscus Johannes Vaes semble s'intéresser de près aux procédés utiles pour résoudre des problèmes de mécanique. Outre les outils physiques que sont la règle et les calculomètres dont il explique le fonctionnement, il rédige des articles vantant les mérites de la nomographie dans le domaine ferroviaire. Pour les calculs de profils de travers ¹⁵, mais aussi pour la composition des trains ^{16,17}, à partir de 1897. Il se pose notamment la question de savoir combien de voitures ou de wagons de forme et de poids donnés peuvent être transportés par une locomotive de taille donnée sur une section de ligne donnée à une vitesse donnée. Il explique que la question est très technique puisqu'il est nécessaire de tenir compte de quantités qui ne peuvent être déterminées que par des essais (cela concerne par exemple les coefficients de frottement entre les rails et les roues ; ceux qui déterminent la résistance des essieux d'un véhicule en ligne droite, en pente et dans les courbes. . .), ou dont l'influence ne peut être déterminée par une formule mathématique (on peut citer l'influence du vent qui agit en rafales, l'attelage plus ou moins lâche des véhicules entre eux, la résistance de l'air des wagons de marchandises ouverts partiellement chargés. . .), ce qui implique une marge d'erreur en raison de formules trouvées empiriquement. Son tableau graphique reste néanmoins assez difficile à lire puisqu'il comporte un grand nombre de réseaux de courbes cotées (voir fig. 4.6). Il semblerait qu'un certain nombre de personnes ne soient pas encore tout à fait prêtes à utiliser des nomogrammes à points alignés, comme en témoigne une lettre de Vaes, envoyée à d'Ocagne le 24 décembre 1901 ¹⁸ :

« Concernant les abaqués que je suis en train de construire, je vous dois une explication : quant à moi j'aimerais mieux de donner des ab. [abaqués] à points alignés, mais on m'a spécialement demandé d'éviter des parties mouvantes.

Même l'abaque de Guanguillet et Kutter (formule de Bazin) qui exige une droite mobile n'est pas aimée [sic]. Si possible, je tâcherai de donner en

14. Maurice BEGHIN (1892a). « Abaque de la vitesse d'un train sur un profil donné ». *Annales des ponts et chaussées*. 4, p. 548-550.

15. Franciscus Johannes VAES (1903c). « Rekenplaten voor Ophoogingen en Afgravingen ». *De ingenieur*. 20.

16. Franciscus Johannes VAES (1897b). « Studie over trekkracht van locomotieven en weerstand van treinen ». *De ingenieur*. 15-16, p. 169-176, 185-188.

17. Franciscus Johannes VAES (1898c). « Vervolg van de studie over trekkracht van locomotieven en weerstand van treinen ». *De ingenieur*. 29.

18. Franciscus Johannes VAES (24 déc. 1901a). *Correspondance concernant les réticences au sujet des abaqués à points alignés*. Une lettre.

même temps des ab. à points alignés, et d'autres pour accoutumer les gens à tous les deux, et pour leur faire voir que la première sorte est préférable.»

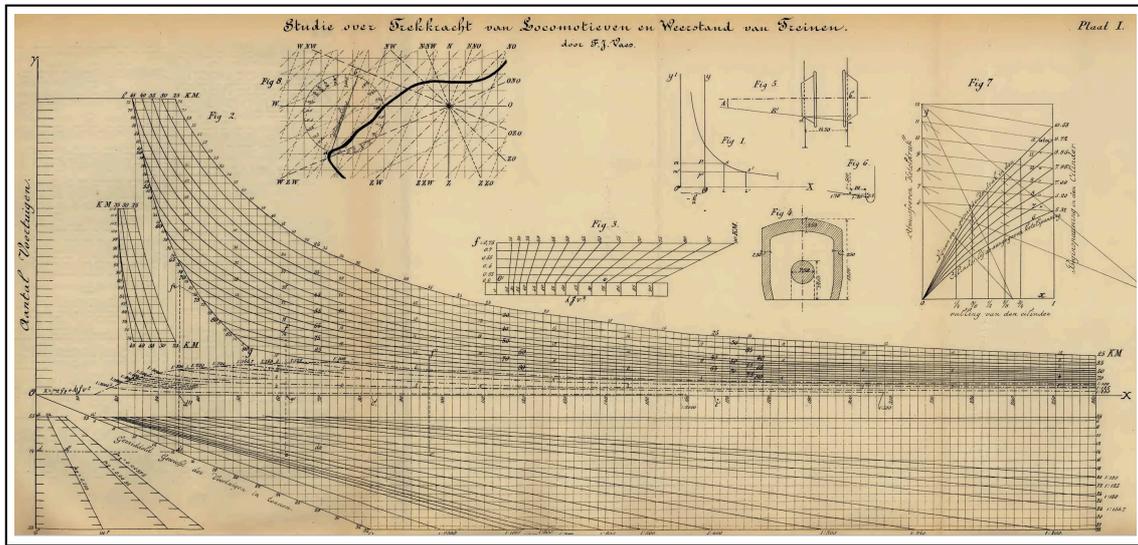


FIGURE 4.6 – Abaque créé par Vaes pour étudier le nombre de wagons à atteler à une locomotive en fonction de la vitesse et du poids (1897). Source : ENPC

Plus tard, en 1904, Vaes publie un mémoire sur les nomogrammes techniques relatifs aux locomotives régulièrement utilisés¹⁹ : y sont abordés les problèmes de résistance, les contraintes issues de l'alimentation et de la sécurité des locomotives comme les chaudières, les soupapes de sécurité, la distance entre les rangées de clous, les coupe-feux, les préchauffeurs... Il agrémente ses exemples par des abaques à points alignés. Un autre auteur, dont nous reparlerons dans d'autres domaines, l'ingénieur attaché aux chemins de fer de l'état Louis Potin, s'attelle en 1911 à modéliser par des nomogrammes à points alignés les problèmes de tracés en courbes. Il prend en compte la jonction des rails courts à l'intérieur des courbes²⁰ et l'optimisation des rayons de courbure afin de garantir la stabilité des voies et des convois²¹.

Outre ces données techniques, des nomogrammes axés sur la vitesse des trains sont créés, après que les problèmes de conception et de sécurité sont plus

19. Franciscus Johannes VAES (1904b). « Technishe rekenplaten ». *Vergadering van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs*.

20. Louis POTIN (1911g). « Solutions nomographiques de questions relatives aux chemins de fer ». *Annales des ponts et chaussées*. 3, p. 697-710.

21. Louis POTIN (1911i). « Vérification et régularisation du tracé des courbes des voies de chemin de fer ».

ou moins résolu. Par exemple, en 1937, l'inspecteur divisionnaire à l'Office central d'études de matériel de chemins de fer Philippe Tongas fait une étude théorique de la marche d'un train. Y sont exposées les résolutions graphiques du cas de la traction avec moteurs à vitesse constante à l'aide d'un nomogramme à points alignés²² : le principe est de déterminer l'une des variables parmi l'accélération au démarrage, la décélération, la vitesse, la longueur et la durée du trajet connaissant les quatre autres. Les cinq variables sont représentées par cinq échelles et deux droites charnières visibles sur la figure 4.7 : deux échelles obliques à supports rectilignes simplement cotées (la vitesse à l'accélération et à la décélération), une échelle rectiligne doublement cotée (la durée et la longueur du trajet), et une échelle à support parabolique (la vitesse du train). L'exemple donné par le no-

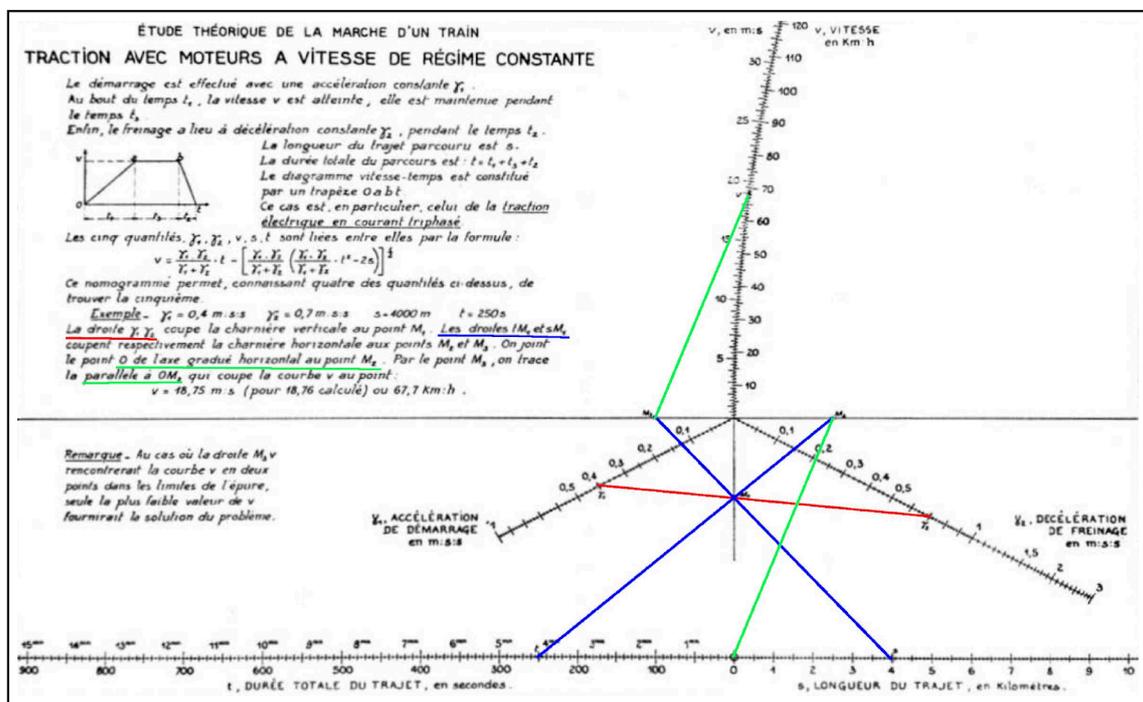


FIGURE 4.7 – Nomogramme à points alignés de Tongas pour l'étude de la marche d'un train (1937). Source : ENPC

nomogramme considère un train dont l'accélération constante au démarrage est de $0,4 \text{ m.s}^{-2}$, la décélération de $0,7 \text{ m.s}^{-2}$ sur un trajet de longueur 4 000 m pendant 250 s. La lecture finale s'obtient grâce à trois alignements et le tracé d'une parallèle : l'alignement de la vitesse γ_1 et de la décélération γ_2 (segment rouge) donne

22. Philippe TONGAS (1937a). « Étude théorique de la marche d'un train. Résolution graphique du cas de la traction avec moteurs à vitesse constante à l'aide d'un nomogramme à points alignés ». *Revue générale de l'électricité*, 41, p. 109-114.

un point pivot M_1 sur la charnière verticale. Le double alignement de ce point avec d'une part la durée t et d'autre part la longueur s (segments bleus), coupe la charnière horizontale respectivement aux points M_2 et M_3 . Enfin, la droite parallèle à (OM_2) passant par M_3 (segments verts) coupe la courbe de la vitesse en un point v qui est la vitesse recherchée. On peut ainsi lire une vitesse atteinte de $18,75 \text{ m.s}^{-1}$. La méthode peut paraître un peu fastidieuse et source d'erreurs dues à l'approximation des points sur les différentes échelles et du tracé de la droite parallèle. Sur ce deuxième point, l'auteur précise que la valeur calculée donnerait $18,76 \text{ m.s}^{-1}$, soit une erreur de seulement 0,05 %. Quant au premier point, la relation utilisée entre les cinq variables est

$$v = \frac{\gamma_1 \gamma_2}{\gamma_1 + \gamma_2} t - \sqrt{\frac{\gamma_1 \gamma_2}{\gamma_1 + \gamma_2} \left(\frac{\gamma_1 \gamma_2}{\gamma_1 + \gamma_2} t^2 - 2s \right)}.$$

Le nombre et la diversité des calculs à effectuer, avec la présence de produits, de sommes, de différences et d'une extraction de racine carrée nous fait prendre conscience finalement de la relative facilité d'utilisation de cet abaque. Nous remarquons enfin la présence d'un texte présentant les variables, la formule utilisée ainsi que d'un schéma, d'un exemple d'utilisation écrit et tracé sur l'abaque et enfin d'une remarque sur un cas litigieux.

4.1.2 Navigation navale, aérienne et astronomique

Nous trouvons dans le corpus de l'ENPC de nombreux articles français et étrangers sur la résolution du triangle sphérique. J'y reviendrai dans le chapitre 5.2 en faisant une étude de cas particulier de sa circulation. Globalement, il s'agit de mettre en relation des angles et des distances repérées sur une sphère. La résolution du triangle sphérique permet notamment de se repérer sur terre, sur mer et dans l'espace, mais les calculs à base de trigonométrie sont longs et fastidieux. En 1904, Eugène Perret²³, dans son préambule à une note sur les applications de la nomographie à l'astronomie nautique²⁴, explique pourquoi les nomogrammes simplifient la tâche :

« La solution d'un grand nombre de problèmes nautiques dépend de la résolution approchée d'une équation à plusieurs variables. Cette résolution

23. Eugène Perret (1869-1943) : lieutenant de vaisseau, capitaine de frégate français.

24. Eugène PERRET (1904b). « Sur quelques applications de la nomographie à l'astronomie nautique ». *Annales hydrographiques*, p. 170-199.

s'obtient ordinairement au moyen de tables numériques, dont l'emploi, ne nécessitant qu'une simple lecture, est toujours préférable à un calcul.

Cependant l'usage des tables, d'une extrême commodité lorsque l'équation à résoudre ne comporte que deux ou trois variables, se complique beaucoup quand le nombre des variables s'élève.

On en a la preuve lorsque l'on veut, par exemple, employer ce moyen pour déterminer l'azimut d'un astre, connaissant la latitude, l'angle horaire et la déclinaison, problème qui se présente à chaque instant à la mer. La table devient alors un ouvrage comportant un ou plusieurs volumes (Labrosse, Decante), à moins qu'on ne scinde le problème en plusieurs parties (Perin).

Au delà de quatre variables, l'emploi des tables devient absolument impraticable [...]

La nomographie substitue une lecture graphique à une lecture tabulaire.

Elle emploie pour cela les abaques ou nomogrammes, qui sont des tableaux représentatifs des lois mathématiques sous la forme graphique.

Nous avons bien dit plus haut lecture et non construction graphique, car lorsque la lecture n'est pas directe, elle s'obtient par la tension d'un fil pour représenter une droite, ce qui ne saurait être, en tous cas, que l'opération graphique la plus simple. »

Les articles qui nous intéressent ici sont ceux qui ont rapport à la navigation en mer, en lien avec les astres et leur positionnement. Nous regarderons en dernier lieu l'utilisation de nomogrammes pour l'aviation, un domaine nouveau du début du 20^e siècle.

Des nomogrammes pour la navigation astronomique et maritime

La navigation va donc de pair avec la résolution du triangle sphérique : les méthodes de navigation astronomique découlent en effet des études purement mathématiques. C'est un thème qui intéresse les scientifiques depuis les temps les plus reculés : étudier les astres de notre ciel (le soleil, la lune, l'étoile polaire en particulier) afin de se donner les moyens de se repérer grâce à eux (temporellement et physiquement). L'objectif principal des navigateurs est de faire le point en mer, c'est à dire de déterminer la latitude et la longitude. À la fin du 19^e siècle, pour connaître la latitude, les marins disposent d'instruments comme le sextant, permettant de mesurer la hauteur d'un astre. Pour la latitude, ils

disposent du chronomètre, mais cette invention reste récente. Une méthode de l'époque consiste à déterminer le « cercle de hauteur » d'un astre, correspondant au cercle dont le centre est la projection de l'astre sur la Terre et le rayon est déterminé par la hauteur de l'astre. Le navire se trouvant sur ce cercle, il suffit dans la théorie de tracer deux de ces cercles pour déterminer sa position. Seulement, en pratique, il faudrait tracer ces cercles sur des globes de grande taille ce qui n'est pas possible. Il convient donc de les tracer sur une carte marine sur laquelle ils sont appelés « courbes de hauteur ». Ces courbes sont définies par une équation trigonométrique complexe, et la simplification proposée par le capitaine Thomas Hubbard Sumner²⁵ est de construire la « droite des hauteurs »²⁶. Globalement, sa méthode consiste à déterminer deux latitudes différentes mais voisines afin de pouvoir tracer une droite sur laquelle se situe le bateau. En refaisant une deuxième fois ces calculs un peu plus tard, on peut tracer une deuxième droite. En translatant la première droite en fonction de la route parcourue, on obtient un point d'intersection qui désigne la position du navire²⁷. En 1875, l'amiral Adolphe Marcq de Blond de Saint-Hilaire²⁸ améliore la méthode de Sumner en simplifiant davantage les calculs²⁹.

Dès lors, il reste qu'il est nécessaire d'exécuter ces calculs de nombreuses fois, si bien que l'on voit apparaître régulièrement des procédés nouveaux dont les auteurs sont, pour beaucoup, des officiers de marine. Ainsi, il est possible de trouver des solutions basées sur des instruments mécaniques, des tableaux numériques ou encore du calcul graphique que l'on peut catégoriser selon deux classes : les constructions d'épures, destinées à obtenir les quantités cherchées, et les abaques permettant de déterminer à vue les solutions. En 1892, les ingénieurs de la marine Louis Favé³⁰ et Maurice Rollet de l'Isle³¹ proposent un système permettant de déterminer le point à la mer en utilisant à la fois les abaques et le calcul graphique : leur abaque à entrecroisement (voir fig. 4.8)³² fournit, à l'aide

25. Thomas Hubbard Sumner (1807-1876) : capitaine américain.

26. Marie-Cécile KASPRZYK-ISTIN (2018). « De la navigation maritime à la navigation aérienne : transferts de méthodes mathématiques et de connaissances en France dans la première moitié du XX^e siècle ». Thèse de doct. Université Bretagne Loire, p. 60.

27. Thomas SUMNER (1851). *A new and accurate method of finding a ship's position at sea, by projection on mercator's chart*. T. Groom, Boston.

28. Adolphe Marcq de Blond de Saint-Hilaire (1832-1889) : contre-amiral français.

29. Adolphe MARCQ SAINT-HILAIRE (1875). « Calcul du point observé ». *Revue maritime et coloniale*, p. 341-376.

30. Louis Favé (1853-1922) : ingénieur hydrographe français.

31. Maurice Rollet de l'Isle (1859-1943) : ingénieur hydrographe français.

32. Luis FAVÉ et Charles ROLLET DE L'ISLE (1892). « Abaque pour la détermination du point à la

de quelques manipulations très simples, les données nécessaires à la construction graphique de la droite des hauteurs par la méthode Marcq Saint-Hilaire. L'abaque

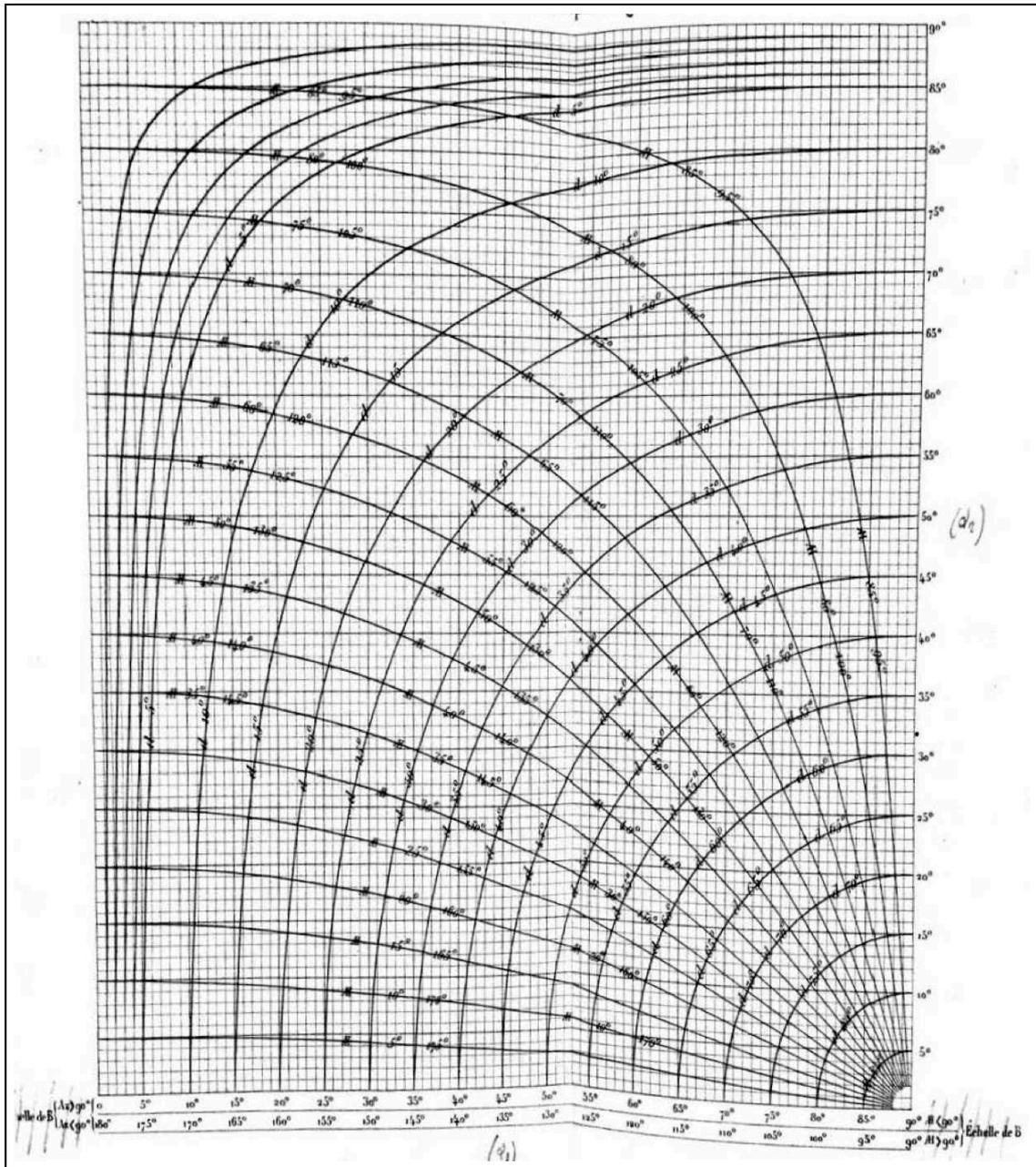


FIGURE 4.8 – Schéma de l'abaque de Favé-Rollet destiné à montrer la disposition générale des courbes (1892). Source : ENPC

est constitué de deux systèmes de coordonnées, l'un rectangulaire, et l'autre élaboré à l'aide de deux réseaux de courbes : les courbes de l'angle horaire, représen-
mer ». *Annales hydrographiques*, fig. 16.

tant les méridiens, servent également de support pour l'azimut. Les courbes de la déclinaison, caractérisant les parallèles à la sphère céleste, servent quant à elles de supports pour la hauteur de l'astre. La connaissance de trois variables parmi les cinq que sont la déclinaison, la hauteur, l'azimut de l'astre observé, l'angle horaire et la co-latitude du point permet de déterminer les deux restantes. Le système de coordonnées rectangulaires ne sert en fait que de repère provisoire pour passer du couple (déclinaison ; angle horaire) au couple (hauteur ; azimut) ou inversement. L'abaque permet également de trouver le nom d'un astre observé, la route à suivre, et la distance entre deux points par arc de grand cercle.

Pour les auteurs, il est possible d'améliorer la lecture de cet abaque en le scindant en plusieurs feuilles de grand format, ce qui se fait incontestablement au détriment de sa portabilité. Se rendant compte de l'important travail préliminaire à cette procédure, notamment de la connaissance des astres, Favé s'exprime ainsi ³³ :

« Les nombreux travaux ayant pour but de faciliter et d'abrèger le calcul du point à la mer ont presque exclusivement porté sur la résolution du triangle de position en partant des coordonnées des astres calculées d'après les données des éphémérides.

Il n'est pas d'un intérêt moindre d'abrèger et de simplifier la recherche des coordonnées des astres pour le moment de l'observation et les corrections des hauteurs observées, car ces opérations préliminaires demandent autant de soin et d'attention et presque autant de temps que celles qui restent à faire ensuite. »

Favé soumet divers abaques donnant les coordonnées des astres sur une année entière. Ces éphémérides semblent toutefois ne pas avoir eu le succès escompté et les tableaux s'avèrent rester une valeur sûre comme le précise Perret en 1904 ³⁴ :

« Nous regrettons fort, pour notre part, que les éphémérides graphiques si clairs, si commodes, proposés il y a quelques années par M. l'ingénieur hydrographe Favé, n'aient point été mises en service courant. »

Manifestement conquis par l'utilité et la facilité d'utilisation des nomogrammes, Perret propose dans sa note de montrer comment il est possible de construire des abaques à points alignés sur deux problèmes fréquents et importants de l'époque : la détermination de l'azimut d'un astre, ainsi que la prédiction des occultations

33. Louis FAVÉ (1894a). « Éphémérides graphiques donnant les coordonnées des astres pour les usages de la navigation ». *Annales hydrographiques*, p. 2.

34. PERRET 1904b, p. 171.

grâce à la méthode de d'Ocagne. Il espère ainsi inciter un maximum de personnes à utiliser ce type de graphique, voire à en créer. Lors du congrès de Cherbourg, en 1905, il exhibe différents nomogrammes pour la navigation³⁵ en fonction du nombre de variables : à trois variables, il propose un nomogramme du point estimé et de la parallaxe en hauteur des planètes ; un autre pour la correction des hauteurs d'astres ; un troisième pour la parallaxe en hauteur de la lune et un dernier pour les levers et couchers vrais du soleil. Avec quatre variables, il soumet un nomogramme pour calculer l'azimut par l'heure, la recherche d'un astre et la navigation par l'arc du grand cercle ainsi qu'un nomogramme pour tracer une droite de hauteur par observation circumméridienne. Enfin il exhibe un abaque pour le calcul de l'équation des hauteurs correspondantes du soleil, en vue du réglage des chronomètres.

Le travail entamé par Favé et Rollet a aussi eu écho auprès d'autres acteurs : en 1906 par exemple, l'ex-enseigne de vaisseau et professeur d'hydrographie de la marine Paul Constan, rassemble dans un recueil des tables graphiques d'azimut³⁶ permettant d'obtenir différentes variables pour le repérage et la navigation. Dans l'avertissement, il écrit :

« L'étude des remarquables travaux de MM. Favé et Rollet de l'Isle [...] nous a conduit à rechercher si, dans le même ordre d'idées, il ne serait pas possible de trouver une relation ayant l'avantage :

1° De donner le relèvement et la hauteur au moyen d'échelles à divisions égales, afin de rendre plus commodes les lectures de ces éléments ;

2° De permettre de lire le relèvement et la hauteur sur des échelles dont la disposition rappelle celle de ces coordonnées sur la sphère céleste, afin de réduire le plus possible les chances de confusion ;

3° De donner ces éléments au moyen de graphiques de dimensions très réduites et permettant, néanmoins, d'avoir une approximation largement suffisante pour tous les besoins de la pratique. »

Le fascicule qu'il propose est relativement complet : on peut y trouver des tables graphiques constituées de réseaux de courbes cotées précédées de règles pour l'emploi de la table et expliquant de façon synthétique la manière d'utiliser l'abaque (voir fig. 4.9). À la suite des tables, figurent les explications et l'usage des tables graphiques illustrées de schémas et de formules, et enfin des applications

35. Eugène PERRET (1905e). « Sur l'application de la nomographie aux principales tables nautiques ». *Comptes rendus de l'Association française pour l'avancement des sciences*.

36. Paul CONSTAN (1906). *Tables graphiques d'azimut*. Guyon & Gauthier-Villars.

numériques. Globalement, nous observons pour ce domaine une utilisation de nomogrammes à entrecroisements plutôt qu'à points alignés.

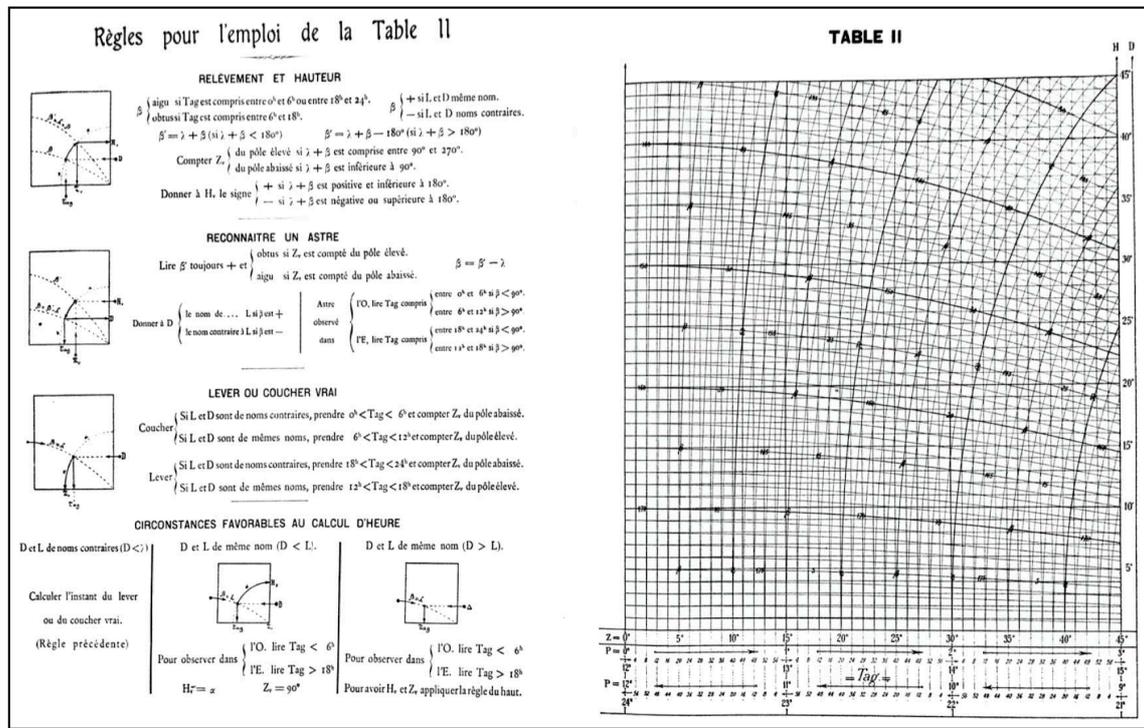


FIGURE 4.9 – Exemple de double page représentant les règles d'utilisation de l'un des tableaux graphiques de Constan (1906). Source : ENPC

À l'Académie royale navale de Livourne, le professeur italien Pesci s'intéresse également à ce domaine, mais aussi aux problèmes de navigation côtière dès 1897. Les nombreux échanges de lettres avec d'Ocagne montrent à quel point Pesci a utilisé sa doctrine pour l'appliquer à la navigation : il semble que ce soit à partir des nomogrammes de balistique qu'il ait connu cette procédure, et qu'il ait voulu assez rapidement l'appliquer à la navigation. Il publie dans la *Rivista marittima* diverses notes sur ce thème, parmi lesquelles la possibilité de calculer la distance en mer³⁷ et le changement de relèvement des bateaux qui naviguent en flotte³⁸.

Des nomogrammes pour l'aviation

À l'instar des bâtiments flottants, l'étude des aéroplanes intéresse également les ingénieurs de l'époque, et les nomogrammes se révèlent être une aide notam-

37. Giuseppe PESCI (1897d). « Sul calcolo delle distanze in mare ». *Rivista marittima*.
 38. Giuseppe PESCI (1897f). « Sul metodi per cambiare il rilevamento tra di una formazione semplice ». *Rivista marittima*.

ment dans deux domaines : celui de la localisation proprement dite et essentiellement la hauteur de l'aéroplane, mais aussi tout ce qui concerne la technique et l'influence d'éléments tels que les ailes, le poids, le vent... sur le comportement de l'avion. Les avions, de construction récente, servent aux renseignements puisque leur positionnement en altitude favorise une observation idéale. Ils permettent également d'effectuer les réglages de tirs d'artillerie et contribuent aux bombardements.

En 1911, Potin (qui avait déjà pas mal œuvré pour les chemins de fer) et Pesci (ayant également contribué aux terrassements et à la navigation astronomique et navale), soumettent chacun un nomogramme permettant de déterminer la hauteur d'un aéroplane connaissant l'angle par lequel deux observateurs le voient, ainsi que la distance entre les deux observateurs. Potin précise qu'un abaque à entrecroisement avait déjà été construit, mais que le nombre de courbes en rendait la lecture difficile, et que de plus il avait été fait pour une distance fixe de 200 m, contrainte supplémentaire à prendre en compte. Il présente donc un nomogramme à alignement à droites concourantes³⁹, alors que Pesci⁴⁰ propose un nomogramme à alignement circulaire (voir fig. 4.10).

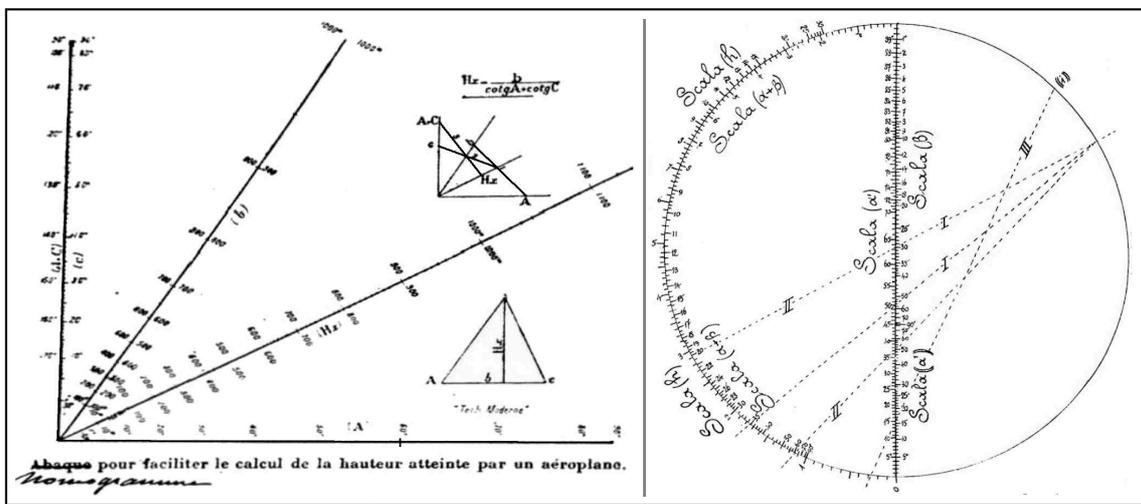


FIGURE 4.10 – Nomogrammes permettant de déterminer la hauteur atteinte par un aéroplane (1911). Celui de gauche a été dessiné par Potin, celui de droite par Pesci. Source : ENPC

Comparons ces deux nomogrammes.

39. Louis POTIN (1911a). « Calcul de la hauteur atteinte par un aéroplane ». *La technique moderne*, p. 96.

40. Giuseppe PESCI (1911a). « Metodo grafico per determinare l'altezza degli aeroplani ». *Rivista tecnica di aeronautica*, 3.

- Forme de l'abaque : ce qui est visible de prime abord, c'est la forme différente avec un abaque à quatre droites concourantes formant des angles de 30° pour Potin alors que celui de Pesci est composé d'un cercle et d'un diamètre tracé verticalement ;
- Formule utilisée : le premier nomogramme permet de calculer la hauteur H_x de l'avion connaissant deux angles de site A et C et la distance b entre les deux sites en considérant que l'aéroplane se situe dans le plan vertical comportant les deux sites. On peut voir résumée cette représentation sur le schéma de l'abaque en bas à droite. La formule utilisée, notée également sur l'abaque, est

$$H_x = \frac{b}{\cotg A + \cotg C}.$$

Pesci fait un choix un peu différent : il construit un abaque encore plus général en prenant en compte trois cas. Un premier cas où l'avion n'est pas dans le plan vertical passant par les deux sites ; un deuxième où il est dans ce plan ; et enfin un troisième cas où il se situe exactement à l'aplomb de l'un des sites. Le résumé de ces trois cas est indiqué dans l'entête de l'abaque comme le montre l'image 4.11 :

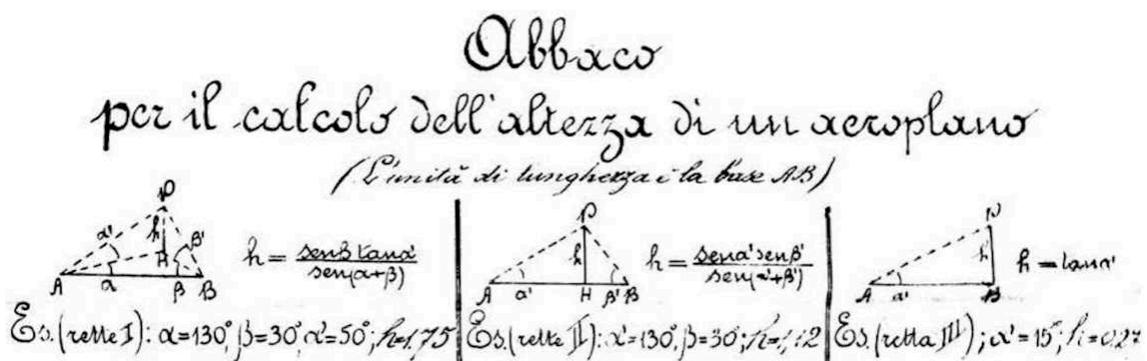


FIGURE 4.11 – Schémas et formules utilisés pour l'abaque de Pesci (1911). Source : ENPC

Afin de poursuivre notre comparaison, nous nous intéressons au deuxième cas correspondant à celui de Potin. La formule utilisée par Pesci est

$$h = \frac{\sin(\alpha') \sin(\beta')}{\sin(\alpha' + \beta')}$$

en prenant comme unité de longueur la mesure de la base AB.

Cette formule est identique à la première puisque :

$$\begin{aligned} h &= AB \times \frac{\sin(\alpha') \sin(\beta')}{\sin(\alpha' + \beta')} \\ &= AB \times \frac{\sin(\alpha') \sin(\beta')}{\sin(\alpha') \cos(\beta') + \sin(\beta') \cos(\alpha')} \\ &= AB \times \frac{1}{\frac{\sin(\alpha') \cos(\beta')}{\sin(\alpha') \sin(\beta')} + \frac{\sin(\beta') \cos(\alpha')}{\sin(\alpha') \sin(\beta')}} \\ h &= \frac{AB}{\cot \beta' + \cot \alpha'} \end{aligned}$$

ce qui correspond bien à la formule de Potin.

- Échelles des nomogrammes : la formule de Potin comporte quatre variables H_x , b , A et C que l'on retrouve représentées par les quatre échelles de son abaque. Nous remarquons que trois de ces échelles sont doublement graduées. La raison à cela est qu'elles servent également de droites pivot. La formule de Pesci, quant à elle, comporte quatre variables dans sa version générale, trois si on se ramène au deuxième cas et deux dans le troisième cas. On a cinq échelles sur l'abaque : de gauche à droite l'échelle des hauteurs h ; l'échelle de $\alpha + \beta$, que l'on utilise aussi comme échelle de $\alpha' + \beta'$ pour le cas 2 ; l'échelle β ; puis les échelles α' et (α') respectivement pour le cas I et les cas II et III. À ces échelles s'ajoute un point pivot noté ((i)) pour le cas III.
- Nombre d'opérations à effectuer pour le cas où l'avion est dans le plan vertical aux sites : le nomogramme de Potin nécessite trois alignements pour obtenir le résultat final ; le nomogramme de Pesci comporte deux alignements, auquel il faudra ajouter la multiplication par la mesure de la base pour avoir la hauteur totale.

Finalement, les deux abaques ont chacun leurs avantages et leurs inconvénients : le premier donne le résultat directement, mais les trois segments de droites à tracer ne sont pas intuitifs, alors que celui de Pesci est plus simple à tracer, mais ne donne pas directement le résultat. Ce dernier permet toutefois de résoudre plus de cas pratiques.

Dans une note dactylographiée du lieutenant de Guiche⁴¹, qui doit dater du

41. DE GUICHE (1917a). « Le problème de l'avion militaire ».

premier quart du 20^e siècle, on trouve des questionnements relatifs aux différentes caractéristiques d'un avion que sont sa vitesse, son altitude maximale, sa charge utile et son rayon d'action. L'auteur explique que le développement de l'une des variables se fait toujours au détriment d'une autre compte tenu des techniques et des connaissances de l'époque. Pour ce faire, il commence par rappeler des formules à partir desquelles il met en exergue l'influence des variations des différents éléments. Puis, il utilise des nomogrammes pour affiner ses dires. Par exemple, l'équation de la puissance d'un avion à son plafond (la plus grande altitude qu'il est possible d'atteindre) peut s'écrire

$$\frac{\pi}{T_0} \times \frac{V}{\mu} = \text{constante}$$

où π est le poids de l'avion, V sa vitesse, T_0 la puissance du moteur et μ la valeur du rapport $\frac{H}{760}$ (H étant la pression atmosphérique à l'altitude Z du plafond).

La constante dépend de plusieurs paramètres comme la finesse de l'avion ou le rendement de l'hélice. De Guiche en déduit logiquement que si la charge par cheval (le rapport de π par T_0) augmente, le deuxième rapport diminue. Donc, si μ ne varie pas, l'avion devra voler moins vite, et si c'est V qui reste stable, μ doit augmenter, la pression également, ce qui implique que l'avion devra voler plus bas. Ainsi, pour un certain type d'avion, la vitesse et l'altitude maxima varient inversement. Pour aller plus loin dans les détails et effectuer des calculs précis, les considérations globales à partir de la formule ne suffisent plus.

De Guiche utilise alors des nomogrammes créés par Henri Chrétien et J. Lagrula. Par exemple, celui de la figure 4.12 est constitué de sept droites parallèles. Cet abaque tout-en-un comprend trois parties modélisant chacune une équation à trois variables. La connaissance de deux des données permet, par alignement, de connaître les deux autres : la partie I est relative à l'équation précédente lorsque le rapport $\frac{\pi}{T_0}$ est connu, la partie II donne l'une des valeurs des constantes $\frac{\pi}{T_0}$, T_0 et π , et la partie III est utile pour déterminer l'une des valeurs parmi π , le poids utile p_4 (poids total des passagers et de l'armement) et le paramètre de sécurité A . Ce nomogramme permet à de Guiche de reprendre ses considérations précédentes avec des valeurs réelles.

Notons que, contrairement à un certain nombre d'articles où les auteurs proposent leurs propres nomogrammes, de Guiche manipule des abaques qui ont déjà été construits.

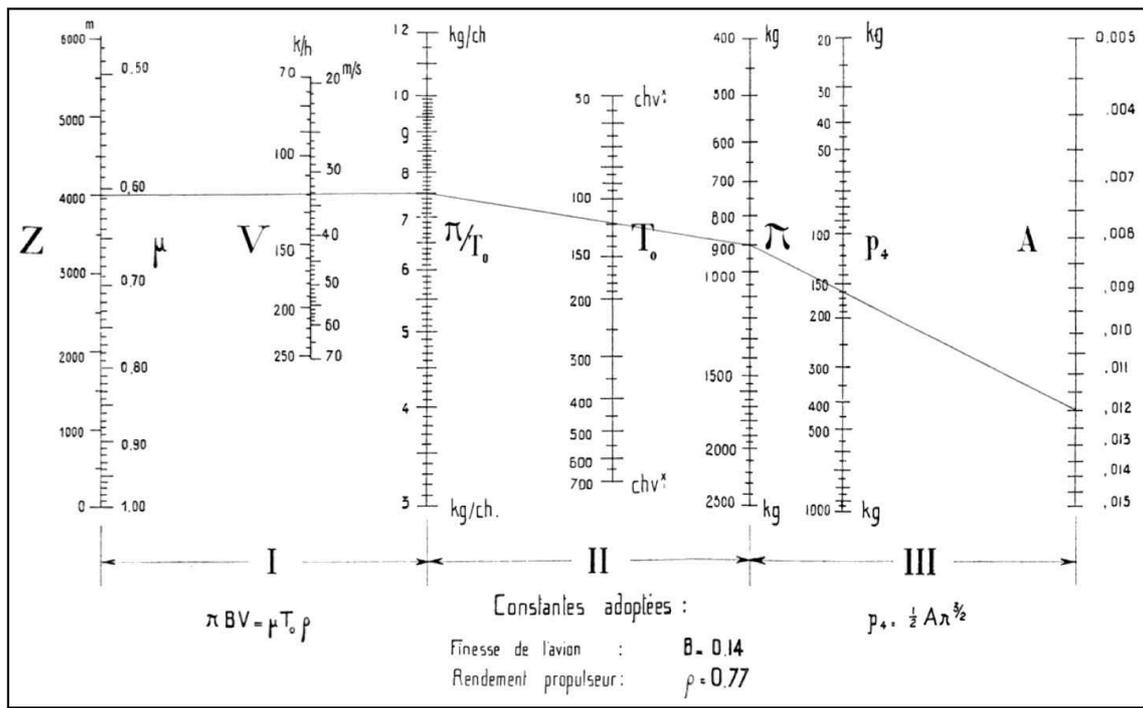


FIGURE 4.12 – Exemple d'abaque de Chrétien et Lagrula pour déterminer les caractéristiques de vol d'un avion utilisé par de Guiche dans les années 20. Source : ENPC

Pour conclure ce paragraphe, nous citons de nouveau l'ouvrage de d'Ocagne *Principes usuels de Nomographie avec application à divers problèmes concernant l'Artillerie et l'Aéronautique*⁴², issu de conférences faites à la section de l'artillerie en février 1919 dans lequel d'Ocagne fait le bilan des nomogrammes à points alignés les plus utilisés dans l'artillerie et l'aéronautique. Il fait le choix d'illustrer certains types d'abaques par un nomogramme qui a été fréquemment utilisé pour la conduite de la guerre. Concernant l'aéronautique, il choisit un abaque à échelle binaire pour calculer le temps de montée d'un avion ; un abaque avec un réseau de deux systèmes de droites pour la distance maximale qu'il peut parcourir par vent nul, ou encore un abaque avec un réseau de deux systèmes de courbes pour déterminer la puissance et la charge d'un avion.

4.1.3 Balistique

Globalement, la balistique distingue trois sous-disciplines correspondant aux trois phases du tir d'un projectile : la balistique intérieure pour la phase de lan-

42. Maurice d'OCAGNE (1919b). *Principes usuels de nomographie avec application à divers problèmes concernant l'artillerie et l'aéronautique*.

cement, concernant les phénomènes qui se produisent à l'intérieur du canon et basée sur des modèles thermodynamiques souvent déterminés de manière empirique ; la balistique extérieure pour la phase de vol, qui s'appuie sur les principes fondamentaux de la dynamique ; enfin la balistique terminale pour la phase de frappe de la cible établie sur l'élasticité des matériaux. Les nomogrammes que nous retrouvons dans les archives concernent essentiellement la balistique extérieure. Ce sont les plus utiles sur les champs de tir puisque les études pour les deux autres phases peuvent être faites en dehors du front.

Les guerres ont fait grandement avancer la nomographie dans le domaine de la balistique. Nous y reviendrons plus en détail dans la section suivante où nous étudierons le cas de l'utilisation des nomogrammes pour le matériel d'artillerie pendant la Première Guerre mondiale grâce au bureau de nomographie dirigé par d'Ocagne. Nous axons la présente sous-section sur les types de documents qui ont circulé pour la balistique, en lien avec la nomographie. De manière générale, il existe pour l'artillerie des notes uniques, mais aussi de multiples œuvres bien plus complètes, de plusieurs dizaines de pages. Nous pouvons distinguer principalement trois sortes de carnets : ceux qui concernent en priorité les méthodes nomographiques qui sont ensuite appliquées à la balistique ; ceux qui sont axés sur les techniques de tir ; et enfin les recueils d'abaques pour le tir directement exploitables sur le front.

Dès 1898, d'Ocagne constate qu'il y a matière à favoriser l'utilisation de nomogrammes pour le tir des pièces de siège : avant lui, le capitaine Lafay a déjà créé des abaques à points cotés sur « une simple feuille de papier ordinaire »⁴³. Ceux-ci contiennent un certain nombre de variables comme la distance du but à atteindre, la charge pratique, l'angle initial, l'angle de chute, l'angle de site, la fourchette, la dérive ou encore la durée du trajet. La figure 4.13 montre la volonté de représenter sur une même planche diverses variables afin de réduire le nombre de feuilles à distribuer⁴⁴. En revanche, la multitude de courbes et de droites cotées peut effrayer un technicien peu habitué à ce genre de graphique.

Pesci, en toute fin du 19^e siècle, publie des *Cenni di nomografia con molte applicazioni alla balistica* que nous pouvons traduire par *Éléments de nomographie, avec*

43. Maurice d'OCAGNE (1898h). « Sur quelques applications pratiques de la méthode des points cotés ». *Revue générale des sciences pures et appliquées*. 9, p. 119.

44. A. LAFAY (1895a). « Abaques relatifs au tir de siège ». *Revue d'artillerie*.

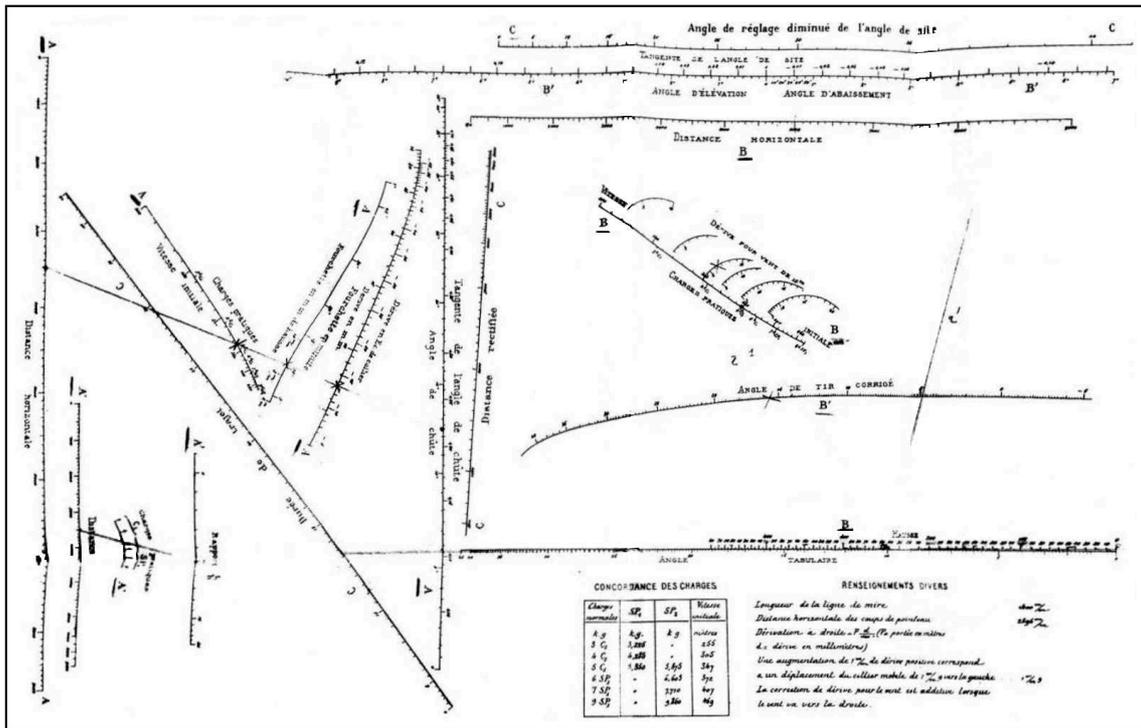


FIGURE 4.13 – Abaqués de tir pour le canon de 155 long, obus ordinaire, proposé par Lafay (1895). Source : ENPC

de nombreuses applications à la balistique, en deux parties^{45, 46}. Il y dresse un résumé de cette science et propose des nomogrammes à droites concourantes pour la balistique. Son mémoire se veut technique, avec de nombreuses formules expliquées et exploitées, plutôt destinées à des personnes qui voudraient créer des abaques qu'à des techniciens qui souhaiteraient des abaques clé en main. Mais c'est logiquement lors de la Première Guerre mondiale que nous observons l'essor de la nomographie dans la balistique : le bureau de nomographie créé par d'Ocagne permet de récupérer à un même endroit les demandes venant du front. De nombreux abaques sont dessinés, principalement pour les canons qui existent à l'époque afin d'optimiser leur utilisation, en particulier pour le canon phare du début de guerre, le canon de 75. Des manuels complets à destination des officiers sont édités, par exemple sous le nom de « Instruction provisoire sur le tir »⁴⁷

45. Giuseppe PESCI (1899b). « Cenni di nomografia con molte applicazioni alla balistica. Parte prima ». *Rivista marittima*.

46. Giuseppe PESCI (1900a). « Cenni di nomografia con molte applicazioni alla balistica. Parte seconda ». *Rivista marittima*.

47. MINISTÈRE DE LA GUERRE (1916). *Instruction provisoire de tir. Canon de 75 mm contre objectifs aériens*.

dont la figure 4.14 montre la première de couverture d'un exemplaire ainsi que sa table des matières. Ce sont des cahiers tenus secrets, confidentiels et numé-

<p><i>Ministère de la Guerre.</i> <i>Artillerie:</i></p> <p style="text-align: center;">1916. — 15 Août.</p> <p style="text-align: center;"><i>Secret.</i></p> <p style="text-align: center;">L'officier détenteur du présent exemplaire en est personnellement responsable.</p> <p style="text-align: center;">Canon de 75 mm. contre objectifs aériens.</p> <p style="text-align: center;"><i>Instruction provisoire sur le tir.</i></p> <p><small>23. 10. 16.</small> Cette Instruction annule et remplace le Titre I de l'Instruction provisoire du 24 Décembre 1915 complétée par la feuille rectificative N° 1, du 27 Février 1916. Le Titre II reste en vigueur pour tout ce qui n'est pas contraire à la présente Instruction et jusqu'à publication des Règlements provisoires de manœuvre de l'auto-canon et de la plate-forme, qui sont en préparation.</p> <p>Nota. — Tous les exemplaires de la présente Instruction sont numérotés. Les autorités ayant qualité pour distribuer ce document tiendront un contrôle nominatif des officiers auxquels il aura été confié.</p> <p style="text-align: center;"><i>Exemplaire N° 1605.</i></p>	<p style="text-align: center;">TABLE DES MATIÈRES.</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 80%;"></th> <th style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">Pages.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Chap. I - Tir sur but aérien supposé fixe.....</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">1</td> </tr> <tr> <td>Chap. II - Corrections nécessitées par le mouvement du but.....</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">7</td> </tr> <tr> <td>Chap. III - Corrections secondaires à la dérive et au site.</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">21</td> </tr> <tr> <td>Chap. IV - Détermination des élé- ments du tir.....</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">27</td> </tr> <tr> <td>Chap. V - Réglage du tir.....</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">73</td> </tr> <tr> <td>Chap. VI - Mécanismes de tir - Notions sommaires d'organisation.....</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">111</td> </tr> <tr> <td>Chap. VII - Tir des obus traceurs..</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">121</td> </tr> <tr> <td>Chap. VIII - Matériels de fortune - Tableaux tenant lieu d'appareils.....</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">125</td> </tr> </tbody> </table>		Pages.	Chap. I - Tir sur but aérien supposé fixe.....	1	Chap. II - Corrections nécessitées par le mouvement du but.....	7	Chap. III - Corrections secondaires à la dérive et au site.	21	Chap. IV - Détermination des élé- ments du tir.....	27	Chap. V - Réglage du tir.....	73	Chap. VI - Mécanismes de tir - Notions sommaires d'organisation.....	111	Chap. VII - Tir des obus traceurs..	121	Chap. VIII - Matériels de fortune - Tableaux tenant lieu d'appareils.....	125
	Pages.																		
Chap. I - Tir sur but aérien supposé fixe.....	1																		
Chap. II - Corrections nécessitées par le mouvement du but.....	7																		
Chap. III - Corrections secondaires à la dérive et au site.	21																		
Chap. IV - Détermination des élé- ments du tir.....	27																		
Chap. V - Réglage du tir.....	73																		
Chap. VI - Mécanismes de tir - Notions sommaires d'organisation.....	111																		
Chap. VII - Tir des obus traceurs..	121																		
Chap. VIII - Matériels de fortune - Tableaux tenant lieu d'appareils.....	125																		

FIGURE 4.14 – Première de couverture et table des matières d'un fascicule d'instruction sur le tir édité par le ministère de la Guerre pour le canon de 75 (1916). Source : ENPC

rotés contenant les instructions et formules nécessaires aux éléments du tir, les corrections des tirs, les matériaux utilisés... Ceux-ci ne comportent pas de nomogrammes mais permettent certainement au bureau de nomographie de s'en inspirer afin de traduire en graphiques les multiples équations relatives aux tirs.

À l'opposé, il existe des carnets de nomogrammes, souvent couplés à des tables et plutôt à destinations des artilleurs, composés d'applications rapides, avec une courte explication de l'utilisation pratique. C'est le cas de l'annexe aux tables de tir du canon de 75 modèle 1897 éditée en 1917 et comportant des tables de tirs sommaires et des abaques à droites concourantes pour le calcul de la variation globale de portée⁴⁸. Ce sont des instructions officielles émanant du minis-

48. MINISTÈRE DE L'ARMEMENT ET DES FABRICATIONS DE GUERRE (1917). *Annexe 1 aux tables de tir du canon de 75 Mle 1897. Tables de tir sommaires et abaques pour le calcul de la variation globale de*

rière de l'Armement et des fabrications de guerre dans lesquelles sont proposés, pour quelques types d'obus, un tableau permettant de régler le tir du canon et un abaque lui correspondant pour le calcul de la variation de portée due aux conditions au moment du tir (la figure 4.15 montre un tel abaque pour l'obus à balles). Ces abaques comportent quatre réseaux de courbes à entrecroisements ainsi que

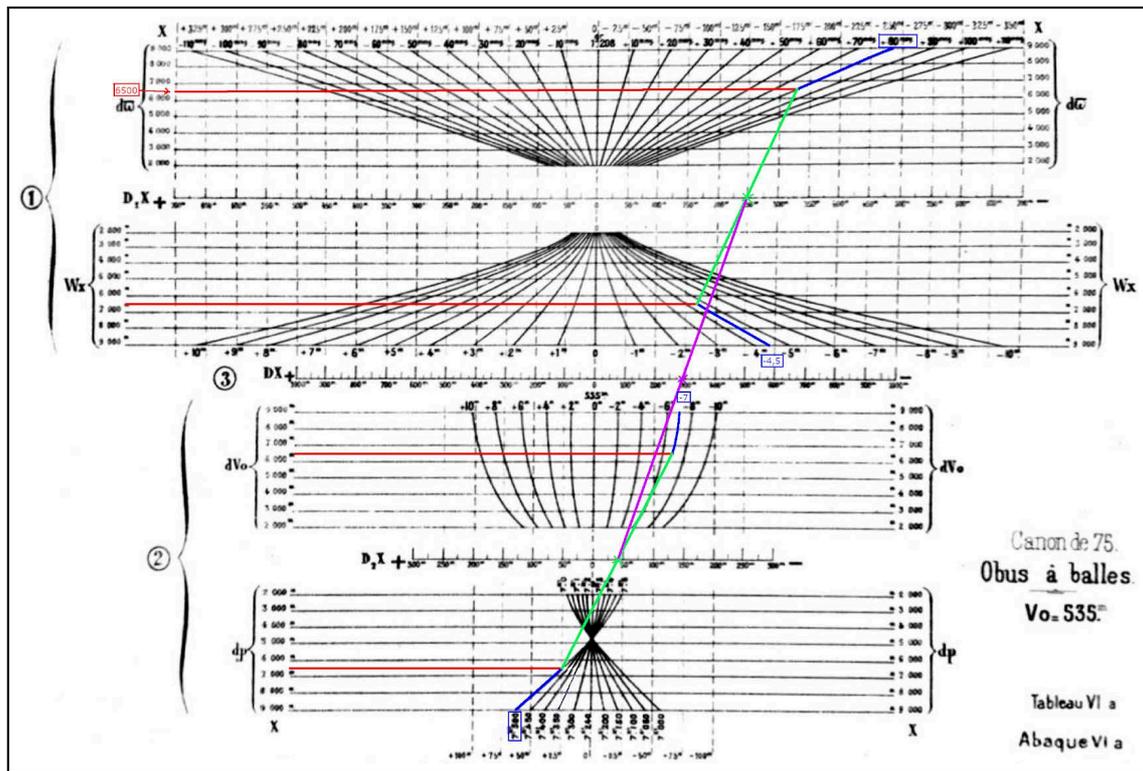


FIGURE 4.15 – Abaque VIa des tables de tir du canon de 75. Source : ENPC

des échelles graduées. Les variations étudiées sont celle du poids du litre d'air (noté $d\omega$ sur l'abaque), celle de la composante longitudinale du vent (Wx), celle de la vitesse initiale (dVo) et celle du poids du projectile (dp). Etudions plus en détail l'utilisation de cet abaque particulier qui nécessite à la fois des lectures sur des réseaux à entrecroisements et des alignements de points. Prenons l'exemple d'un tir d'obus à balle de portée théorique 6 500 m, dont le poids du litre d'air est de 1 280 mg, dont la composante longitudinale du vent est diminuée de 4,5 m/s, de vitesse initiale 528 m/s et de variation de poids de +7,5 kg (voir fig. 4.15).

— Sur le premier graphique en partant du haut, on trouve l'intersection de la ligne horizontale des portées correspondant à 6 500 m et la courbe de

portée correspondant aux conditions du tir du moment.

variation du poids de l'air de +80 mg (1 280 mg – 1 200 mg). Cela nous donne une portée diminuée d'environ 165 m, lisible sur l'axe des abscisses situé au dessus du schéma.

- Sur le second graphique, on trouve l'intersection de la ligne horizontale des portées correspondant à 6 500 m et de la courbe de variation du vent de $-4,5$ m/s. Cela nous donne une portée diminuée d'environ 85 m.
- En reliant les deux points d'intersection de ces deux graphiques, on peut lire une variation de portée de -250 m sur l'échelle située entre les deux graphiques (D_1X).
- Sur le troisième graphique, on trouve l'intersection de la ligne horizontale des portées correspondant à 6 500 m et de la courbe de variation de la vitesse initiale de -7 m/s (528 m/s–535 m/s). Cela nous donne une portée diminuée d'environ 65 m, lisible sur l'axe des abscisses situé en dessous du schéma.
- Sur le quatrième graphique, on trouve l'intersection de la ligne horizontale des portées correspondant à 6 500 m et de la courbe de variation du poids de l'obus de +7,5 kg. Cela nous donne une portée diminuée d'environ 25 m.
- En reliant les deux points d'intersection de ces graphiques, on peut lire une variation de portée d'environ -40 m sur l'échelle située entre les deux graphiques (D_2X).
- Enfin, on relie les deux points obtenus sur les échelles D_1X et D_2X pour obtenir la variation totale de la portée sur l'échelle horizontale centrale DX , c'est à dire -290 m.

Ainsi, dans ces conditions, la portée de l'obus ne sera pas de 6 500 m mais de 6 210 m. Remarquons toutefois que nous pouvons diminuer le temps de calcul : en effet, il n'est pas nécessaire de lire à chaque fois l'augmentation ou la diminution de portées pour chaque variable, il suffit de lire directement le résultat final. Les autres tableaux graphiques de ce recueil sont tous basés sur le même procédé de lecture.

La même année, nous trouvons également un carnet comportant uniquement des nomogrammes (17 au total) et portant plus ou moins le même nom : *Canon de 75 M^{le} 1897. Tables graphiques de corrections de tir*⁴⁹. Nous pouvons supposer que ce carnet, d'apparence sommaire (voir fig. 4.16), puisse émaner du bureau d'étude de nomographie, puisqu'il comporte de nombreux nomogrammes signés

49. INCONNU (1917a). *Canon de 75 M^{le} 1897. Tables graphiques de corrections de tir*.



FIGURE 4.16 – Première de couverture du carnet de tables graphiques de corrections de tir du canon de 75 (1917). Source : ENPC

d'Ocagne, ainsi qu'une note finale stipulant que « Les principes sur lesquels est fondée la construction des tables graphiques sont donnés dans les ouvrages suivants du L^t Colonel d'Ocagne : *Traité de nomographie* (Paris ; Gaultier-Villars [sic] ; 1899). *Calcul graphique et nomographie* (Paris, Doin : 2^e édition 1914) ». Mais surtout, certains bons à tirer de ces nomogrammes se trouvent dans les archives avec l'entête « Sous-secrétariat d'État des inventions. Bureau d'études nomographiques »⁵⁰. Notons que, contrairement au précédent carnet qui ne comportait qu'une sorte d'abaque permettant de mesurer en une fois une variation

50. SOUS-SECRETARIAT D'ÉTAT DES INVENTIONS (1917a). *Bon à tirer pour les canons de 120 et de 75*.

de portée, ceux de ce carnet sont plus diversifiés mais aussi plus singuliers : on y trouve un abaque pour le calcul de la distance mesurée et de l'angle du plan de tir mélangeant des entrecroisements et des alignements ; un nomogramme à points alignés pour déterminer l'angle de site ; un autre pour calculer les composantes du vent ; sept nomogrammes mixtes de corrections atmosphériques (créés par d'Ocagne et Pierre Goybet) ; quatre nomogrammes des corrections en portée correspondant aux variations de la vitesse initiale et du poids du projectile (d'Ocagne et A. Michel) ; deux nomogrammes à entrecroisement donnant la valeur de l'écart probable sur un terrain incliné (Jean Elubert), et enfin un nomogramme à droites parallèles et à points alignés d'un coefficient de réglage consistant simplement en un abaque de multiplication.

Enfin, nous rencontrons des carnets mixtes comportant à la fois des nomogrammes, mais aussi des explications techniques de construction de ces abaques, plus à destination des ingénieurs qui voudraient se lancer dans des constructions personnelles. C'est le cas par exemple pour les « Notes sur la préparation et le réglage des tirs », un document confidentiel qui reprend les instructions provisoires du tir⁵¹ dans son aspect technique, et qui propose différents outils pour effectuer les calculs comme des abaques à points alignés et des tables graphiques⁵². L'objectif de cette brochure est clair :

« Cette brochure n'est pas un Règlement officiel. Elle a été rédigée pour faire profiter le plus grand nombre possible d'officiers d'artillerie de travaux faits par quelques-uns de leurs camarades et faciliter ainsi leurs travaux personnels. Chacun y puisera donc ce qu'il jugera convenable, dans les limites des prescriptions réglementaires. »

Après la guerre, en 1919, d'Ocagne publie son fascicule *Principes usuels de nomographie avec application à divers problèmes concernant l'artillerie et l'aéronautique*⁵³ dont nous avons déjà parlé pour la section artillerie où il présente certains abaques à points alignés utilisés pendant la guerre.

Pour conclure sur cette partie, je tenais à montrer un dernier type d'abaque disponible dans la pochette des planches à grand format, dont l'auteur m'est inconnu, mais qui doit dater des années 1916 et qui me paraît de concept très intéressant. Il s'agit de l'abaque passe-partout (voir fig. 4.17). Il constitue une trame

51. MINISTÈRE DE LA GUERRE 1916.

52. SOUS-SECRETARIAT D'ÉTAT DES INVENTIONS 1917b.

53. Maurice d'OCAGNE 1919b.

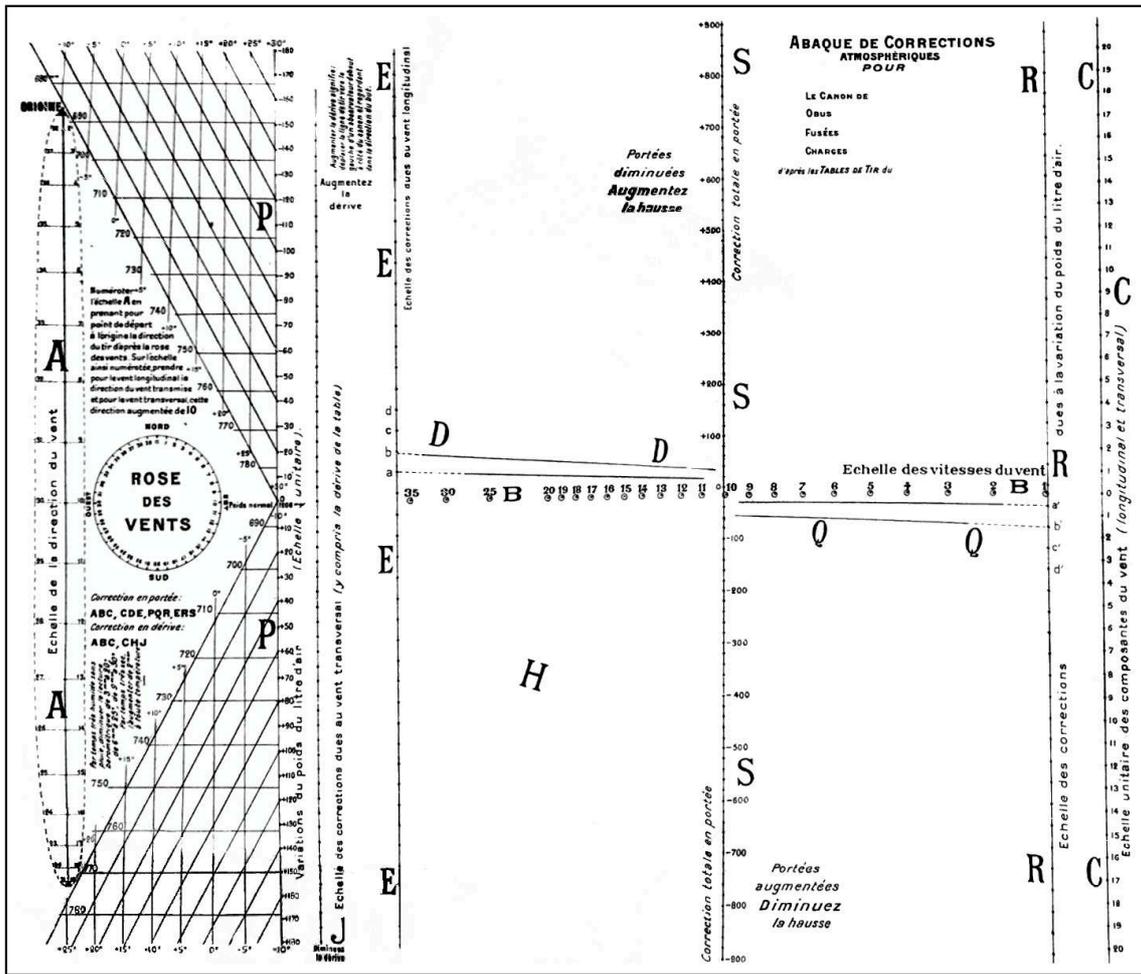


FIGURE 4.17 – Abaque passe partout pour le tir au canon. Source : ENPC

de nomogramme pouvant être utilisée pour tous les canons, à condition de la compléter grâce aux tables de tir caractéristiques du canon que l'on souhaite préparer. L'abaque passe-partout comporte pas moins de onze échelles numérotées par des lettres. Les échelles A, B, C, E, P, R, S sont fixées et correspondent à :

- A - échelle de la direction du vent, qui a la particularité d'être une échelle « mobile » graduée de manière ponctuelle pour la composante longitudinale et transversale du vent grâce à la rose des vents ;
- B - échelle des vitesses du vent ;
- C - échelle des composantes du vent (longitudinal et transversal) ;
- E - échelle des corrections dues au vent longitudinal ;
- P - échelle de la variation du poids du litre d'air ;

R - échelle des corrections dues à la variation du poids du litre d'air, le poids pouvant être obtenu grâce à un sous-abaque à entrecroisements dans lequel on peut entrer la pression et la température ;

S - échelle finale de la correction totale en portée.

Les échelles D, H, J et Q doivent être construites point par point en utilisant les tableaux de correction et peuvent être composées de plusieurs faisceaux de courbes afin d'utiliser l'abaque pour différentes charges d'un même obus ou d'une même fusée :

D - échelles des portées pour la correction due au vent longitudinal ;

H - échelles des portées pour la correction de la dérive ;

J - échelles de la somme de la dérive de la table et de la dérive due au vent transversal ;

Q - échelles des portées pour la correction due à la variation du poids du litre d'air.

Si nous examinons l'un de ces abaques terminé, celui des corrections atmosphériques pour l'O.F.A du 155^{cs} à fusées courtes (voir fig. 4.18), nous constatons un effort « pédagogique » visuel par rapport aux abaques usuels (voir par exemple le nomogramme de Lafay fig. 4.13) : tout d'abord, il est édité en trois couleurs. Le cadre vert nous permet de distinguer en un coup d'œil le type de canon dont il s'agit, et les échelles bicolores rouges et noires aident à mieux différencier les échelles des différentes charges pour un même obus. Les lettres A, B, C, D, E, H, J, P, Q, R et S désignent les échelles permettent de suivre l'algorithme d'utilisation de l'abaque : nous pouvons lire en effet la série ABC, CDE, PQR, ERS pour la correction en portée et la série ABC, CHJ pour la correction en dérive juste en dessous de la rose des vents. Pour faire le lien avec d'autres abaques, il était très courant de voir un petit schéma montrant la marche à suivre, ainsi qu'un exemple tracé sur l'abaque, ce qui pouvait prêter à confusion en ajoutant à l'abaque des lignes inutiles de manière générale. Nous pourrions ajouter à cela que la police de caractère utilisée semble bien lisible.

Suite à ces remarques, et même sans livret d'instruction, nous pouvons imaginer qu'un technicien habitué aux nomogrammes peut en déduire assez facilement la marche à suivre pour déterminer les corrections à apporter à la hausse du canon (angle du canon sur le plan vertical) et à la dérive (angle du canon sur le plan horizontal) pour une portée donnée en fonction du vent, de la tempéra-

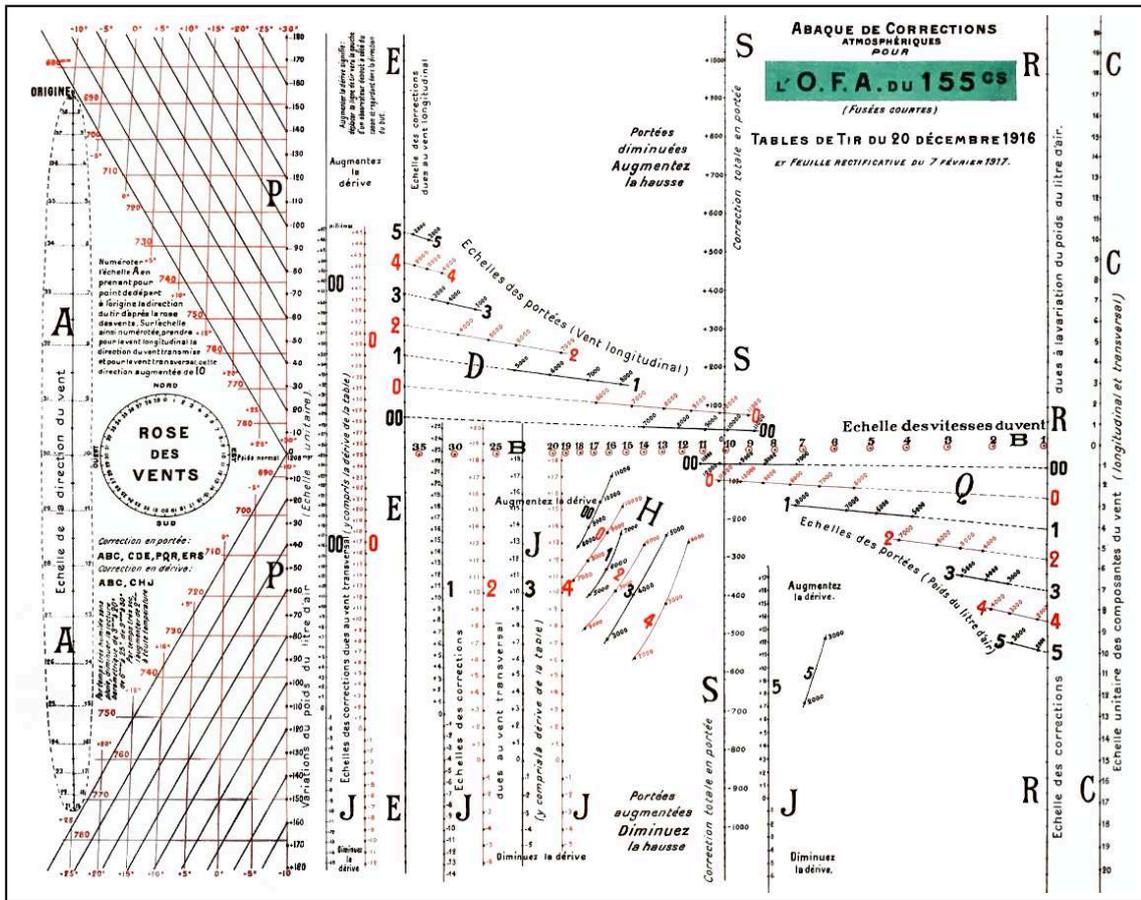


FIGURE 4.18 – Abaque de correction atmosphériques pour l'O.F.A. du 155^{CS} d'auteur inconnu. Source : ENPC

ture et de la pression. En se prêtant à ce jeu, il est possible d'effectuer les étapes suivantes :

- Correction de la hausse : celle-ci dépend de la composante longitudinale du vent, de sa vitesse et du poids du litre d'air. Le premier alignement à effectuer est l'alignement ABC, reliant l'échelle de la direction longitudinale du vent A à l'échelle des vitesses B, ce qui nous donne un point sur l'échelle C. La deuxième étape consiste à aligner le point déterminé précédemment sur l'échelle C à l'échelle D des portées pour le vent longitudinal, ce qui nous donne un point sur l'échelle E des corrections dues au vent longitudinal. Ensuite, on désigne la modification due à la variation de poids du litre d'air en alignant l'échelle P à l'échelle Q des portées pour le poids du litre d'air afin d'obtenir un point sur l'échelle R. Enfin, en alignant les points des échelles E et R, on obtient la correction à apporter à la hausse

sur l'échelle S.

- Correction de la dérive : elle dépend cette fois-ci de la composante transversale du vent et de sa vitesse. On aligne l'échelle A à l'échelle B, ce qui nous donne un point sur l'échelle C. On relie ce point à l'échelle H des portées pour le vent transversal, cela nous donne la correction à apporter à la dérive sur l'une des échelles J en fonction de la charge utilisée.

Ainsi, le technicien peut ensuite corriger la hausse et la dérive de son canon afin d'obtenir un réglage plus optimal.

4.1.4 Énergies

Parmi les articles d'application de la nomographie des archives de l'ENPC, les plus nombreux ont trait aux énergies, en particulier pour le transport, le transfert ou la composition des éléments tels que l'eau, le gaz ou encore l'électricité. Ainsi, un tiers des articles concerne les canalisations de l'eau, un tiers les propriétés chimiques ou de transformation des énergies, et le reste porte sur le transport de l'électricité et de la lumière. La plupart des nomogrammes sont construits à partir de formules connues portant souvent le nom de leur découvreur, qu'elles soient définies analytiquement ou de manière empirique.

Les nomogrammes pour le transport de l'eau

Dans son *Manuel de l'ingénieur des ponts et chaussées*⁵⁴, l'ingénieur Alphonse Debaube explique que « L'eau est nécessaire à tous les besoins de la vie », notamment pour la salubrité des villes, dans la gestion des incendies, et individuellement comme eau potable. Seulement, il faut pouvoir la transporter jusqu'aux villes et à travers les villes, et donc établir un réseau de canalisations qui puisse être suffisamment efficace pour atteindre chaque maison, chaque immeuble, chaque étage. Pour cela, les ingénieurs ont besoin de formules, et principalement de deux équations : l'équation fondamentale de l'eau dans les tuyaux

$$\frac{1}{4}d.j = F(u) \quad (4.1)$$

où d est le diamètre du tuyau, j la perte de charge par unité de longueur du tuyau, c'est à dire la pente, et F une fonction de la vitesse u dépendant de multiples

54. Alphonse DEBAUVE (1875). *Manuel de l'ingénieur des ponts et chaussées*. 16e fascicule - Traité des eaux, distribution des eaux. Dunod.

paramètres comme le matériaux utilisé pour le transport, la porosité, la vétusté... La deuxième équation est la formule du débit de l'eau q en fonction du rayon R et de la vitesse moyenne u

$$q = \pi.R.u \quad (4.2)$$

Ainsi, les quatre variables (débit, vitesse, pente et diamètre) sont liées par deux relations, et la connaissance de deux d'entre elles permet de déterminer les deux autres. Le problème pourrait paraître simple, sauf que la fonction F ne peut pas être déterminée par une formule théorique, et résulte donc de lois empiriques basées sur des essais.

Des abaques sont alors réalisés afin de résoudre des problèmes de distribution d'eau : c'est ainsi que, dès 1884, l'ingénieur suisse Aloys van Muyden propose un abaque à droites entrecroisées grâce à la formule empirique de Darcy pour les tuyaux depuis longtemps en service⁵⁵. L'équation utilisée pour F est

$$F(u) = 0,004014 + \frac{0,0000124}{R}$$

La note de Muyden permet la résolution de problèmes concrets de distribution de l'eau tels que :

« Déterminer les dimensions d'un système de conduites privées en fer étiré destinées à desservir un abonnement d'eau à robinet libre à un groupe de trois maisons contiguës à quatre étages.

Un industriel se propose d'actionner par les eaux de Bret un hydromoteur devant produire un travail effectif moyen de quatre chevaux. On demande de déterminer, pour divers diamètres de branchement, la valeur de la dépense d'eau motrice par cheval effectif et par heure. »

Son abaque utilise l'anamorphose logarithmique de Lalanne et ne comporte que des réseaux de droites (voir fig. 4.19)⁵⁶. L'échelle des diamètres est exprimée en centimètre (axe des abscisses) et en pouce anglais ; l'échelle des pentes se lit en ordonnées, et les échelles des débits et des vitesses en oblique, si bien que la donnée de deux variables permet de connaître les deux autres.

Dans ce qui a été dit précédemment, nous entrevoyons bien que la fonction F est la clé d'une modélisation la plus proche de la réalité, et le choix de la fonction à utiliser semble être une difficulté supplémentaire. Ainsi, le conducteur de

55. Aloys van MUYDEN (1884a). « Abaque logarithmique pour le calcul des conduites d'eau sous pression ». *Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes*.

56. Ibid., pl.1.

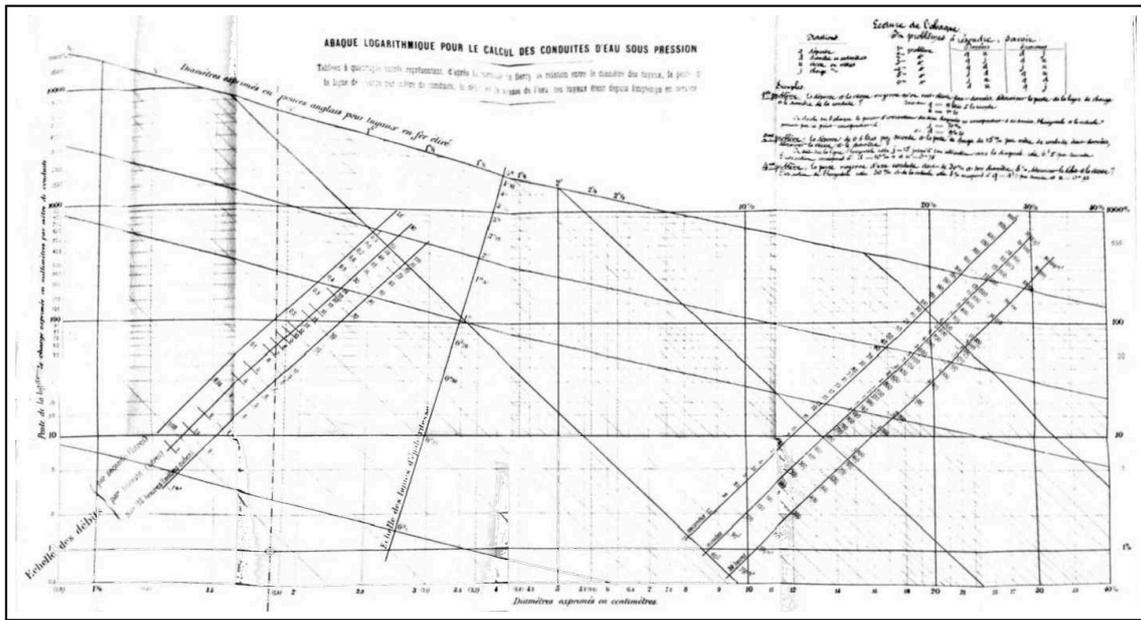


FIGURE 4.19 – Abaque logarithmique pour le calcul des conduites d'eau sous pression de Muyden (1884). Source : ENPC

travaux publics Georges Dariès⁵⁷ est convaincu par l'emploi des abaques pour effectuer des calculs numériques. Dans les préliminaires d'un article publié en 1897 dans les *Nouvelles annales de la construction*⁵⁸, il commence ainsi :

« L'emploi des abaques pour effectuer les calculs numériques est une des applications les plus récentes et les plus remarquables de la géométrie cartésienne. Il était réservé à Lalanne de créer cette doctrine, de la perfectionner, et d'en marquer l'importance pratique par de nombreux exemples. Les récents perfectionnements de M. Massau, de l'Université de Gand, de M. Lallemand, et surtout de M. d'Ocagne, ont encore étendu son champ d'application qui, à l'heure actuelle, embrasse la plupart des questions où le calcul numérique s'impose comme une pénible nécessité. »

Cependant, Dariès s'interroge sur cette fonction qui n'est pas déterminée de manière exacte. Ainsi, une multitude de formules existent, chacune prenant l'avantage sur un certain type de canalisation, un certain diamètre... Dariès en énumère quelques-unes dans son article (les fonctions sont notées φ , U étant la vitesse

57. Georges Dariès (1862-1916) : ingénieur, inspecteur du service des eaux de Paris, professeur d'hydraulique français.

58. Georges DARIÈS (1897a). « Application de la nomographie au calcul des conduites d'eau ». *Nouvelles annales de la construction*. 4, p. 113-118.

moyenne) :

— Prony (1804) : $\varphi(U) = 0,0000173 U + 0,000348 U^2$.

— Dupuit (1855) : $\varphi(U) = 0,0004 U^2$.

— Darcy (1862) : $\varphi(U) = \left(0,0003070 + \frac{0,0000129}{D}\right) U^2$.

— Levy (1868) : $\varphi(U) = \frac{U^2}{810,5(1 + \sqrt[3]{R})}$.

— Flamant (1892) : $\varphi(U) = 0,00023 U^{\frac{7}{4}} D^{-\frac{1}{4}}$.

Il précise que ce sont des formules françaises, et qu'il en existe tout autant en Allemagne, en Angleterre et en Italie. Pour choisir la formule « idéale », il s'appuie sur des essais pratiques : les formules de Prony et de Dupuit sont efficaces pour des tuyaux dont les diamètres sont compris entre 0,06 m et 0,64 m ; celle de Darcy entre 0,04 m et 0,30 m ; celle de Flamant entre 0,01 m et 1,30 m ; et enfin celle de Levy pour des valeurs comprises entre 0,04 m et 3 m. C'est donc cette dernière qui est choisie par Dariès pour construire son abaque. Après élimination de U entre les équations (4.1), (4.2) et de la fonction due à Levy, il obtient une relation entre les variables D , Q et J qui reste compliquée pour les calculs à effecteur ainsi que pour la traduction en abaque. Dariès utilise alors l'expression qu'Henri Vallot a estimé être quasiment équivalente :

$$D = 4,226 Q^{\frac{3}{8}} J^{-\frac{3}{96}}$$

Le nomogramme obtenu (fig. 4.20, à gauche), contient quatre droites graduées parallèles : une pour le débit, une pour le diamètre du tuyau, une pour la pente et une dernière pour la vitesse. L'alignement de deux variables permet de déterminer les deux autres, ce qui rend la lecture plus facile que dans l'abaque de Muyden.

En 1897, l'inspecteur général des Ponts et Chaussées Henry Bazin⁵⁹ expose dans les *Annales des ponts et chaussées* une nouvelle formule pour calculer le débit des canaux découverts⁶⁰. Disciple de Darcy⁶¹, il travaille sur ce thème et tente de trouver la formule la plus juste possible prenant en compte un maximum des multiples variables. Il entreprend donc de très nombreuses expériences en considérant toutes les catégories de parois possibles : les parois très unies comme le

59. Henry Bazin (1829-1917) : ingénieur des Ponts et Chaussées, hydraulicien français.

60. Henry BAZIN (1897). « Étude d'une nouvelle formule pour calculer le débit des canaux découverts ». *Annales des ponts et chaussées*, p. 20-70.

61. Henry Darcy (1803-1858) : ingénieur des Ponts et chaussées, hydraulicien français.

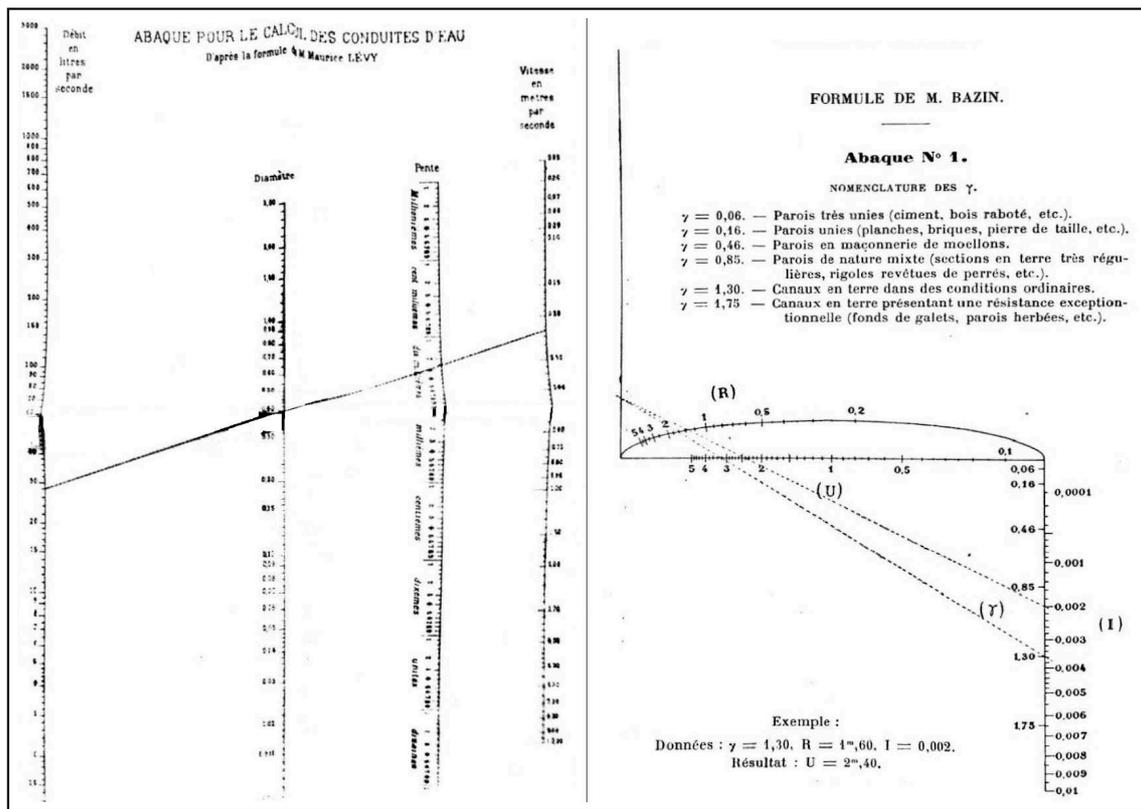


FIGURE 4.20 – Abaques pour le transport de l'eau : à gauche selon la formule de Levy proposée par Dariès et à droite pour la formule de Bazin par d'Ocagne, 1897 et 1898. Source : ENPC

ciment lissé, le bois raboté; les parois unies (planches, pierre de taille, brique); les parois en maçonnerie de moellons; les canaux en terre et les canaux en terres mixtes. Il obtient la « nouvelle formule de Bazin » suivante :

$$U = \frac{87\sqrt{RI}}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}$$

où I est la pente et γ un coefficient qui dépend de la nature de la paroi⁶². Il donne à la suite de son article de nombreuses tables numériques comportant les valeurs de $\frac{\sqrt{RI}}{U}$ et de $\frac{U}{\sqrt{RI}}$ selon le rayon R et le coefficient γ pour tous les types de parois. D'Ocagne s'empare de la formule pour la mettre sous la forme d'un nomogramme à points alignés (fig. 4.20, à droite)⁶³. Cet abaque est composé

62. Cette formule est toujours en vigueur notamment pour les canaux et les égouts.

63. Maurice d'OCAGNE (1898a). « Abaque de la nouvelle formule de M. Bazin relative aux canaux découverts ». *Annales des ponts et chaussées*, p. 304-314.

de deux échelles rectilignes placées perpendiculairement : l'échelle horizontale représente la vitesse U , la double échelle verticale les valeurs de la pente I et du coefficient γ . Une dernière échelle, dont le support est une demi-ellipse, complète l'abaque. La droite verticale à gauche sert de droite pivot et la lecture de U se fait en deux alignements. Notons que cet abaque a été repris dans la deuxième édition de son *Traité de nomographie* de manière légèrement plus compacte avec les échelles U et R orientées à 60° par rapport aux axes verticaux.

Bien plus tard, le 27 juin 1929, l'ingénieur des constructions civiles Henry Roulet, ancien élève de d'Ocagne, écrit à son « Très éminent maître » afin de lui faire part d'une note qu'il a rédigée en matière d'hydraulique agricole. Il lui demande si cette note pourrait faire l'objet d'une publication dans les *Annales des ponts et chaussées*⁶⁴. Dans sa note, il reprend la formule de Bazin dans le cas particulier des canaux d'irrigation en terre (avec un coefficient γ de 1,30 ou 1,75) et obtient un abaque en N de lecture très simple, comportant une double échelle pour les valeurs de R en fonction des deux valeurs de γ . Ce nomogramme est complété par d'autres, par exemple celui de la formule de Ganguillet et Kutter, principalement utilisée en Autriche et en Suisse. Son article est publié au quatrième trimestre de 1929⁶⁵, donc très peu de temps après sa demande à d'Ocagne. Dans la figure 4.21, nous pouvons voir côte à côte l'abaque de Roulet et celui de d'Ocagne dans le cas particulier d'un coefficient γ de 1,3.

Remarquons qu'il est possible actuellement de trouver facilement sur la toile des nomogrammes pour la formule de Bazin, qui semblent être encore utilisés en dépit de tous les instruments de calcul modernes.

Les nomogrammes pour déterminer certaines propriétés des éléments

Des nomogrammes aident les chimistes à déterminer les propriétés des éléments (eau, air, gaz, charbon, électricité...) ainsi que leur transformation. De manière chronologique, c'est le coke (charbon) qui bénéficie des premiers nomogrammes au tout début du 20^e siècle avec notamment le fonctionnement des gazogènes au coke. Soreau présente par exemple en 1907 un nomogramme (voir fig. 4.22) à points alignés à neuf droites (dont quatre doubles échelles) assez com-

64. Henry ROULET (17 nov. 1928a). *Proposition d'abaque pour la formule de Bazin dans le domaine agricole*. Une lettre.

65. Henry ROULET (1929a). « Les abaques à points alignés dans le domaine de l'hydraulique ». *Annales des ponts et chaussées*. 4, p. 62-77.

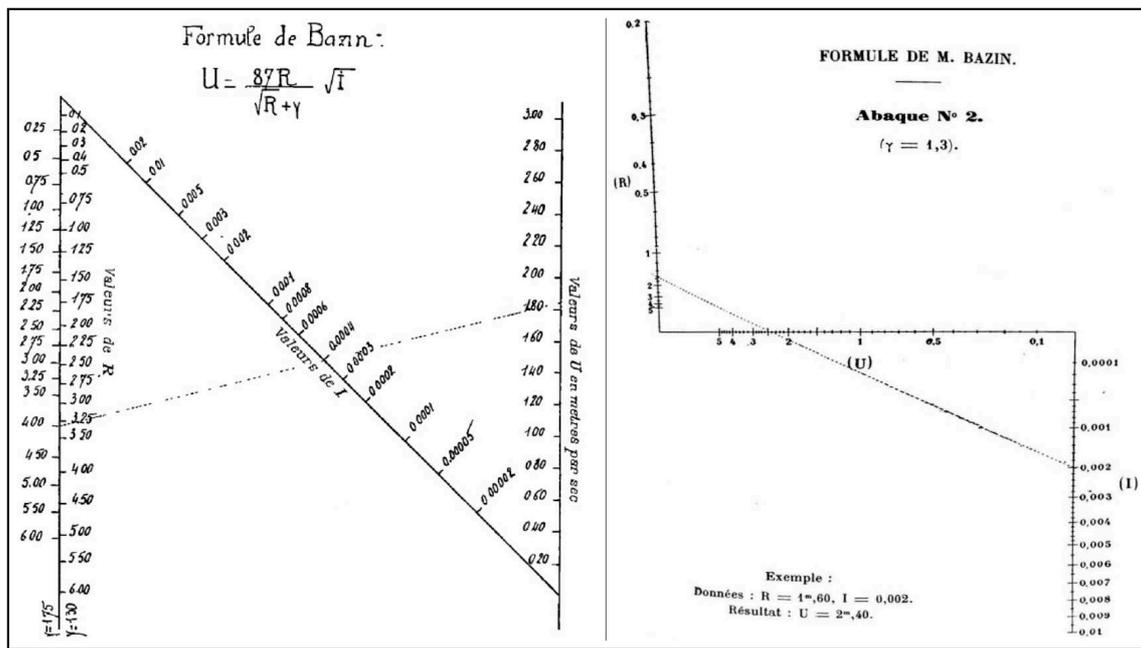


FIGURE 4.21 – Abaques pour les canaux en terre selon la formule de Bazin : à gauche celui de Roulet (1929) et à droite celui de d'Ocagne (1898). Source : ENPC

plet sur ce sujet⁶⁶. Son abaque permet de déterminer les éléments principaux des gazogènes : les teneurs en oxyde de carbone, en dioxyde de carbone, en dihydrogène et en azote produits; le volume du gaz produit par kilogramme de carbone; le volume d'air et de poids d'eau absorbée; le pouvoir calorifique ainsi que la température du mélange et enfin le rendement thermique du gazogène. Toutefois, Soreau précise qu'il est valable uniquement pour le coke ou le charbon de bois qui sont purs ce qui, dans la réalité, n'existe pas. En effet, même les meilleurs coques contiennent des hydrocarbures, et ceux-ci donnent lieu à de multiples réactions chimiques qui ne peuvent pas être analysées à l'intérieur du gazogène. Il en résulte une modification des teneurs théoriques des principaux éléments ainsi que l'apparition d'hydrocarbures qui faussent les alignements de l'abaque. Soreau conclut en affirmant que le seul intérêt de son nomogramme est de « constituer le tableau le plus clair et le plus complet des résultats théoriques ».

Le reste des études nomographiques paraissent plus récentes : sans rentrer dans les détails, nous avons des abaques concernant les propriétés de la vapeur d'eau, d'autres sur le thermodynamisme (transmission de la chaleur, volume, co-

66. Rodolphe SOREAU (1907a). « Représentation du fonctionnement théorique des gazogènes au coke ». *Mémoires et compte rendu des travaux de la Société des ingénieurs civils de France*. 88, p. 692-700, pl.161.

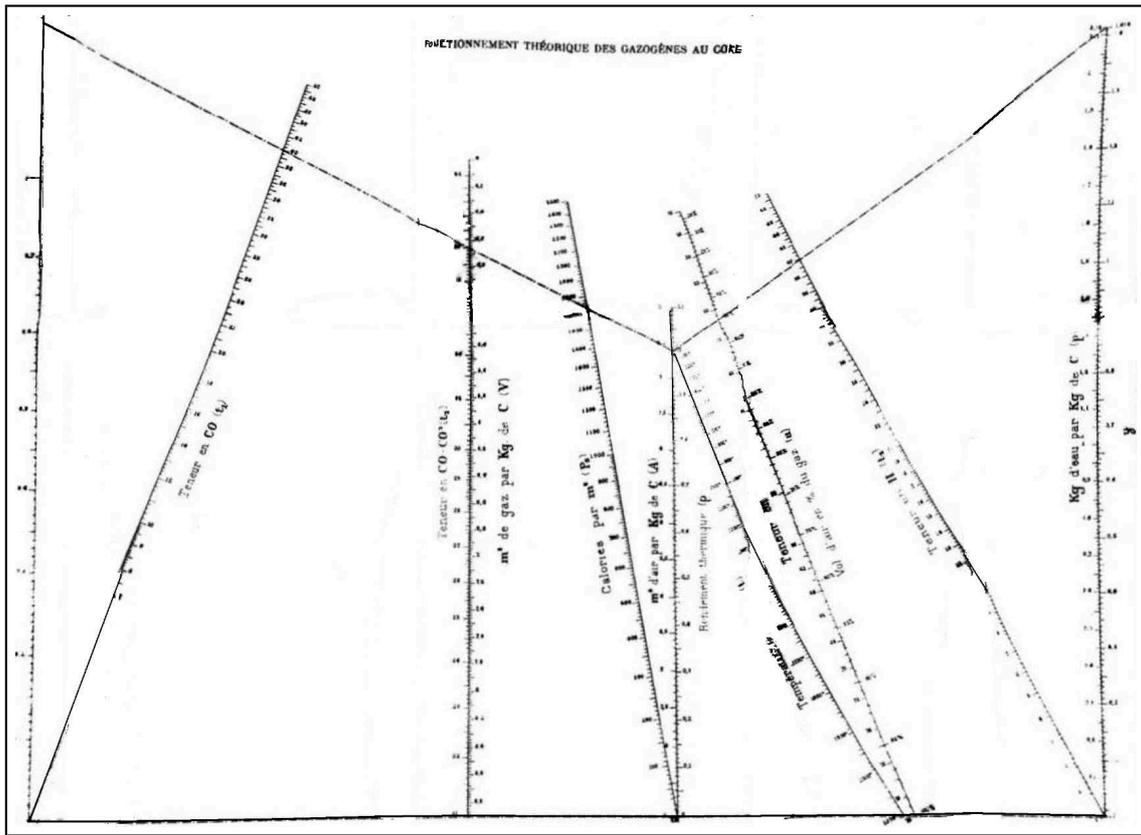


FIGURE 4.22 – Abaque du fonctionnement théorique des gazogènes au coke proposé par Soreau (1907). Source : ENPC

efficent de réchauffement...), et les états de l'air.

Les nomogrammes de transport de l'électricité et de la lumière

De la même manière que les ingénieurs se posent la question du transport de l'eau ou du gaz, ils s'intéressent aux canalisations permettant de transporter l'électricité. En effet, le développement sans cesse croissant de l'industrie électrique fait naître des interrogations en terme de distribution de l'énergie : le réseau à couvrir est immense et de plus en plus complet, les câbles doivent traverser les voie publiques ou ferrées...

En 1902, André Blondel⁶⁷ propose un abaque a courbes entrecroisées pour les gaines d'électricité. Sa note intitulée « Calcul rapide des conducteurs aériens au

67. André Blondel (1863-1938) : ingénieur des Ponts et Chaussées français.

moyen d'un abaque unique » est introduite de la façon suivante⁶⁸ :

« Tout établissement d'une canalisation aérienne demande des comparaisons et des tâtonnements pour le choix du diamètre des fils, de l'espacement des supports, des flèches admissibles ; et ces tâtonnements sont malheureusement rendus souvent laborieux par la forme de l'équation du troisième degré qui relie entre elles les variables fondamentales. Ayant été souvent appelé à faire des vérifications des conditions d'établissement des lignes de ce genre, j'ai été amené à imaginer une solution graphique de ces calculs, plus simple que celles proposées jusqu'ici, et qui pourra peut-être rendre service à d'autres. C'est ce sentiment qui motive la présentation de cette forme d'application au congrès de la Houille Blanche : je serai heureux si quelques-uns de nos confrères électriciens peuvent en tirer parti pour abréger leurs calculs d'établissement des lignes de transport, qui permettent d'utiliser à distance l'énergie de cette houille merveilleuse. »

Avant d'expliquer son abaque, Blondel fait le bilan des méthodes graphiques qui ont déjà été utilisées pour ce problème : en 1890, les premiers abaques de M. Barbarat avaient l'inconvénient de s'appliquer uniquement aux efforts produits par le poids des conducteurs ; les suivants (de MM. Herzog et Starck) ne prenaient pas en compte l'évolution de la température, ni l'effet du vent et du verglas ; enfin, M. Loppé propose une solution plus complète, mais nécessitant de multiples planches. Fort de ces exemples, Blondel construit un nomogramme complet sur une planche unique et universelle (voir fig. 4.23)⁶⁹. Il fait le choix de graduer son abaque par un quadrillage rectangulaire comprenant les portées en abscisse et la différence des températures en ordonnée, ainsi que deux réseaux de courbes cotées paraboliques représentant la flèche et les efforts. Connaissant pourtant le concept de l'anamorphose et de l'alignement de d'Ocagne et Soreau, il explique curieusement ce choix par une facilité de lecture et une meilleure répartition sur l'étendue de l'échelle.

Dix ans plus tard, Potin reprend ce thème. Entre temps, le développement de l'industrie électrique a fait naître des lois et des arrêtés qui précisent les conditions techniques plus strictes auxquelles doivent satisfaire les conducteurs aériens. Ainsi, il est nécessaire d'effectuer des calculs encore plus nombreux et encore plus complexes avant de pouvoir installer une ligne électrique. Dans une

68. André BLONDEL (1902a). « Calcul rapide des conducteurs aériens au moyen d'un abaque unique ». *Comptes rendus des travaux du congrès*.

69. Ibid., fig.1.

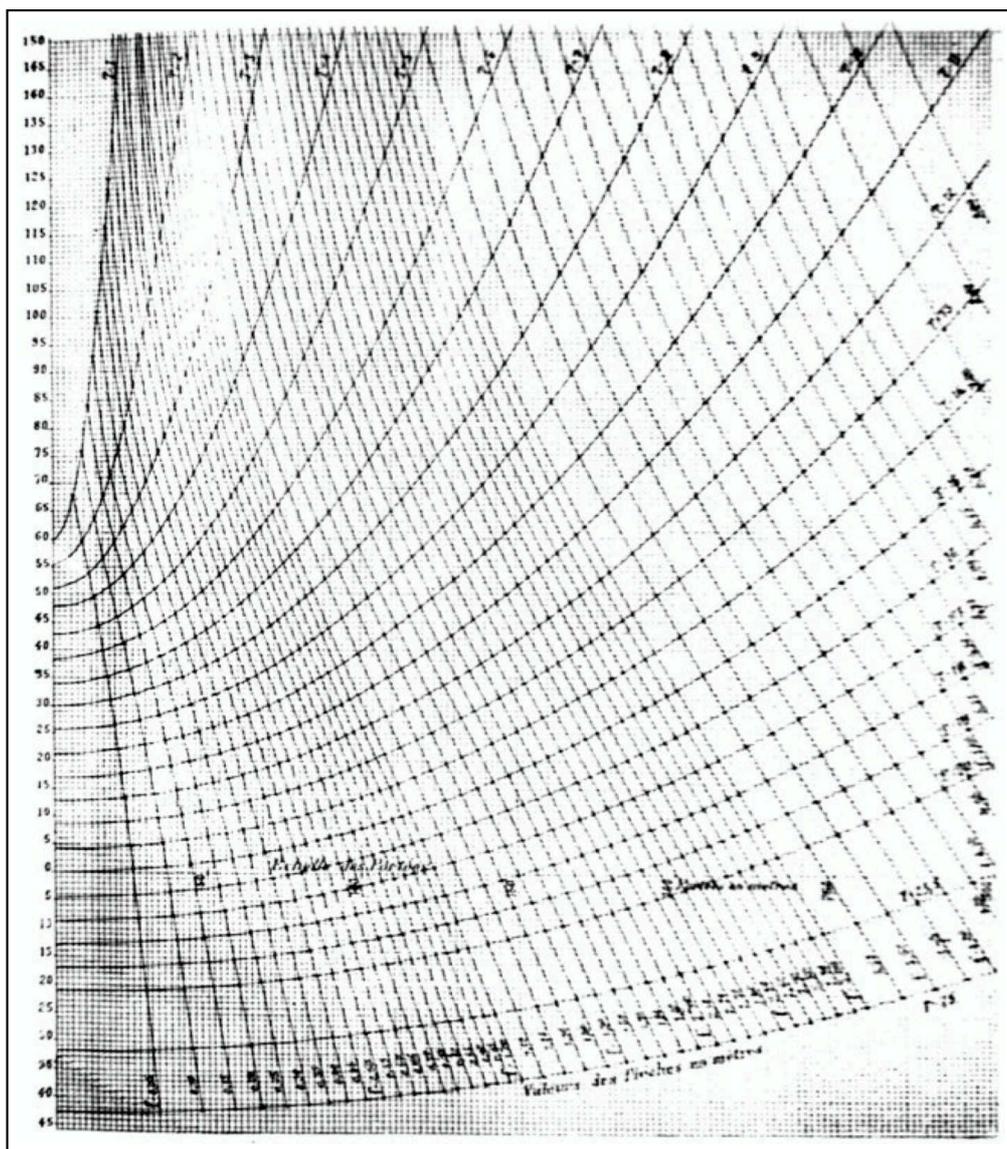


FIGURE 4.23 – Abaque universel pour les lignes aériennes de Blondel 1902. Source : ENPC

lettre envoyée à d’Ocagne le 12 juillet 1912⁷⁰, Potin explique que l’administration des chemins de fer de l’État possède un dossier sur l’établissement des lignes électriques et que ce dossier « comporte l’établissement d’une feuille de calculs sur la base de l’arrêté de mars 1911 ». Le nomogramme de Blondel est toujours d’actualité comme en témoigne un article dans *La lumière électrique* en 1910⁷¹, il a cependant modifié l’échelle des portées afin que les courbes d’égales tensions

70. Louis POTIN (1912c). *Correspondances Potin 1912*. Sept lettres, 12 juillet 1912.

71. André BLONDEL (1910). « Calcul rapide des conducteurs aériens au moyen d’un abaque unique ». *La lumière électrique*. 12, p. 419-427.

soient des lignes droites. Potin espère encore l'améliorer, car il souffre selon lui de plusieurs défauts : tout d'abord, il est très grand, ce qui ne facilite pas son usage ; ensuite, il se rapporte à un nombre très limité de variables en se cantonnant à un seul type de conducteur (le bronze siliceux ou phosphoreux). Enfin, la lecture d'un nomogramme à entrecroisement est pénible et source d'erreurs. Il demande à d'Ocagne de lui donner le nom d'un ingénieur des télégraphes afin qu'il l'informe sur les limites de toutes les variables du nomogramme qu'il souhaite construire. Sa note est publiée dans la revue *La technique moderne* en octobre 1912⁷². Avant de construire son abaque, il expose les différentes contraintes qui rentrent dans l'équation : la position des lignes aériennes (traversant une voie publique, traversant un cours d'eau ou des voies de chemins de fer, proche de ligne télégraphiques), le diamètre des conducteurs, la résistance mécanique des installations, les coefficients de sécurité en fonction des lieux et les matériaux des conducteurs (aluminium, cuivre, bronze et fer). Il mentionne également dans son article l'abaque de Blondel en précisant ce qui, selon lui, fait défaut et il se propose de créer un nomogramme à points alignés selon la méthode de d'Ocagne. Bien évidemment, cela ne plait pas à Blondel qui demande un droit de réponse⁷³ au directeur de la revue (voir fig. 4.24). Dans un article publié en 1913, toujours dans *La lumière électrique*⁷⁴, après avoir énoncé deux principes qui lui semblent fondamentaux, il tacle ses « concurrents » en argumentant que c'est sa méthode qui a été copiée :

« Ces deux principes distinguaient ma méthode de toutes celles qui avaient été proposées jusqu'alors et leur utilité paraît démontrée par le fait que les auteurs postérieurs, tout en critiquant éventuellement mes abaques, se sont empressés néanmoins de m'emprunter mes deux principes.

On me permettra, d'ailleurs, de trouver que leurs critiques ne sont, en général, pas justifiées et n'ont eu pour but que de motiver la présentation d'autres épures. »

Il propose alors des abaques comportant uniquement des faisceaux de droites, tout en considérant dans un court paragraphe qu'il aurait été possible de le transformer en un « abaque logarithmique à points alignés très simple » selon la mé-

72. Louis POTIN (1912b). « Calcul rapide des lignes aériennes au point de vue mécanique ». *La technique moderne*. 23, p. 166-173, 197-206, 230-237.

73. André BLONDEL (25 nov. 1912b). *Demande de droit de réponse de Blondel sur un article de Potin*. Une lettre.

74. André BLONDEL (1912a). « Calcul à vue des lignes aériennes par l'emploi de nomogrammes à points alignés ». *La lumière électrique*. 8.

*Certains-
d'entre eux
abaques, cartésiens* } Dans votre numéro du 15 octobre 1912, M. Potin a cru qu'il était
nécessaire pour motiver son travail sur le calcul des lignes
électriques, d'entreprendre une critique des abaques que j'ai pu-
bliés moi-même.

mais son } Permettez-moi d'user de mon droit de réponse pour signaler à
vos lecteurs que ces critiques ne sont, à mon avis, pas justifiées
et que M. Potin est insuffisamment renseigné sur les derniers aba-
ques que j'ai édités, au journal La Lumière Electrique, notamment
au sujet de leurs dimensions.

*Que le milieu
travaille
de mieux en mieux
les abaques* } Je dois seulement signaler en outre que :
1° Il a été publié d'après ma méthode d'autres abaques, notamment
pour le cuivre et le bronze dans l'excellent ouvrage de Pacoret,
"La Houille Blanche", et pour l'aluminium dans le très intéressant
livre de M. Dussaugay sur les lignes en aluminium.

*de l'idée de
la fonction
de la technique
l'importance et l'usage
l'usage de la
à cette idée* } 2° L'idée de remplacer l'équation 5 de M. Potin par l'étude de
la fonction dont elle est la différence, m'est personnelle, je crois,

*simple ?
à l'usage
d'usage - avant
à partir de
à partir de
le voir en
devoir
en fait
en fait* } 3° Mes abaques sont particulièrement simples, comme je l'ai es-
posé dans La Lumière électrique en 1910, si on prend pour abscisses
les carrés des portées.
La construction peut en être encore simplifiée, si l'on rappor-
te les flèches directement à ces abscisses au lieu de tracer des
courbes iso-flèches. Dans ce cas, les courbes qui figurent dans les
abaques sont toutes des lignes droites, que l'on peut tracer en
quelques instants et manier sans autres connaissances que l'algè-
bre élémentaire.

*de l'idée de
la fonction
de la technique
l'importance et l'usage
l'usage de la
à cette idée* } Veuillez agréer, Monsieur le Directeur, l'expression de mes sen-
timents les plus distingués *est bien de l'usage*

Blondel

FIGURE 4.24 – Droit de réponse de Blondel à un article de Potin, avec annotations de Potin. (1912). Source : ENPC

thode imaginée par d'Ocagne.

Encore dix ans plus tard, en 1922, c'est au tour de l'ingénieur des Ponts et Chaussées A. Joitel de proposer ses nomogrammes. Il cite ses deux prédécesseurs Blondel et Potin comme précurseurs en la matière ayant présenté des abaques très intéressants, qu'ils soient cartésiens avec ou sans anamorphose ou, à points alignés. Dans une première note⁷⁵, il résume les principales conditions techniques à remplir pour la pose des lignes électriques en rapport à l'arrêté technique du ministère des Travaux publics, en date du 30 juillet 1921. Puis il rappelle les formules à utiliser pour effectuer les calculs, et enfin, il donne un canevas pour effectuer ces calculs :

1. calculer si besoin le poids de conducteur par mètre courant ;
2. déterminer le coefficient de surcharge ;

75. A. JOITEL (1922d). « Note sur les calculs mécaniques des lignes aériennes de transmission d'énergie électrique (I) ». *Revue générale de l'électricité*. 11, p. 949-957.

3. calculer éventuellement la portée critique ;
4. résoudre l'équation du troisième degré de la variable t (tension de pose) du changement de conditions ;
5. déterminer la flèche maximum afin d'en déduire la hauteur à donner aux supports ;
6. en déduire la longueur du câble.

Dans une deuxième note qui fait suite à la première⁷⁶, il soumet des nomogrammes à points alignés afin de réduire considérablement le temps des calculs : pour l'étape 2, il établit un abaque à droites parallèles permettant de calculer le coefficient de surcharge dû au vent seul, au vent avec neige, au vent avec verglas et au verglas seul en fonction de la nature des câbles (aluminium ou cuivre), et de la section des câbles et des fils. Pour l'étape 4, les calculs sont délicats et peuvent se faire par la méthode des approximations successives, mais Joitel se propose de résoudre cette équation par un nomogramme, ou plus précisément deux : l'un pour les conducteurs en cuivre et l'autre pour l'aluminium. Quant à l'étape 5, elle peut s'effectuer grâce à un nomogramme circulaire décliné en deux versions : avec ou sans surcharge, connaissant la tension de pose et la portée (voir fig. 4.25). Enfin, un dernier nomogramme à droites orthogonales nous donne la longueur du câble connaissant la flèche et la portée entre les deux supports.

Parmi les autres énergies, la lumière est également un axe de recherche de procédés nomographiques selon deux thèmes principaux. Le premier concerne la photographie, par exemple pour déterminer la focale à utiliser en fonction de l'objectif et du champ, proposé par le professeur allemand Hermann Fürle⁷⁷ en 1902. Nous avons également un abaque pour les méthodes téléphotographiques de restitution de photos prises en ballon⁷⁸, initié par le lieutenant Lelarge en 1906. Le second fait référence à l'éclairage pratique comme par exemple la détermination de la luminosité dans des zones d'éclairage par Mehmke en 1898⁷⁹, ou la comparaison de certains types d'éclairage (gaz, électricité) par l'ingénieur des

76. A. JOITEL (1922b). « Nomogrammes pour les calculs mécaniques des lignes aériennes de transmission d'énergie électrique (II) ». *Revue générale de l'électricité*. 12, p. 5-14.

77. Hermann FÜRLE (1902a). « Rechenblatt für photographische zwecke ». *Jahresbericht der Neunten Realschule zu Berlin*.

78. H. LELARGE (1906a). « Méthodes téléphotographiques ». *Revue du génie militaire*. 32, 193-230 et 293-324.

79. Rudolph MEHMKE (1898b). « Über die mathematische Bestimmung der Helligkeit in Räumen mit Tagesbeleuchtung, insbesondere Gemäldesälen mit Deckenlicht ». *Zeitschrift für Mathematik und Physik*. 43, p. 43-57.

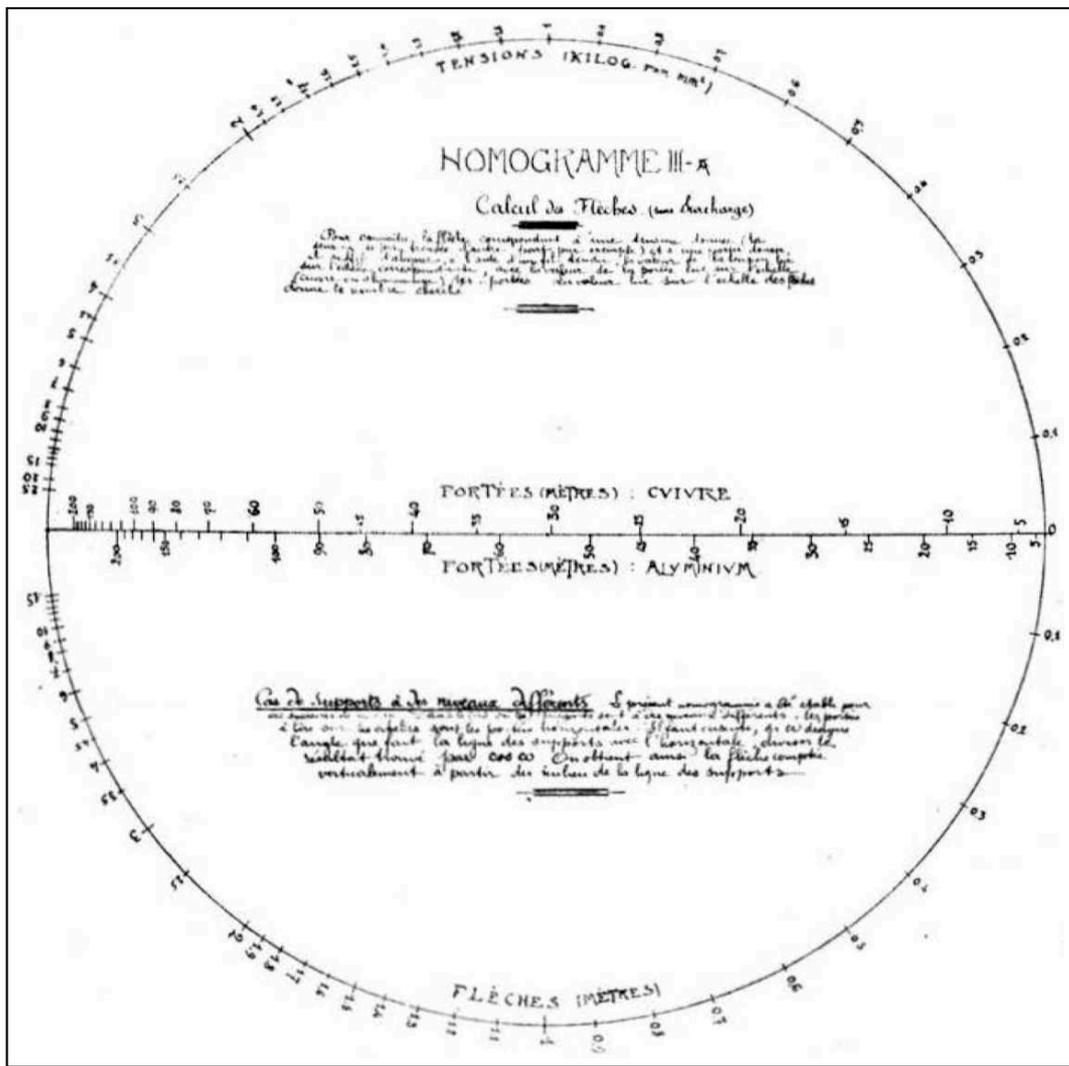


FIGURE 4.25 – Exemple du nomogramme (III-A) de Joitel pour déterminer la flèche maximum de lignes aériennes (1922). Source : ENPC

arts et manufactures Adolphe Bouvier en 1900⁸⁰.

4.1.5 Résistance des matériaux

À une époque où la révolution industrielle a fait naître de nouveaux matériaux, de nouvelles méthodes de construction, les nomogrammes ont pu s'imposer comme outil de calcul. Toutes les contraintes s'exerçant sur un matériau le déforment (c'est ce qu'on appelle l'élasticité), parfois sans qu'il ne revienne à sa

80. Adolphe BOUVIER (1900a). « Comparaison entre les éclairages usuels à éclairage égal par la méthode graphique ». *Compte rendu du congrès international de l'industrie du gaz*, p. 814-825.

position initiale (déformation plastique), avant de rompre. C'est cette dernière étape notamment qu'il faut absolument éviter. Dans la *Pratique de la résistance des matériaux dans les constructions*⁸¹, le chef de bataillon du génie et professeur de construction J. Chéry explique cela en 1877 :

« 1. Quand un corps est soumis à des efforts extérieurs, tendant à éloigner ou à rapprocher ses molécules, il oppose à la déformation une résistance qu'on appelle force élastique.

Les corps jouissent de la propriété de revenir à leur état primitif, lorsque les efforts extérieurs cessent d'agir. Cette propriété se nomme élasticité.

Si un corps revient à son état primitif, l'élasticité est dite entière, sinon elle est altérée, et la limite d'altération est la rupture. [...]

2. Les corps peuvent être soumis à des efforts d'extension, de compression, de cisaillement, de flexion et de torsion. Nous allons examiner successivement les effets produits par ces différentes forces. »

Toutes ces contraintes sur les matériaux sont modélisées par des formules, et c'est là qu'interviennent les nomogrammes. Ce chapitre fait un peu figure d'exception dans les archives nomographiques de l'ENPC puisque seuls deux articles de d'Ocagne existent sur la trentaine que contient la catégorie. Non pas qu'il ne connaissait pas les applications dans ce domaine, la preuve, il y consacre un paragraphe dans son article « Sur quelques applications pratiques de la méthode des points cotés »⁸² nommé « L'art du constructeur », mais il apparaît que ce n'est pas un domaine où il semble avoir œuvré réellement. Peut-être ne disposait-il pas des connaissances nécessaires, ou qu'il a croisé peu de monde lui demandant d'intervenir sur ce domaine : nous trouvons d'ailleurs très peu d'allusions aux matériaux dans sa correspondance.

Une étude comparative des nomogrammes est ici plus difficile car il existe un très grand nombre de matériaux (poutres en fer, en bois, en ciment armé...) et de formes (poutres en T, en \square , en Z, en double T...), ce qui multiplie le nombre d'abaques à créer. Je n'ai pas trouvé, par exemple, de nomogramme universel. Ensuite, les formules utilisées sont différentes d'un nomogramme à un autre, celles-ci étant souvent définies de manière empirique. Nous pouvons ajouter à cela le fait que les nomogrammes ne représentent pas les mêmes variables de l'un à l'autre, et enfin que les articles que j'ai à ma disposition proviennent pour

81. J. CHÉRY (1877a). *Pratique de la résistance des matériaux dans les constructions*.

82. Maurice d'OCAGNE (1898h). « Sur quelques applications pratiques de la méthode des points cotés ». *Revue générale des sciences pures et appliquées*. 9, p. 117.

presque la moitié de pays étrangers et d'auteurs différents, ce qui multiple les origines.

Si nous étudions plus en détails les différents types d'abaques existants, on trouve dans le *Mémento graphique du constructeur*⁸³ un curieux objet en carton composé de six « planches », créé par Paul-Nicolas Chenevier (voir fig. 4.26). Il est constitué de diverses représentations utiles aux constructeurs.

Cet objet est composé comme un petit livret de quatre pages dans lequel s'insère une sorte de réglette. Quelques abaques sont représentés dont deux sur la quasi-totalité de la feuille : il s'agit des calculs relatifs à la résistance à la flexion (voir fig. 4.27) et à la compression. Dans le manuel d'instructions, l'auteur propose de lire les données en couissant la réglette à l'intérieur du livret et de s'aider du bord de celui-ci :



FIGURE 4.26 – *Memento graphique du constructeur*, Chenevier (1884). Source : Chenevier's *Memento*

« La tranche de la planche II sert de curseur et permet de trouver, par le tirage de la réglette mobile, le point exact où la verticale passant par l'in-

83. Paul-Nicolas CHENEVIER (1884a). *Memento graphique du constructeur*.

tersection des lignes de profil et de portée tombent sur l'échelle des poids. Les échelles inférieures concernant le chêne et le sapin portent des charges exprimées également en kilos et correspondent aux lignes de portées des bois commençant à gauche et en bas du tableau en coupant celle des fers. »

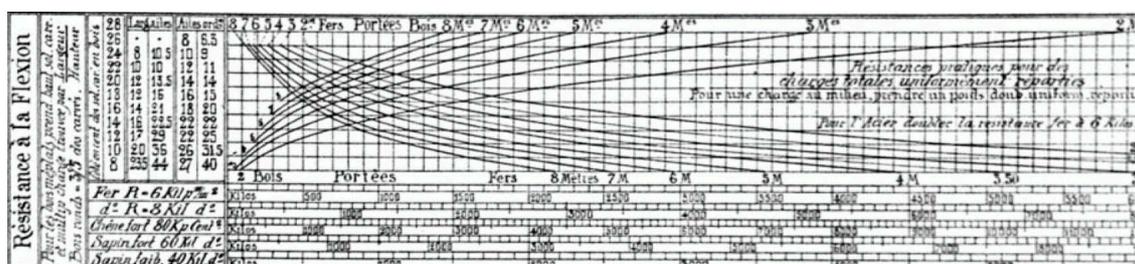


FIGURE 4.27 – Memento Chenevier, résistance à la flexion des poutres en fer, des solives en sapin et en chêne (1884). Source : ENPC

Le reste des articles est plus classique, et concerne pour beaucoup la flexion des poutres, c'est à dire la déformation de la poutre sous l'action d'une charge. En 1893, Mandl propose un abaque à points alignés comportant cinq droites parallèles assez simple d'emploi permettant de trouver le type de poutre à utiliser (en fer de forme I ou \square ou en bois) connaissant la charge et la portée⁸⁴. Le 20 octobre 1906, une circulaire établie par la commission du ciment armé pose les premiers fondements techniques du béton armé : celui-ci entre officiellement dans la catégorie des matériaux de construction comme nouveau matériau⁸⁵. Son bénéfice est d'allier les avantages du béton et du fer : le béton est capable de supporter des contraintes de compression importantes, mais il est cependant très sensible aux forces de traction. Les barres d'acier qui constituent l'armature du béton sont, elles, résistantes en compression et en pression. Léon Lebrec, ingénieur des constructions civiles, construit en accord avec cette circulaire un petit manuel au prix de 2,50 francs intitulé *Béton armé - Méthode rapide de vérification des sections fléchies (rigoureusement conforme à la circulaire ministérielle du 20 octobre 1906) à l'usage des architectes et Ingénieurs chargés du contrôle des projets*⁸⁶. Sa méthode consiste à déterminer de façon graphique la fatigue maximale du béton à la compression et la fatigue maximale du métal à la tension en trois étapes,

84. Julius MANDL (1893a). « Diagramm für frei aufliegende hölzerne balken und gewalzte eisen-träger ». *Mitteilungen über Gegenstände des Artillerie und Geniewesens*.

85. MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS (1906). « Circulaire du 20 octobre 1906, concernant les instructions relatives à l'emploi du béton armé ».

86. Léon LEBREC (1906a). *Béton armé - Méthode rapide de vérification des sections fléchies*.

utilisant les deux abaques de la figure 4.28 et une opération :

- le premier abaque à quatre droites parallèles permet de déterminer deux coefficients K_1 et K_2 appelés facteurs de réduction, résultats de la composée d'un ou plusieurs produits par la fonction inverse. Ces coefficients s'obtiennent en alignant la largeur b de la poutre à sa hauteur utile h ;
- ensuite, on effectue une multiplication pour chaque coefficient trouvé : le premier produit donne le moment unitaire μ et le second la section unitaire φ . Lebrech ne parle pas d'abaque pour effectuer des multiplications, s'agissant de simples produits ;
- enfin, on termine par déterminer la compression ainsi que la fatigue maximum du métal à la tension. Pour cela, il est proposé un nomogramme à courbes cotées : on entre μ et φ par les faisceaux de courbes et leur intersection donne les valeurs recherchées grâce au quadrillage à coordonnées rectangulaires.

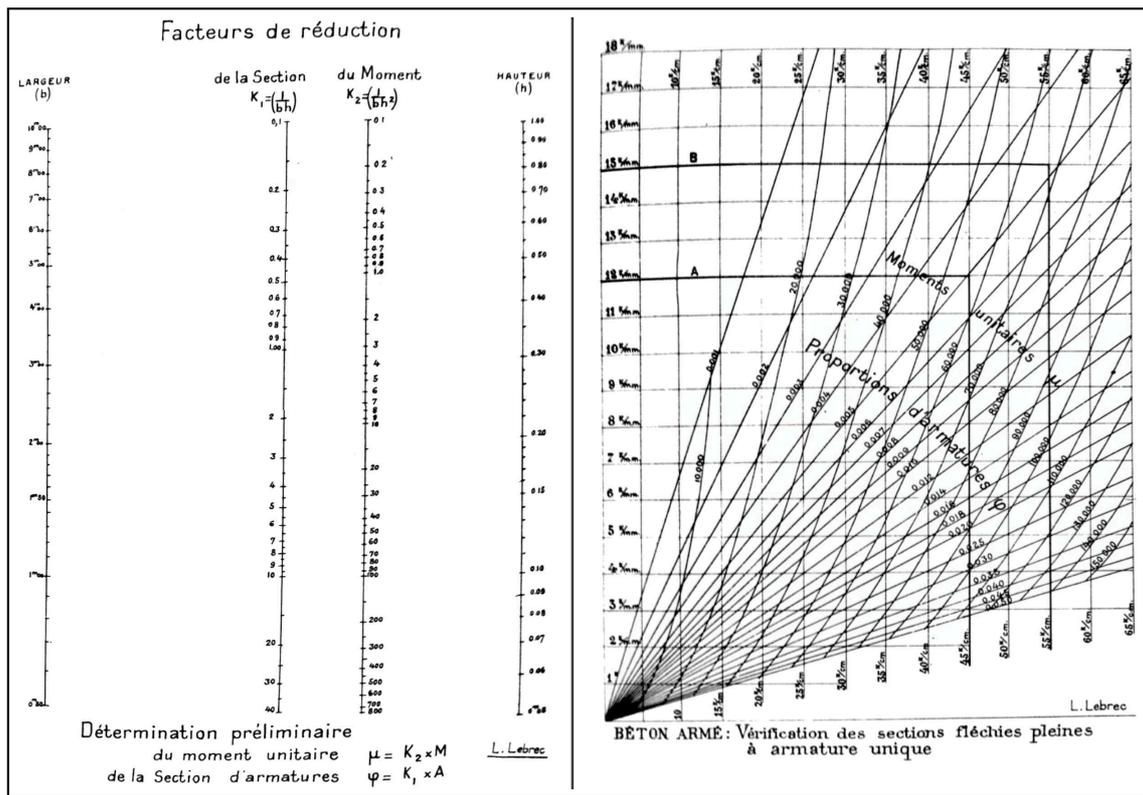


FIGURE 4.28 – Vérification des sections fléchies, Lebrech (1906). Source : ENPC

En 1913, l'ingénieur Belge Louis Baes⁸⁷ donne un cours de stabilité des construc-

87. Louis Baes (1883-1961) : ingénieur civil belge des mines et professeur à Bruxelles.

tions à l'École polytechnique de Bruxelles. Dans ce cours, il semble expliquer l'utilisation des abaques pour le calcul des poutres fléchies pour la 1^{re} année spéciale des grades d'ingénieur correspondant à la 3^e année d'étude⁸⁸. Par exemple, l'un de ses abaques à points alignés permet, à partir des dimensions de l'épaisseur et de la hauteur de l'âme pleine (la partie centrale en acier de la poutre), de déterminer très rapidement la section, le poids et le moment d'inertie brut de la section (abaque de gauche, fig. 4.29). Remarquons que les formules utilisées

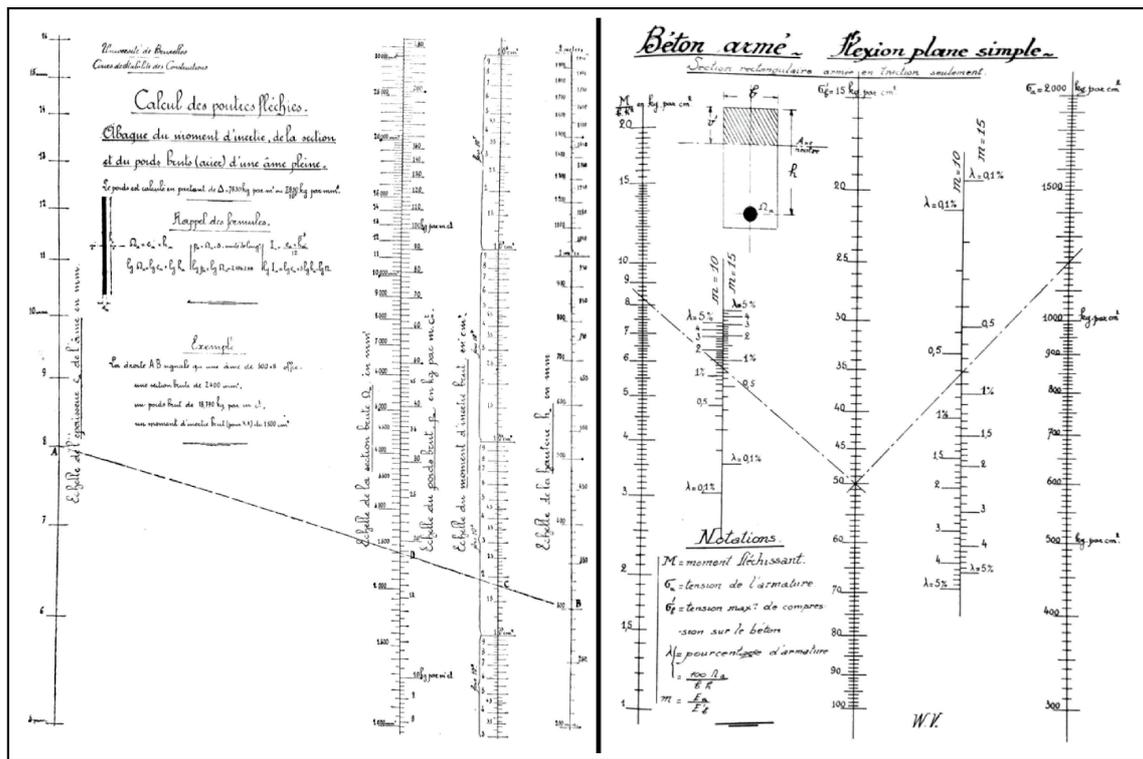


FIGURE 4.29 – Abaques pour le béton armé, utilisés dans les cours de construction de Baes (1913 et 1926). Source : ENPC

ici sont « simples » : en effet, la section brute Ω correspond à l'aire du rectangle d'épaisseur e et de hauteur h ; le poids brut p de la section par mètre constant est obtenu en multipliant la section brute Ω par la masse volumique du matériau utilisé ; le moment d'inertie brut I se calcule en multipliant l'épaisseur par la hauteur au cube, puis en divisant le produit par douze soit, avec des mesures

88. Louis BAES (1913a). « Abaques pour le calcul des poutres fléchies ». *Cours de stabilité des constructions*.

de longueur en cm :

$$\Omega = e \times h \quad p = 78,3 \times \Omega \quad I = \frac{e \times h^3}{12}$$

Ceci permet de créer un abaque à échelles parallèles relativement simple à construire, puisqu'il s'agit uniquement de produits. Le deuxième produit constitue d'ailleurs une relation de proportionnalité, si bien que le support des échelles de p et de Ω est le même, ce support étant doublement gradué. Quant à son utilisation, il suffit d'aligner l'épaisseur e de l'échelle de gauche à la hauteur h de l'échelle de droite, exprimées en mm, pour obtenir par lecture directe l'aire de la section brute en mm², le poids brut en kg par mètre constant et le moment d'inertie brut en cm⁴.

Treize ans plus tard, Baes apporte de nouvelles fonctions à ce type d'abaque dans sa note « Nomogrammes pour le calcul de la section transversale de poutres en béton armé sollicitées par flexion plane simple ». Entre temps, des abaques généraux permettant de résoudre la plupart des problèmes de flexion existants, mais il se propose d'en donner de plus simples en se justifiant ainsi ⁸⁹ :

« Ces solutions sont intéressantes, mais il semble bien que, pour les cas simples qui se présentent constamment, il sera toujours utile de faire usage de nomogrammes spéciaux extrêmement faciles d'emploi, qui n'exigent aucune étude préalable pour résoudre le problème et qui peuvent en quelque sorte être mis entre les mains de tous sans que les risques d'erreur soient plus grands que ceux que présente l'emploi d'une règle à calcul ordinaire. »

Il donne l'exemple de deux abaques, tracés par W. Van Doorslaer, comme lui ingénieur des constructions civiles, qui semble être un spécialiste des nomogrammes de béton armé. Les nomogrammes sont relatifs au calcul de la section transversale des poutres à section rectangulaire, armée en traction pour le premier et en traction et en compression pour le deuxième, et sollicitées par flexion plane simple. Le premier est donc un cas particulier du second, mais Baes explique qu'il lui semble important de le tracer à part dans la mesure où ce cas est très fréquemment utilisé. La forme générale de l'abaque est très ressemblante à celui qu'il avait créé en 1913 (voir figure de droite 4.29) : il est composé de supports rectilignes et parallèles comprenant des échelles doubles et le résultat des calculs se trouve par alignements, ce qui en fait une utilisation relativement aisée.

⁸⁹. Louis BAES (1926a). « Nomogrammes pour le calcul de la section transversale de poutres en béton armé sollicitées par flexion plane simple ». *Technique des travaux*, p. 47-53.

Les échelles de droite et du milieu correspondent respectivement à la tension σ_a de l'armature et à sa tension σ'_b en compression sur le béton. Les échelles médianes doubles représentent le rapport λ en pourcentage de la section de l'armature à la poutre $\left(\lambda = \frac{\Omega}{bh} \times 100\right)$, pour deux valeurs de l'élasticité m , et l'échelle de gauche donne la valeur de $\mu = \frac{M}{bh^2}$, correspondant au moment unitaire, selon la formule utilisée par Lebrec précédemment. Notons que cette dernière échelle, ainsi que les échelles de λ , nécessitent, selon le cas, des calculs supplémentaires afin de déterminer ces valeurs ou d'en extraire l'une ou l'autre des variables de l'expression.

Un exemple de problème résoluble pour cet abaque est le suivant : connaissant le moment fléchissant M pour une certaine valeur de l'élasticité m , et sachant que l'on impose à la poutre des tensions σ_a et σ'_b , quelles doivent être les valeurs de la hauteur et de la largeur de la poutre ainsi que la section de l'armature? Pour cela, on aligne σ_a avec σ'_b pour obtenir λ sur la partie droite de l'abaque; puis on aligne σ'_b et λ sur la partie gauche de l'abaque, ce qui nous donne la valeur de $\frac{M}{bh^2}$. À partir de là, le reste des calculs se fait sans cet abaque : connaissant M , il faut déterminer bh^2 , ce qui suppose un premier calcul, puis, les valeurs de b et de h sont dépendantes, mais arbitraires du choix de la largeur, de la hauteur ou du rapport de la hauteur sur la largeur. Enfin, on calcule la valeur de Ω à partir de b et de h . L'opération inverse est également possible et dans ce cas, on commencera par effectuer les calculs de μ et de λ qui permettront de trouver directement les tensions de l'armature. Dans tous les cas, l'abaque ne s'utilise pas seul, il a le grand avantage d'éviter le calcul d'une formule compliquée composée de produits, quotients et racines carrées, mais ne dispense pas de quelques calculs multiplicatifs un peu plus simples. Notons que Baes propose d'effectuer les calculs à la règle à calcul, mais qu'il pourrait également utiliser l'abaque de Lebrec sous certaines conditions.

4.1.6 Économie et médecine

Terminons ce panorama par les thèmes plus contemporains que sont l'économie et la médecine. Là aussi, on a utilisé des nomogrammes jusqu'à l'avènement des calculateurs modernes. Concernant l'économie, ce sont les banques et les assurances qui exploitent le plus souvent ce type de calcul. Dans un livret au titre

évoqueur : « Les graphiques du patron donnant une solution immédiate approchée de tous les problèmes de Banque, Intérêts, Escompte, Prix de vente, Placements », J. Mounier, dans son avant-propos, s'exprime ainsi en 1920⁹⁰ :

« " Don't be an adding machine. . . Buy one ", suggérait un fabricant américain : ne soyez pas une machine à calculer. . . , achetez-en une.

Certes, le principe est bon qui est d'éviter au cerveau les besognes inutilement surmenantes pour réserver toute son activité aux travaux de première importance.

Malheureusement, la machine à calculer, si ingénieusement offerte, reste un instrument coûteux qui n'a guère sa place que dans les grandes maisons et pour les calculs faits en série.

Examinons donc les autres procédés de calcul rapide.

Les tables de logarithmes, la règle à calcul sont indispensables aux industriels; mais les commerçants n'en font guère usage, car une certaine pratique est indispensable pour opérer rapidement.

Viennent ensuite les tables de calculs tout faits, les tables d'intérêts, tables de prix de vente, barèmes construits pour les besoins particuliers d'une maison. . . Souvent très précieuses aux employés, elles présentent l'inconvénient, outre celui de leur rédaction fort longue, d'être, de par leur nature même, toujours incomplètes [. . .]

Quels sont, en matière de calcul, les besoins des patrons ?

Vérifier rapidement un compte, se faire une idée approximative du résultat d'une opération, prévoir le rendement d'une affaire. Autrement dit, et pour nous résumer, les desiderata sont : rapidité, minimum de chances d'erreur, précision approchée seulement, application de l'esprit la plus faible possible. [. . .]

Savoir bien calculer mentalement est une qualité reconnue essentielle pour faire un bon patron, qualité qui n'est pas donnée à tous et qui ne s'acquiert qu'au prix de nombreux exercices.

Or, pendant cette guerre, nombre de militaires, les artilleurs notamment, eurent à effectuer, pendant de longues heures consécutives, des calculs assez minutieux, rapidement, avec une exactitude constante, et cela dans des situations souvent critiques. [. . .]

Les artilleurs ont résolu le problème par la confection de graphiques et nous

90. J. MOUNIER (1920a). *Les graphiques du patron donnant une solution immédiate approchée de tous les problèmes de Banque, Intérêts, Escompte, Prix de vente, Placements.*

n'avons fait que les imiter.

Ces graphiques ne sont que des constructions géométriques toutes faites.

[...]

L'emploi des graphiques est assez simple pour n'exiger aucun raisonnement et n'entraîne par suite aucune fatigue cérébrale.

De plus, tous les graphiques sont à double entrée au moins, ce qui multiplie le nombre des opérations qu'ils permettent.

On ne prétend pas supprimer le travail des employés, obtenir les résultats au centime près, mais seulement faciliter la tâche des chefs de maison en leur fournissant, sans fatigue, une première approximation de ces résultats. »

Pour ce domaine, que l'on a dit un peu plus tardif, l'actuaire de la Nationale A. Quiquet se démarque par sa précocité en choisissant de représenter, dès 1893, des abaques pour les assurances. Il existe trois types d'assurances : l'assurance en cas de décès qui est une assurance du type prévoyance ; l'assurance en cas de vie une assurance de type épargne, et l'assurance mixte un savant mélange des deux assurances sus-citées. En 1897, Quiquet montre une évolution intéressante d'un abaque dans ce domaine : une problématique de l'époque notamment est de transformer un contrat mixte en contrat en cas de décès, et son objectif est de construire un abaque permettant de déterminer l'âge (appelé âge C.D.) auquel un assuré en cas de décès payerait la même prime qu'un assuré mixte. Ce qui est intéressant dans son approche, c'est qu'il ne se contente pas d'un unique abaque, mais qu'il propose deux évolutions à un abaque classique : l'un grâce à l'anamorphose de Lalanne, et l'autre grâce aux points alignés de d'Ocagne⁹¹. Pour reprendre son cheminement, le premier abaque construit (voir figure de gauche 4.30) est composé d'un repère rectangulaire régulier avec en abscisse l'âge actuel de l'assuré et en ordonnée l'âge C.D. correspondant. Le troisième réseau de courbes, oblique, correspond au nombre de primes annuelles encore à payer. Ces réseaux suivent des taux qui diffèrent en fonction des trimestres, il est donc constitué de lignes polygonales. L'inconvénient de cet abaque semble surtout résider dans sa construction, puisqu'il faut placer un à un les sommets de chacune des lignes polygonales correspondant aux primes. Fort de cette constatation, Quiquet entreprend des modifications dans son abaque suivant deux pistes : premièrement, il n'utilise plus l'âge actuel et le nombre de primes encore dues,

91. A. QUIQUET (1897a). « Sur trois modes de réduction graphique des assurances mixtes aux assurances en cas de décès ». *Bulletin de l'Institut des actuaires français*. 29.

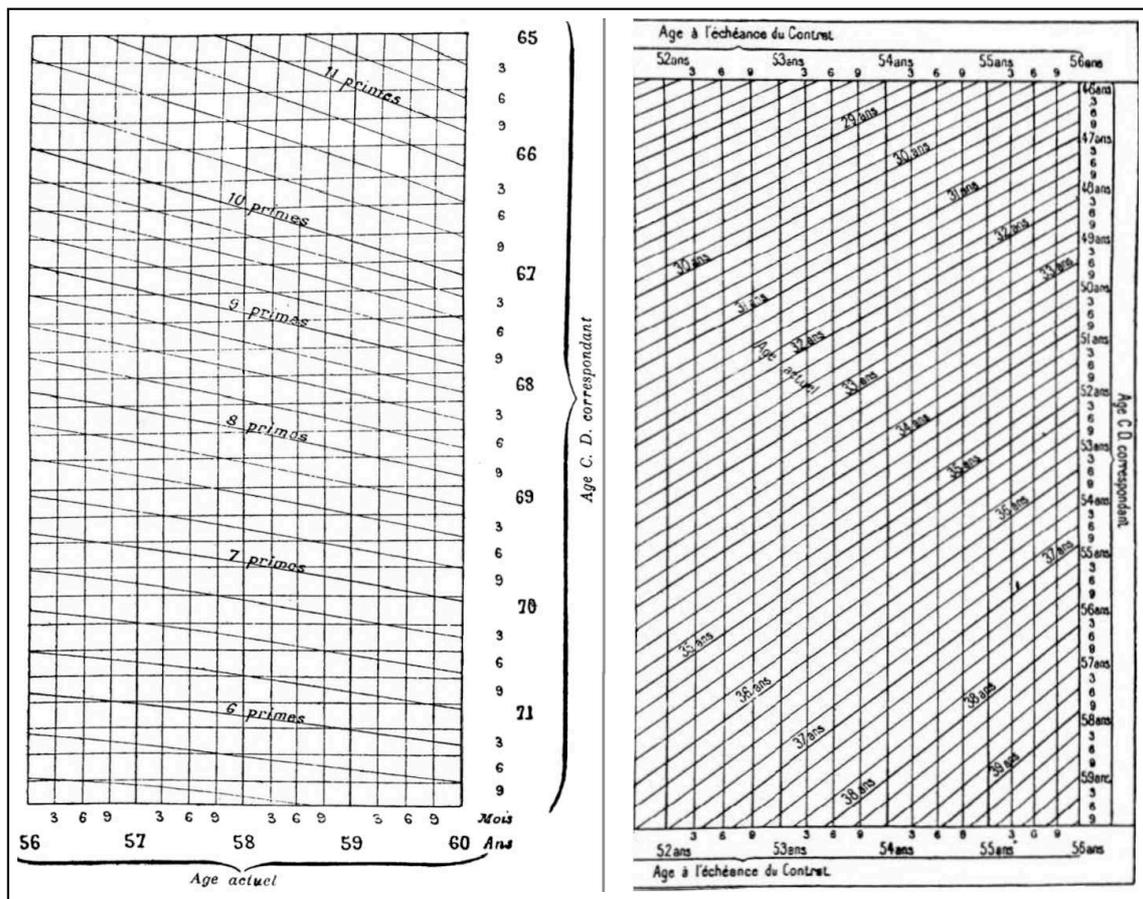


FIGURE 4.30 – Évolution de l'abaque de Quiquet pour les assurances mixtes et décès (1897).
Source : ENPC

mais l'âge actuel et l'âge de fin de contrat qui a l'avantage de rester inchangé. Deuxièmement, il transforme l'échelle régulière des abscisses en une échelle anamorphique selon la méthode de Lalanne, en disposant en abscisse l'âge au terme du contrat et en laissant l'âge C.D. en ordonnée. Cela lui permet d'obtenir, pour l'âge actuel, un réseau de droites parallèles dont chaque droite est tracée tout simplement grâce à deux valeurs au lieu de multiples valeurs pour la ligne polygonale (figure de droite 4.30). Enfin, il explicite un troisième abaque qu'il a demandé à d'Ocagne de construire selon sa méthode : les cordonnées rectangulaires représentant l'âge à échéance du contrat et l'âge C.D. correspondant sont alors remplacés par deux échelles dont les supports sont deux droites parallèles. Le réseau tout entier de droites obliques pour l'âge actuel est remplacé par une seule ligne polygonale (voir fig. 4.31). Quiquet explique⁹² : « L'abaque atteint les

92. A. QUIQUET 1897a, p. 15.

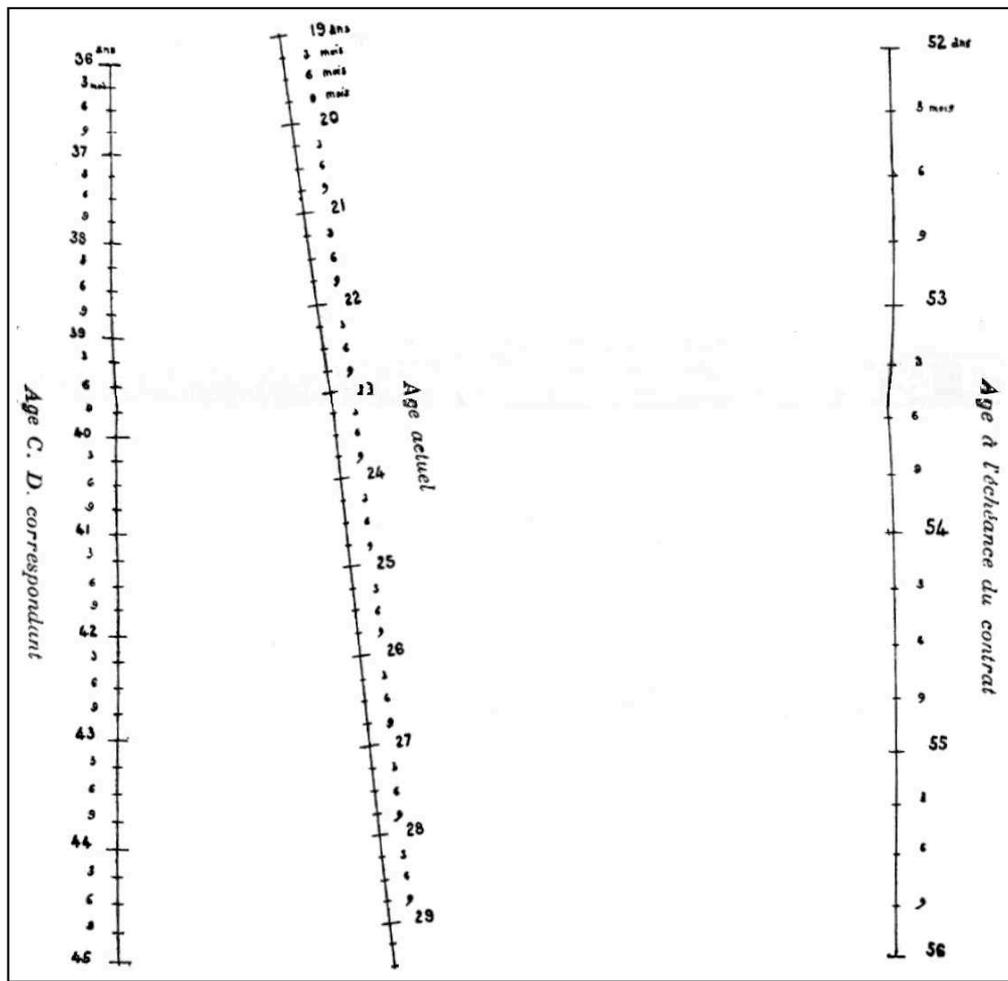


FIGURE 4.31 – Évolution de l'abaque de Quiquet pour les assurances créé par d'Ocagne (1897)

limites de la sobriété extrême : il se réduit à trois lignes. Son emploi y gagne en clarté. » Le seul inconvénient qui pourrait être envisagé selon Quiquet est alors la déformation du papier qui fausserait le résultat.

Toujours en économie, l'une des notions des plus récentes ayant utilisé les nomogrammes d'une manière simple et élégante est celle du calcul des intérêts, qu'ils soient simples ou composés. Quoi de plus facile, à notre époque, que de calculer un pourcentage ou un intérêt grâce aux instruments de calcul modernes. Toutefois, la simplicité de la formule implique aussi la simplicité de la construction des nomogrammes et de leur utilisation. En 1909, suite à la lecture des ouvrages de Soreau, puis de d'Ocagne sur la nomographie, le mathématicien belge

Maurice Kraïtchik⁹³ choisit ce thème pour sa thèse de doctorat. À partir de 1913, il se lance dans la création d'abaques pour les calculs financiers, et en particulier, il invente le *Tokomètre*⁹⁴ *Kraïtchik* (voir fig. 4.32) : un instrument destiné au calcul du prix d'une obligation d'après le taux d'estimation choisi, ou le taux de capitalisation d'après le prix coté. Il est composé d'un abaque déposé sur une planche de bois et d'une échelle mobile maintenue à l'aide de deux vis mobiles, munie d'un curseur, lui aussi mobile⁹⁵. En 1915, il entre au service de la *Société Financière de*

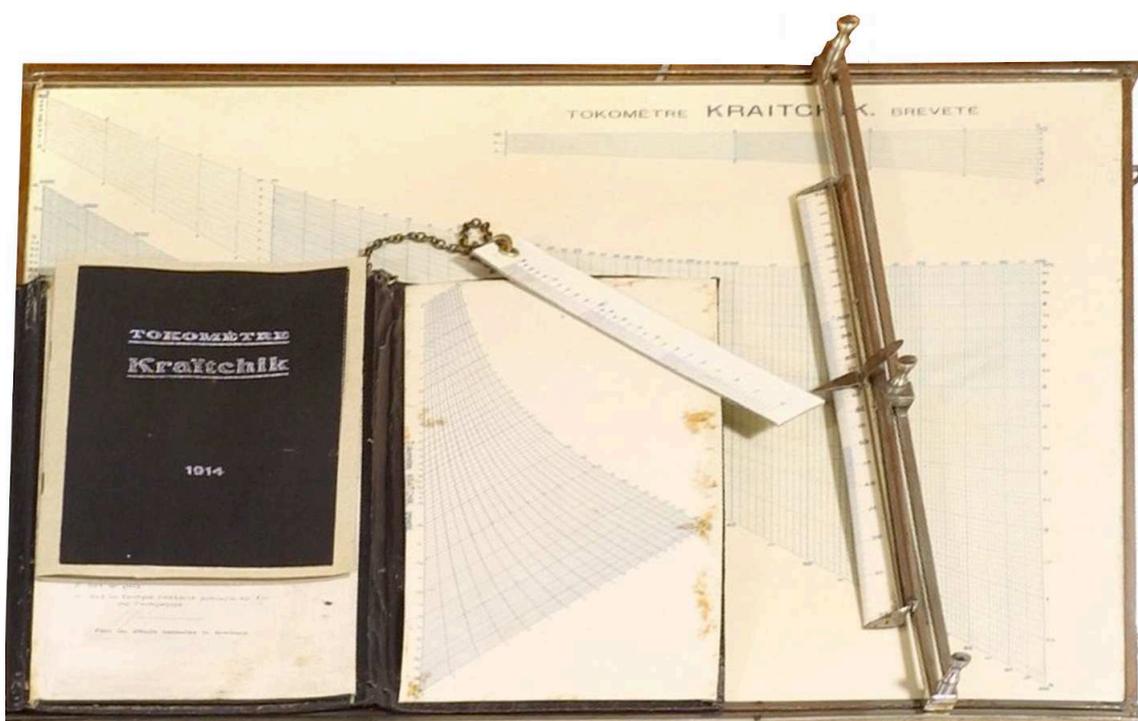


FIGURE 4.32 – Tokometre Kraïtchik (1914). Source : Auction team Breker

Transports et d'Entreprises Industrielles pour laquelle il réalise plusieurs abaques, puis il édite une brochure⁹⁶ relatant les principes de cette méthode en 1918 afin de lever les méfiances de son entreprise face à une méthode peu connue. Il fait parvenir sa brochure à d'Ocagne qui ne manque pas de lui soumettre quelques observations, notamment sur le manque de citations à son égard⁹⁷.

93. Maurice Kraïtchik (1882-1957) : mathématicien et vulgarisateur scientifique belge d'origine russe.

94. Tokomètre vient du grec *tokos* : intérêt et *metron* : mesure

95. Maurice KRAÏTCHIK (1914). « Le tokomètre Kraïtchik ».

96. Maurice KRAÏTCHIK (1918). « Sur quelques applications de la nomographie ».

97. Maurice KRAÏTCHIK (29 mai 1917). *Sur quelques applications de la nomographie, modifications demandées par d'Ocagne*. Deux lettres.

En 1920, Kraïtchik et Mounier proposent chacun un recueil de tables pour la finance : les *Tables graphiques financières* pour Kraïtchik⁹⁸ et *Les graphiques du patron*⁹⁹ pour Mounier. Les abaques sont directement exploitables, aucun élément d'explication de leur construction n'est donné, le principe n'étant pas là, mais ils bénéficient d'un mode d'emploi succinct ainsi que des exemples d'emploi. Les applications de ces deux recueils sont listées dans le tableau 4.1.

<i>Les tables graphiques financières</i> Maurice Kraïtchik	<i>Les graphiques du patron</i> J. Mounier
<ul style="list-style-type: none"> ● Intérêt annuel d'un capital donné. ● Intérêt de 1.000 francs en n jours. ● Intérêt simple. ● Intérêt composé. ● Valeur actuelle de 100 francs exigibles dans n ans et valeur actuelle d'un certain nombre de versements de 1 franc. ● Le Tokomètre. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Intérêts ou Escompte, de 0 à 50 %. ● Intérêts 6 % pendant 0 à 90 jours. ● Calcul du prix de vente en vue de réaliser sur ce prix un bénéfice variant de 0 à 90 %. ● Intérêts de 0 à 10 % pendant 0 à 366 jours. ● Intérêts composés de 0 à 10 %. ● Annuités correspondant à des prêts d'une durée de 4 à 75 ans. ● Placements

TABLEAU 4.1 – Liste des abaques financiers de Kraïtchik et Mounier (1920)

Faisons une petite étude comparative de deux graphiques ordinaires représentant la même formule : celle qui permet de calculer un intérêt simple à taux donné. La figure 4.33 montre les deux premiers abaques des deux recueils. Les deux feuilles sont pourvues de la formule utilisée, puis du mode d'emploi, et enfin d'un exemple en plus de l'abaque proprement dit. Les formules utilisées ici sont bien évidemment les mêmes quoiqu'elles soient écrites de manières différentes : $I = \frac{at}{100}$ pour Kraïtchik et $I = a.\Gamma$ pour Mounier où I est l'intérêt, a le capital, t le taux en pourcentage et Γ le taux décimal. Les abaques sont tous les deux à points alignés et à échelles rectilignes, le premier possède trois droites parallèles et l'échelle des intérêts se situe au milieu ; le second possède une droite oblique centrale, l'échelle du taux. Mais la plus grande différence provient certainement des graduations des échelles : celles de Kraïtchek sont logarithmiques et, pour deux d'entre elles, doublement cotées alors que celles de Mounier sont, pour deux d'entre elles, régulières et simplement cotées. Enfin, l'amplitude des échelles n'est pas la même : pour Kraïtchik, elles sont « standardisées » jusqu'à

98. Maurice KRAÏTCHIK (1920a). « Les tables graphiques financières ».

99. MOUNIER 1920a.

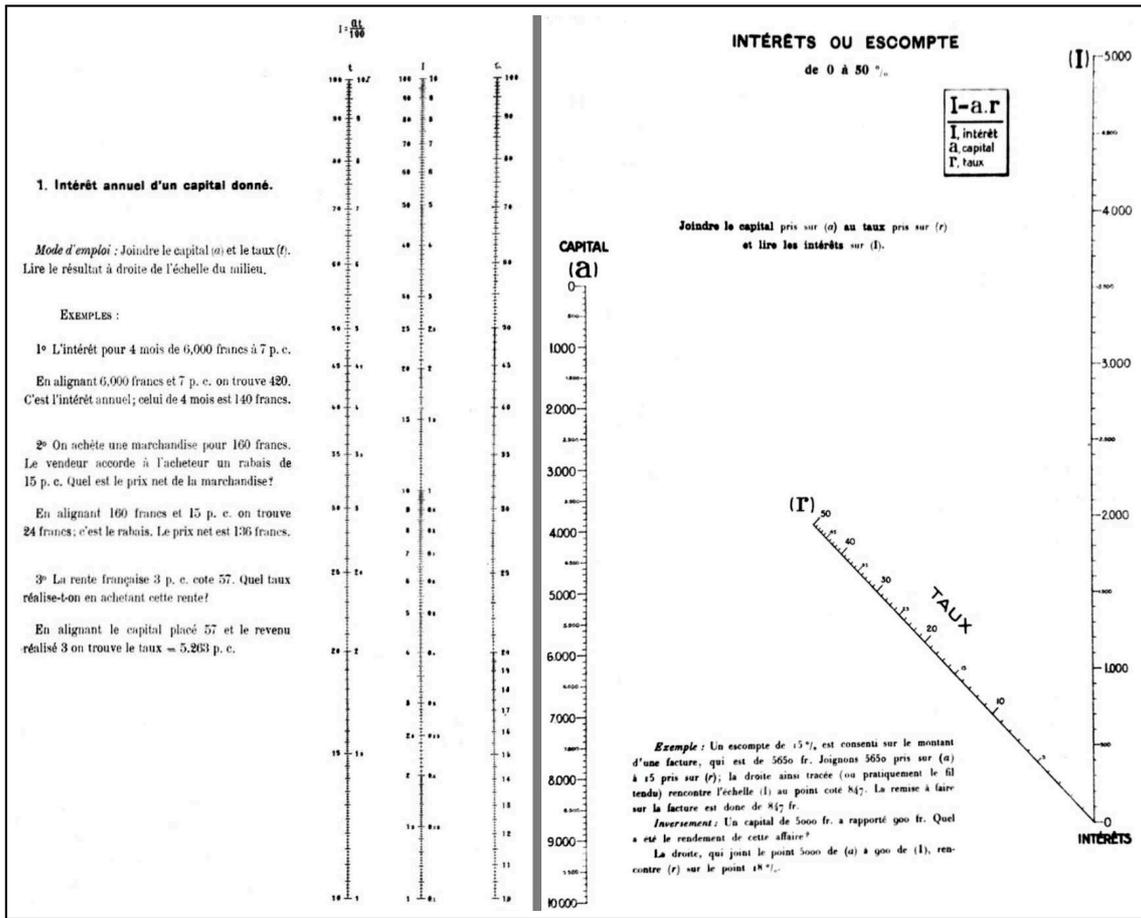


FIGURE 4.33 – Abaques du taux d'intérêt de Kräitchik et Mounier (1920). Source : ENPC

100 afin de couvrir toutes les possibilités par une simple proportionnalité. Mounier, quant à lui, choisit des échelles « pratiques », le capital étant compris entre 0 et 10 000 francs, le taux de 0 % à 50 % comme l'indique le titre du graphique, et les intérêts, liés aux deux autres échelles, de 0 à 5 000 francs. Par conséquent, le second abaque peut être vu comme un cas particulier du premier : en effet, comme il est dit dans l'introduction, ces abaques sont idéaux pour un « Chef de maison de commerce » ou un « Directeur de banque », la lecture doit donc être simple et rapide et pour des valeurs ne nécessitant pas de calcul mental supplémentaire si possible. Le premier est plus général, moins lisible de prime abord mais, à l'image d'une règle à calcul, il permet une plus grande latitude dans le choix des données initiales.

À partir des années 1920, on trouve d'autres abaques pour le calcul des intérêts

des obligations mis en place par exemple par l'ingénieur P. Boisseau¹⁰⁰ ou l'actuaire suisse F. Kamber¹⁰¹.

Pour terminer, il y a dans les archives, à partir de l'année 1924, des nomogrammes pour la médecine et plus particulièrement concernant la science physico-chimique. Le physiologiste américain Lawrence Henderson¹⁰², après avoir tâtonné, crée à l'aide de d'Ocagne un nomogramme mettant en lien les sept variables chimiques du sang (l'oxygène libre et total, l'acide carbonique libre et total, la concentration en hydrogène, le volume corpusculaire et le rapport de concentration)¹⁰³. Dans un même ordre d'idée, certains nomogrammes représentent la constante d'Ambard : rapport mathématique liant l'urémie au débit de l'urée utilisé par les cliniciens de l'époque pour surveiller la fonction rénale. Cette formule demande d'extraire deux racines carrées imbriquées, et Potin, qui n'est ni biologiste ni médecin, utilise la technique de d'Ocagne pour créer un abaque pour cette constante en 1928¹⁰⁴. Un assistant à l'hôpital Evengelismos d'Athènes : E. Brikas, écrit un article en grec traduit par « Sur quelques applications de la nomographie aux calculs de la biochimie¹⁰⁵ » en 1935, travail inspiré par le fait qu'il fallait appliquer nombre de fois par jour des formules mathématiques dont le calcul lui prenait un temps précieux. Il propose entre autres lui aussi un nomogramme pour la constante d'Ambard. Les formules utilisées pour les nomogrammes sont les suivantes

$$K = \frac{U_r}{\sqrt{D \times \sqrt{\frac{C}{25}}}} \text{ (Potin)} ; \quad K = \frac{U_r}{\sqrt{D \times \frac{70}{P} \times \sqrt{\frac{C}{25}}}} \text{ (Brikas)}$$

où U_r est la concentration de l'urée dans le sang ; D le débit de l'urée en 24 heures ; C la concentration de l'urée dans l'urine et P le poids du patient en kg. Ces for-

100. P. BOISSEAU (1925). « Nomogrammes donnant le taux d'intérêt réel des Bons et Obligations ». *La technique moderne*. 17, p. 409-410.

101. F. KAMBER (1928a). « Le calcul du taux de rendement des obligations remboursables à une date déterminée ». *Bulletin de l'Association des actuaires suisses*. 23, p. 41-55.

102. Lawrence Henderson (1878-1942) : physiologiste, chimiste, biologiste, philosophe américain.

103. Lawrence HENDERSON (1924a). « Blood as a psychochemical system ». *The Journal of Biological Chemistry*. 59, p. 379-431.

104. Louis POTIN (1928a). « Calcul à vue de la constante d'Ambard ». *Bulletin général de thérapeutique*. 179, p. 158-160.

105. E. BRIKAS (1935b). « Sur quelques applications de la nomographie aux calculs de la biochimie ». *Comptes rendus de l'Académie d'Athènes*.

mules sont issues d'un long travail expérimental qui a conduit Léo Ambard¹⁰⁶ à les établir empiriquement. La seconde introduit une variable supplémentaire qui est le poids ; la première considère un poids moyen de 70 kg.

Le nomogramme de Potin est classique : il est composé de quatre droites parallèles pour chacune des quatre variables, et d'une droite pivot. Brikas, quant à lui, possède une variable supplémentaire à inclure dans son nomogramme, ce qui implique une échelle en plus. Mais ce n'est pas le seul changement qu'il opère : il utilise en effet une formule annexe pour déterminer le débit de l'urée en 24 heures

$$D = \frac{24VC}{1000}$$

qui évite le calcul du débit en déterminant plutôt le volume horaire de l'urée, la concentration étant déjà présente dans la formule initiale. Son abaque (voir fig. 4.34)) est relativement original puisque qu'il comporte un simple alignement ainsi qu'un double alignement en équerre. La « clé » donnée sur le schéma à droite permet de comprendre l'utilisation de l'abaque : l'alignement de la concentration [C] avec le volume [V] donne un point sur l'échelle annexe [X] (I). Puis, l'alignement de ce point avec le poids [P] donne un segment de droite (II). L'originalité réside dans le fait que le dernier alignement se fait en traçant la droite perpendiculaire à (II) passant par la valeur de la concentration de l'urée dans le sang sur l'échelle [U_r]. Cette droite donne la valeur de la constante d'Ambard sur l'échelle [K].

4.2 Étude de cas : le nomogramme, un artefact en pleine mutation pendant la Première Guerre mondiale

Nous avons déjà mentionné l'utilisation des nomogrammes pour la balistique en général dans la section précédente. Dans cette étude de cas, nous allons nous intéresser plus particulièrement à la période de la Grande Guerre et à l'apport du bureau nomographique.

Pour cela, nous allons commencer par rappeler le contexte dans lequel on se situe, ainsi que les questions soulevées par la préparation aux tirs. En effet, en l'absence d'instruments de calcul pratiques et fiables, la détermination de la trajectoire et de la portée des armes de tir (principalement des canons de 75 et de 155) reste

106. Léon Joseph Ambard, dit Léo Ambard (1876-1962) : médecin français spécialisé en néphrologie.

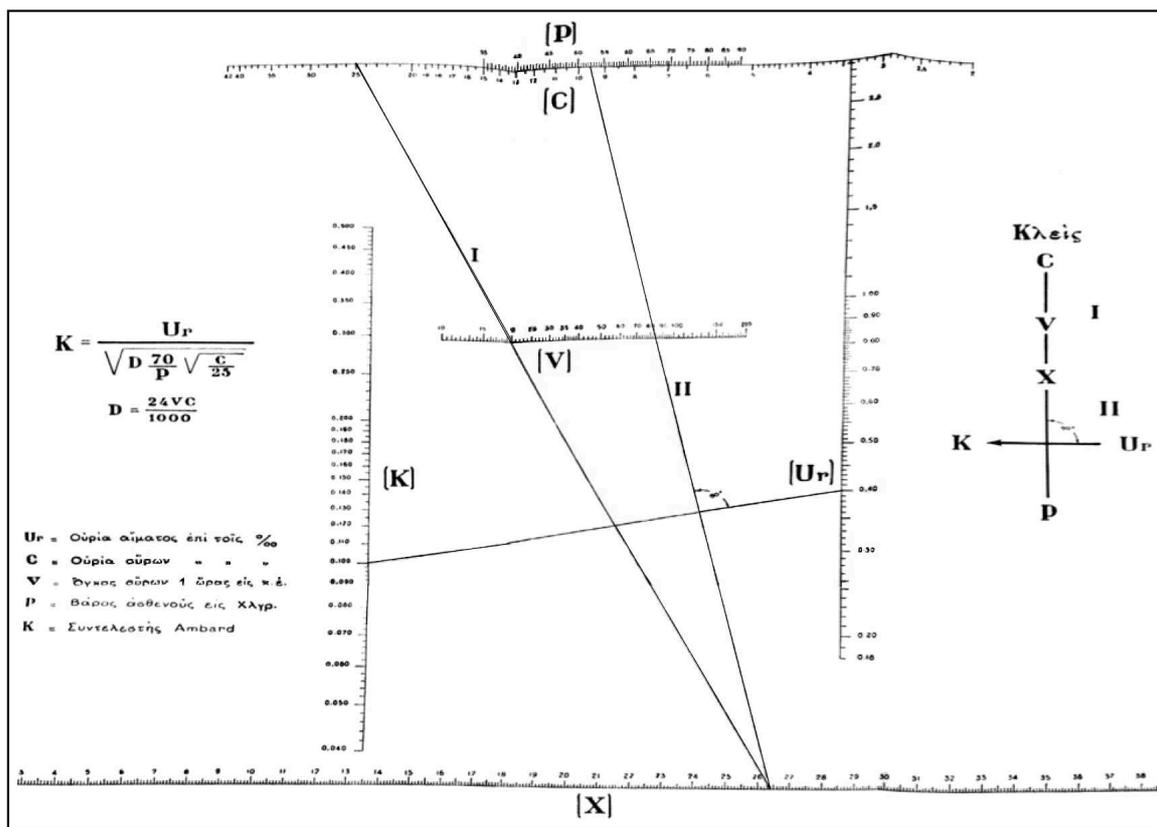


FIGURE 4.34 – Abaque de la constante d'Ambard de Brikas (1935). Source : ENPC

difficile. Puis, nous verrons que les nomogrammes ont pu être une solution à la préparation aux tirs par la rapidité d'exécution des calculs qu'il est possible d'y faire. Enfin, nous verrons le rôle qu'a pu jouer d'Ocagne et le bureau nomographique constitué pendant la Grande Guerre de 1916 à 1918.

4.2.1 Contexte : la Première Guerre mondiale

Le 28 juin 1914, l'archiduc François-Ferdinand, héritier de l'Empire austro-hongrois, est assassiné à Sarajevo. Cet événement déclenche la Première Guerre mondiale sur le continent européen et très vite, des fronts se forment dont celui de l'ouest qui s'étend de la mer du nord à la frontière Suisse. L'armée française occupe essentiellement la ligne du front allant des Vosges à la Somme. La bataille se transforme très vite en guerre de tranchées où les pièces d'artillerie ont toute leur importance.

L'artillerie

En 1914, l'artillerie de campagne est principalement composée de canons de 75 mm (modèle 1897), pesant chacun un peu plus d'une tonne et ayant une portée pratique de 6,5 km environ (voir fig. 4.35)¹⁰⁷. Ce canon, fleuron de l'artillerie



FIGURE 4.35 – Pièce de 75 (canon et caisse), en batterie et servie par des artilleurs en uniforme du début de la guerre 1914-1918. Source : gallica.bnf.fr/BnF

de l'époque notamment pour des guerres de campagne, montre vite des signes de fébrilité par manque de puissance et de portée pour une guerre de position. L'artillerie lourde n'est pas très présente au moment du début de la guerre mais vient peu à peu en aide aux canons de 75 mm avec des canons de 120 mm et 155 mm principalement. Ces canons, plus lourds (donc plus stables mais moins manœuvrables) permettent d'accueillir de plus gros calibres et peuvent atteindre jusqu'à 10 km de portée.

107. Jules CHALLÉAT (1935). *L'Artillerie de terre en France pendant un siècle. Histoire technique (1816-1919), tome 2*. Charles-Lavauzelles.

La préparation et le réglage des tirs

Sur le front, un simple tir au canon n'est pas anodin et pour atteindre sa cible, il faut faire face à de multiples paramètres : la taille du projectile, la pression atmosphérique, la vitesse et la direction du vent, la température de la poudre... La nécessité de préparer au mieux les tirs afin d'être le plus précis possible et efficace sur le but à atteindre est devenue de plus en plus présente au cours de la guerre. Bien évidemment l'objectif premier est d'arriver au plus près de la cible, mais il ne faut pas sous-estimer également l'aspect financier lié au coût engendré par le nombre de coups tirés. Le tableau 4.36¹⁰⁸, établi à l'usage des postes de commandement, donne le prix unitaire d'un obus en fonction de son calibre. Lorsque l'on sait que la France aura tiré environ 250 millions d'obus à la fin de

*AVANT de donner l'ordre de tirer un coup de canon INUTILE
songez à ce qu'il COÛTE.*

CALIBRE.	PRIX.	CALIBRE.	PRIX.	CALIBRE.	PRIX.
65.....	30 francs.	145.....	290 francs.	293.....	1,380 francs.
75.....	60 —	155.....	225 —	305.....	2,800 —
80.....	50 —	16.....	260 —	320.....	2,200 —
90.....	60 —	19.....	510 —	340.....	5,200 —
95.....	75 —	220.....	540 —	370.....	2,750 —
100.....	115 —	240.....	890 —	400.....	3,850 —
105.....	115 —	270.....	850 —	520.....	6,300 —
120.....	120 —	274.....	2,200 —		
14.....	285 —	280.....	1,180 —		

FIGURE 4.36 – Coût d'un tir de canon (1917). Source : ENPC

la guerre¹⁰⁹, on comprend qu'il est légitime de ne pas gaspiller inutilement ses munitions. La question qui se pose alors est la nécessité absolue de faire des corrections avant de tirer. En effet, ces dernières demandent du temps, il faut alors être capable d'évaluer le ratio temps/efficacité afin de savoir si le temps passé à calculer est indispensable dans le cas de corrections très faibles. Il semble donc que la préparation avant le tir soit indispensable, mais qu'il est nécessaire que

108. MINISTÈRE DE L'ARMEMENT ET DES FABRICATIONS DE GUERRE (1917). *Notes sur la préparation et le réglage des tirs*, p. 2.

109. Jean RUHLMANN (1994). *Histoire de l'Europe au XX^e siècle, 1900-1918*. Éditions complexe.

la correction au cours des réglages soit établie avec parcimonie en fonction des éléments qui influent sur sa trajectoire, ou qu'il faille trouver des techniques plus appropriées.

En 1917, un document confidentiel du ministère de l'Armement et des Fabrications de guerre ¹¹⁰ donne les éléments indispensables à analyser afin d'effectuer un tir correct. Principalement, il s'agit de bien étudier les éléments suivants :

- la vitesse du vent et sa direction. Un vent de face ralentira l'obus, un vent de dos l'accélérera alors qu'un vent de travers modifiera sa trajectoire. L'estimation du vent n'est pas chose aisée car sa vitesse et sa trajectoire peuvent varier énormément d'un point à un autre puisque ni sa trajectoire, ni sa force sont uniformes : plus le tir sera long et plus le risque sera grand de traverser des turbulences différentes ;
- le poids du mètre cube d'air. Théoriquement, le poids d'un mètre cube d'air correspond à l'air moyennement humide à la température de 15°C et à la pression de 750 mmHg, il est alors de 1 208 grammes. Or, les variations de densité de l'air peuvent atteindre le sixième, voire le cinquième de sa valeur. La résistance de l'air ne sera donc pas la même selon la température, l'altitude, le degré d'hygrométrie, la pression... ;
- les poudres utilisées. Il est important de disposer des mêmes poudres au sein d'une même batterie afin de mieux jauger les corrections à effectuer entre deux tirs, car un changement de poudre ou l'utilisation de poudres anciennes ne permet pas de reproduire des tirs précis. La poudre peut en effet subir des transformations en fonction de la température, de l'humidité et de son vieillissement ;
- les projectiles. L'augmentation du poids du projectile diminue sa vitesse initiale, et par conséquent sa portée sur des faibles distances. Cependant, on constate au contraire une augmentation de portée sur des distances plus grandes (pour le canon de 75, ce changement à lieu au bout de 3 500 mètres environ). La raison est purement mécanique : au bout d'un certain temps, la somme de l'énergie cinétique (liée au mouvement du projectile, fonction de sa masse et de sa vitesse) et de l'énergie potentielle (liée au poids du corps, fonction de sa masse) sera plus élevée pour un projectile plus lourd.

Étant donné la multitude de paramètres à prendre en compte, il est clair qu'une méthode de calcul efficace pourrait avantageusement aider les artilleurs.

110. MINISTÈRE DE L'ARMEMENT ET DES FABRICATIONS DE GUERRE (1917). *Notes sur la préparation et le réglage des tirs.*

4.2.2 Le nomogramme : une solution aux préparations et aux réglages de tirs ?

Une fois les données extérieures récoltées, les préparatifs permettant d'obtenir une position optimale du canon peuvent être réalisés. Ceux-ci requièrent une quantité de calculs importante, à faire dans un délai qui se doit d'être court. En début de guerre, l'utilisation de tables numériques est fréquente : ces tables rassemblent de multiples résultats de calculs faits une fois pour toutes. Par exemple, le tableau 4.37, issu d'un document du ministère de l'Armement et des Fabrications de guerre¹¹¹ donne, pour le tir de l'obus à balles de 75 et pour des portées

Tableau Vb
correspondant au tir de l'obus explosif de 75
muni de fusée courte.

$V_0 = 550^m$.

Charge normale.

Portées	Angles de tir		Distance à faire marquer à la hausse	Nombre de divisions du tambour des dérives corrigeant la déviation	Portées	Angles de tir		Distance à faire marquer à la hausse	Nombre de divisions du tambour des dérives corrigeant la déviation	Portées	Angles de tir		Distance à faire marquer à la hausse	Nombre de divisions du tambour des dérives corrigeant la déviation
	Degrés	Millièmes				Degrés	Millièmes				Degrés	Millièmes		
300	16	5	350	0	300	4	108	3325	3	6400	17.34	312	16	16
400	23	7	450	0	400	6	108	3450	3	200	18.8	322	16	16
500	30	9	550	0	500	8	113	3580	4	300	19.19	333	17	17
								3775	4	400	19.19	343	17	17
									4	500	19.19	354	18	18
600	37	11	650	0	600	10	124	3900	4	6600	20.32	365	19	19
700	44	13	725	0	700	13	130	4000	5	700	21.9	376	20	20
800	52	15	800	0	800	16	130	4125	5	800	22.47	387	21	21
900	1. 0	18	875	0	900	19	142	4250	5	900	22.26	399	22	22
1000	8	20	1025	0	1000	22	148	4375	5	7000	23.8	411	23	23
1100	1. 17	23	1125	0	1100	25	154	4500	6	7100	23.53	425	24	24
200	26	25	1225	1	200	28	161	4600	6	200	24.42	439	25	25
300	35	28	1325	1	300	31	167	4725	6	300	25.34	455	27	27
400	45	31	1450	1	400	34	174	4825	7	400	26.32	472	28	28
500	55	34	1550	1	500	37	180	4950	7	500	27.34	490	30	30
1600	2. 5	37	1650	1	1600	40	187	5050	8	7600	28.42	510	32	32
700	46	40	1750	1	700	43	194	5175	8	700	29.54	532	34	34
800	27	44	1850	1	800	46	201	5275	8	800	31.9	554	36	36
900	39	47	1975	1	900	49	208	5400	9	900	32.29	577	39	39
2000	51	51	2075	1	2000	52	216	5500	9	8000	33.50	602	41	41
2100	3. 4	54	2200	1	2100	55	223		10					
200	17	58	2300	2	200	58	231		10					
300	30	62	2400	2	300	61	240		11					
400	44	66	2525	2	400	64	248		11					
500	58	70	2625	2	500	67	257		12					
2600	4. 13	75	2750	2	2600	70	266		12					
700	38	79	2875	2	700	73	275		13					
800	43	86	3000	3	800	76	284		13					
900	59	89	3100	3	900	79	293		14					
3000	5 15	93	3200	3	3000	82	302		15					

Portée au niveau.

FIGURE 4.37 – Table de tir du canon de 75, tab.Vb. Ronneaux (1917). Source : ENPC

allant de 300 m à 8 500 m, l'angle de tir à apporter en degrés et millièmes ; la distance à faire marquer à la hausse (correction en hauteur), et le nombre de divisions du tambour des dérives corrigeant la déviation (correction latérale).

111. RONNEAUX (1917a). *Annexe 1 aux tables de tir du canon de 75 Mle 1897. Tables de tir sommaires et abaqués pour le calcul de la variation globale de portée correspondant aux conditions du tir du moment.* P. 4.

Mais un artefact encore plus rapide tente de s'imposer peu à peu : il s'agit des abaques permettant, par simple lecture graphique, de déterminer le résultat d'un calcul de manière rapide et efficace en fonction de différents paramètres. Afin de bien voir leur bénéfice, nous allons montrer deux types de nomogrammes (l'un à droites concourantes et l'autre à points alignés) que nous utiliserons sur un exemple concret.

Des abaques à droites concourantes pour le réglage du tir

Nous avons vu, dans le chapitre précédent concernant la balistique, qu'il existait trois sortes de carnets de tir. Nous nous intéressons ici à un carnet de graphiques prêts à l'emploi : le *Carnet de graphiques pour le canon de 75*¹¹². Il s'agit d'une deuxième édition datant de 1921, mais la première édition semble dater de 1918. La notice précise :

« Ce carnet réunit les éléments balistiques nécessaires à la préparation et au réglage d'un tir. Il est disposé de manière à éviter à l'officier de batterie tout calcul autre que quelques additions très simples. »

Il contient toute une série d'abaques pour le canon de 75 pour l'obus à balles et l'obus explosif à charge normale et à charge réduite qui permettent :

- le calcul de l'angle vent-plan de tir ;
- la correction de vent transversal ;
- la correction de vent longitudinal ;
- la correction de densité de l'air ;
- la correction de vitesse initiale ;
- la correction de site ;
- les corrections de convergence ;
- la transformation des corrections de portée en corrections d'angle au niveau ;
- les corrections de correcteur pour le tir fusant.

Ce sont des abaques à droites concourantes, ou encore abaques à entrecroisements. Le réglage du canon s'effectue selon deux composantes principales :

- la direction : il faut amener le plan de tir à passer par l'objectif à atteindre, avec une éventuelle dérive à donner à l'appareil en fonction des conditions ;

112. GRAND QUARTIER GÉNÉRAL DES ARMÉES DU NORD ET DU NORD-EST (1921). *Carnet de graphiques pour le canon de 75*. 2^e éd.

- la hauteur : il s'agit de l'inclinaison du canon avec l'horizontale. Cette inclinaison résulte de la somme de l'angle de site S , qui est l'angle fait par le plan horizontal avec la ligne qui joint le canon à l'objectif, et l'angle de tir α , ou encore angle de hausse, l'angle correspondant à la distance de l'objectif supposé sur le plan horizontal passant par le canon (voir fig. 4.38)¹¹³.

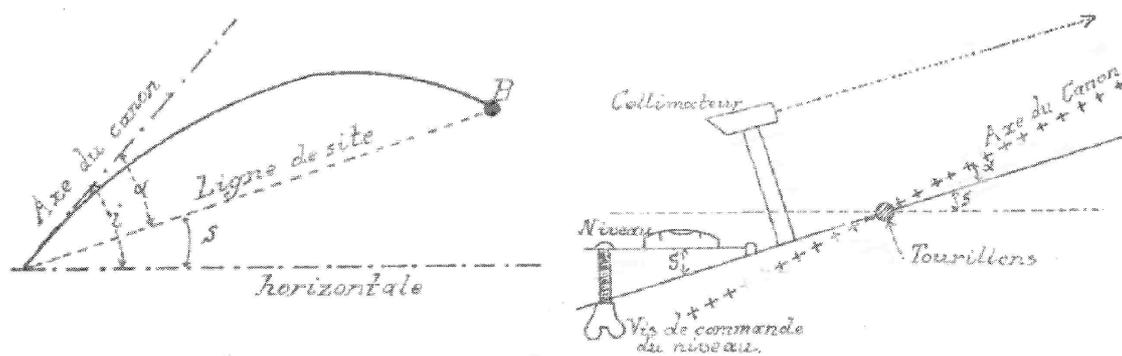


FIGURE 4.38 – Pointage en hauteur d'un canon (1914). Source : gallica.bnf.fr

Étudions sur un exemple l'effet du vent sur le réglage du canon de 75. Supposons que nous ayons les valeurs suivantes :

- Portée (distance à la cible à atteindre) : 4 km.
- Direction du tir : est.
- Direction du vent : 24 dagon (décagrades).
- Vitesse du vent : 10.

Le calcul des composantes en direction et en hauteur du canon s'obtient grâce aux différents tableaux graphiques du carnet utilisés successivement. Nous allons ici uniquement calculer les corrections à apporter à partir des trois premiers abaques.

1. L'abaque de la figure 4.39¹¹⁴ nous permet de calculer l'angle « vent-plan de tir » : pour cela, on entre par l'échelle supérieure à la cote « EST », puis il faut suivre la verticale issue de ce point en se guidant des lignes rouges jusqu'à rencontrer la ligne oblique noire correspondant à la direction du vent (cote 24). Enfin, en suivant l'horizontale issue de ce point, on lit l'angle cherché sur l'échelle de droite. On trouve 14 dagon.

113. Capitaine ANDRÉ (1914). *Cours d'artillerie. Instructions pratiques, 1re partie, artillerie de campagne*. École militaire de génie, fig.13 et 14 p.56.

114. GRAND QUARTIER GÉNÉRAL DES ARMÉES DU NORD ET DU NORD-EST 1921, p. 8.

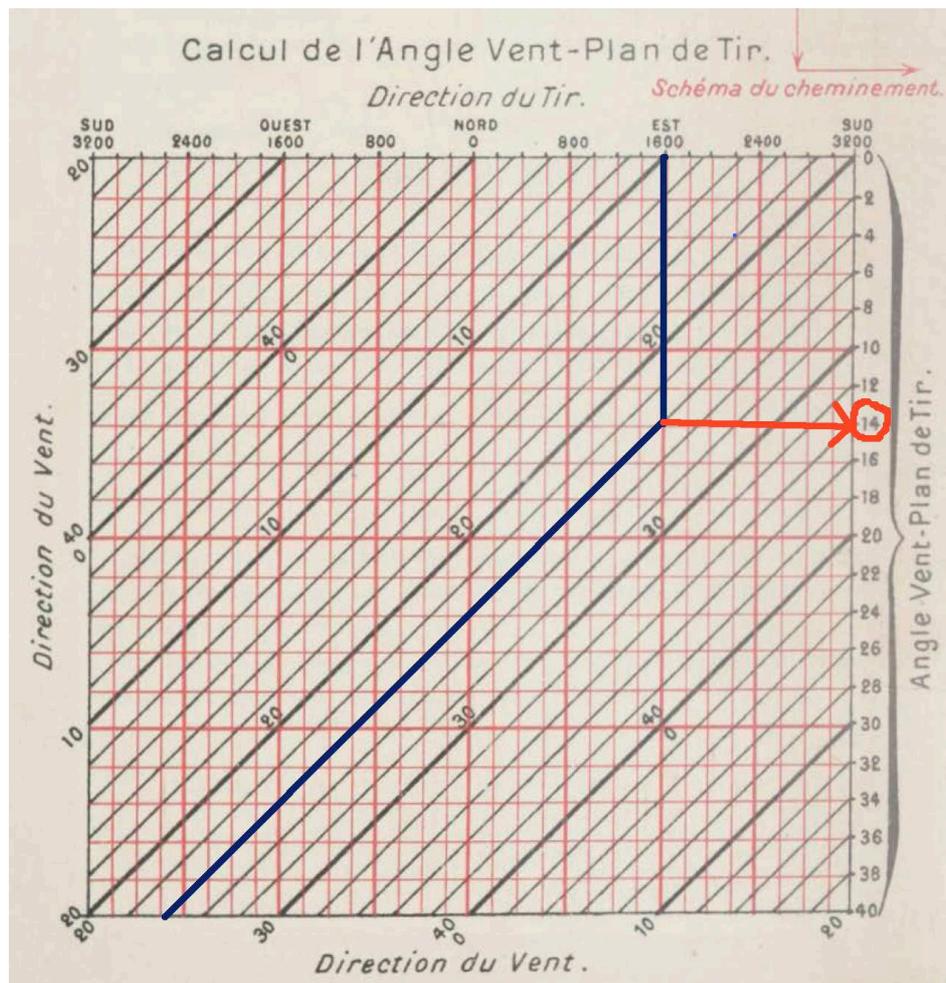


FIGURE 4.39 – Abaque du calcul de l'angle vent-plan de tir (1921). Source : gallica.bnf.fr/BnF

2. L'angle vent-plan de tir permet alors de calculer la correction de vent transversal (action sur la dérive) et la correction de vent longitudinal (action sur la portée) grâce aux deux abaques de la figure 4.40¹¹⁵. Pour chacune de ces corrections, on entre successivement par l'échelle supérieure à la cote de l'angle précédemment trouvé (14) et par l'échelle de gauche à la vitesse du vent observée (10), puis il faut suivre la verticale issue de l'intersection de ces deux droites jusqu'à rencontrer la ligne oblique noire correspondant à la portée (4000), enfin on suit la droite horizontale issue de ce point jusqu'à l'échelle de droite ou de gauche (sans jamais traverser la zone blanche) sur laquelle on lit la correction à effectuer. On trouve environ $-6,8$ millièmes pour la dérive et -44 mètres pour la portée.

115. GRAND QUARTIER GÉNÉRAL DES ARMÉES DU NORD ET DU NORD-EST 1921, p. 9-10.

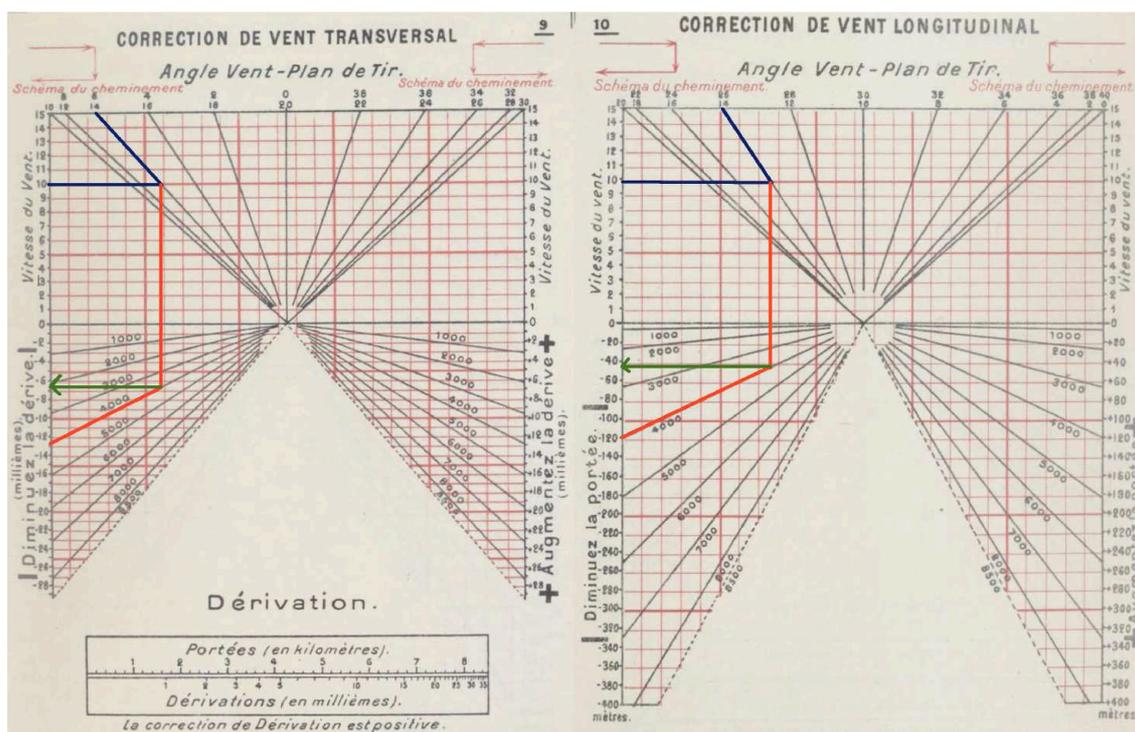


FIGURE 4.40 – Abaques du calcul de correction de vent transversal et longitudinal. Source : gallica.bnf.fr/BnF

Cet exemple prend en considération uniquement la vitesse et la direction du vent. Dans des conditions de tir, il faudrait poursuivre nos calculs et étudier de manière analogue la correction de densité de l'air en fonction de la pression atmosphérique et de la température de l'air, la correction de vitesse initiale due à la température de la poudre, la correction de site selon par la différence d'altitude du canon et de l'objectif, la correction de convergence en cas de batterie de plusieurs canons... Une fois ces calculs effectués, il ne resterait plus qu'à additionner les valeurs obtenues pour déterminer la valeur finale de la dérive et celle de la portée.

La méthode reste assez longue, mais, elle évite les calculs compliqués ou la lecture dans des carnets de tables de tir (nous avons vu l'avantage des abaques sur les tables dans le chapitre 3.1.)

Un nomogramme à points alignés pour le transport de tir

Une grande avancée dans le domaine des tables graphiques fut introduite par d'Ocagne par ses abaques à points alignés plus simples, plus lisibles, et plus complets que les abaques à droite concourantes. Nous allons voir ici l'utilisation de l'un d'entre eux pour un autre type de calcul : celui du transport de tir. Cette fois-ci, il ne s'agit pas de déterminer les réglages à effectuer sur le canon en fonction des éléments extérieurs, mais grâce à des essais sur un but auxiliaire.

Il est question en quelque sorte d'une translation de l'objectif à atteindre lorsque le tir sur le but ne se prête pas à une observation directe et continue. Il est alors nécessaire d'utiliser un but auxiliaire sur lequel des batteries de tirs ont déjà été effectuées et qui se révèlent être fiables pour en déduire les éléments correspondants pour le but définitif.

Dans le *Bulletin mensuel des officiers de réserve de l'artillerie de la région de Paris*¹¹⁶, le lieutenant Froidevaux, ancien élève de d'Ocagne lorsqu'il était à l'École polytechnique, présente un abaque (celui de J.F. Paris) qui a permis d'abrégé notamment les calculs de transport de tir. Il propose un abaque très épuré pour le canon de 75 avec l'obus explosif, charge normale et fusée courte. Son nomogramme (voir fig. 4.42) représente la fonction h , coefficient multiplicateur permettant de passer de la portée déterminée pour le but auxiliaire à la portée du but définitif.

Pour bien se rendre compte de la rapidité et de la facilité d'utilisation de l'abaque, Froidevaux donne un exemple d'application et étudie la méthode usuelle par les calculs et tables ainsi que la méthode par l'abaque.

Supposons que nous ayons récolté les données suivantes :

- Distance au but auxiliaire : $p_a = 5\,000$ mètres ;
angle de tir calculé pour cette portée : $\alpha_a = 12^\circ 08'$;
angle de tir corrigé (après le réglage de tir) : $\alpha_c = 12^\circ 28'$.
- Distance au but définitif : $p_d = 6\,500$ mètres.

Les tables de tir donnent les angles calculés théoriques, l'objectif est de déterminer l'angle de tir corrigé β_c pour le tir à 6 500 mètres en prenant en compte les calculs effectués sur le but auxiliaire placé à 5 000 mètres.

116. J. FROIDEVAUX (1935a). « Exemple d'application au tir du canon de 75 avec l'obus explosif charge normale fusée courte ». *Bulletin mensuel des officiers de réserve d'artillerie de la région de Paris*. 101, p. 74-77.

Méthode 1 : calcul de l'angle corrigé sur le but définitif grâce aux calculs et aux tables numériques

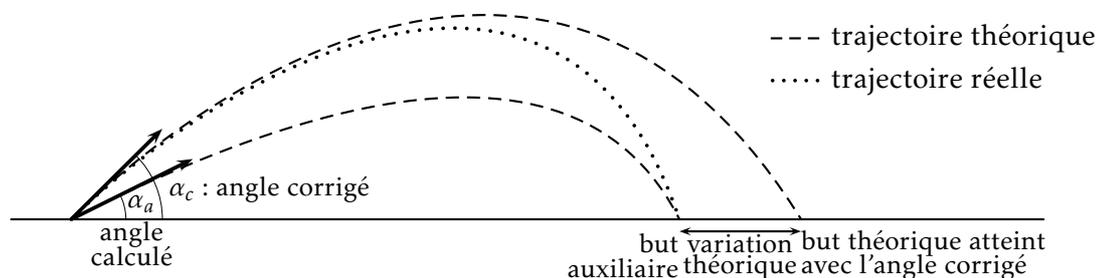


FIGURE 4.41 – Schéma des trajectoires théorique et corrigée

1. Corrections sur le but auxiliaire (voir fig. 4.41).

- (a) Calcul de l'écart entre l'angle calculé et l'angle corrigé sur le but auxiliaire.

$$\alpha_c - \alpha_a = 12^\circ 28' - 12^\circ 08' = 20'.$$

- (b) Calcul de la variation de portée théorique pour un écart de 20'.

Par lecture de la table de tir 4.37, on a un angle de $12^\circ 08'$ pour 5 000 m et un angle de $12^\circ 34'$ pour 5 100 m, soit un écart de 26' pour une variation de 100 m. Donc, pour un écart de 20', on obtient une variation théorique de $\frac{20'}{26'} \times 100 \text{ m} \approx 77 \text{ m}$.

- (c) Calcul de la variation de portée réelle pour une variation théorique de 77 mètres.

L'examen de la méthode employée pour effectuer un transport de tir montre qu'elle repose essentiellement sur l'hypothèse suivante : la différence entre l'angle de réglage et l'angle initial de tir sur le but auxiliaire est due à ce que la poudre employée ne communique pas au projectile une vitesse initiale égale à la vitesse théorique qui devrait lui correspondre¹¹⁷. On utilise alors la table de tir de variation de portée calculée pour un différentiel de vitesse initiale dV_0 de 10 m.s^{-1} : pour une portée de 5 000 m, une variation de vitesse initiale de 10 m.s^{-1} entraîne une variation de portée de 69 mètres. Dans le cas présent, la variation de portée étant de 77 mètres, cela signifie que la variation de vitesse initiale est d'environ $11,16 \text{ m.s}^{-1}$ puisque $\frac{77 \text{ m}}{69 \text{ m}} \times 10 \text{ m/s} \approx 11,16 \text{ m.s}^{-1}$.

117. A. LAFAY (1895a). « Abaques relatifs au tir de siège ». *Revue d'artillerie*.

2. Corrections sur le but définitif.

- (a) Calcul de la variation de portée réelle correspondant à une variation de vitesse initiale dV_0 de $11,16 \text{ m.s}^{-1}$.

Pour une portée de 6 500 m, une variation de vitesse initiale de 10 m.s^{-1} entraîne une variation de portée de 76 m. Cela signifie que pour une variation de vitesse initiale de $11,16 \text{ m.s}^{-1}$, la variation de portée réelle est de 85 m puisque $\frac{11,16 \text{ m.s}^{-1}}{10 \text{ m.s}^{-1}} \times 76 \text{ m} \approx 85 \text{ m}$.

- (b) Calcul de la variation de d'angle de tir pour une variation de portée de 85 m.

Par lecture de la table de tir 4.37, on a un angle de tir corrigé pour le but définitif β_d de $19^\circ 55'$ pour 6 500 mètres et un angle de $20^\circ 32'$ pour 6 600 mètres, soit un écart de $37'$ pour une variation de 100 m. Donc, pour une variation de 85 m, on a un écart d'angle de $\frac{85 \text{ m}}{100 \text{ m}} \times 37' \approx 31'$.

- (c) Calcul de l'angle de tir corrigé sur le but définitif.

$$\beta_c = \beta_d + 31' = 19^\circ 55' + 31' = 20^\circ 26'.$$

Finalement, l'angle de portée doit être réglé sur $20^\circ 26'$.

Méthode 2 : calcul de l'angle corrigé sur le but définitif grâce au nomogramme à points alignés présenté par Froidevaux

Considérons maintenant l'abaque de la figure 4.42¹¹⁸, de J.F. Paris nommé « Transport de tir par la méthode du dV_0 , obus explosif charge normale fusée courte » constitué uniquement de trois échelles parallèles verticales :

- l'échelle de portée en mètres au but auxiliaire;
- l'échelle de portée en mètres du but définitif;
- l'échelle du coefficient h par lequel on va multiplier l'écart d'angle calculé et corrigé pour le but auxiliaire pour avoir l'écart d'angle corrigé pour le but définitif.

La procédure de calcul avec ce nomogramme à points alignés est clairement plus rapide que la méthode précédente :

118. FROIDEVAUX 1935a, p. 75.

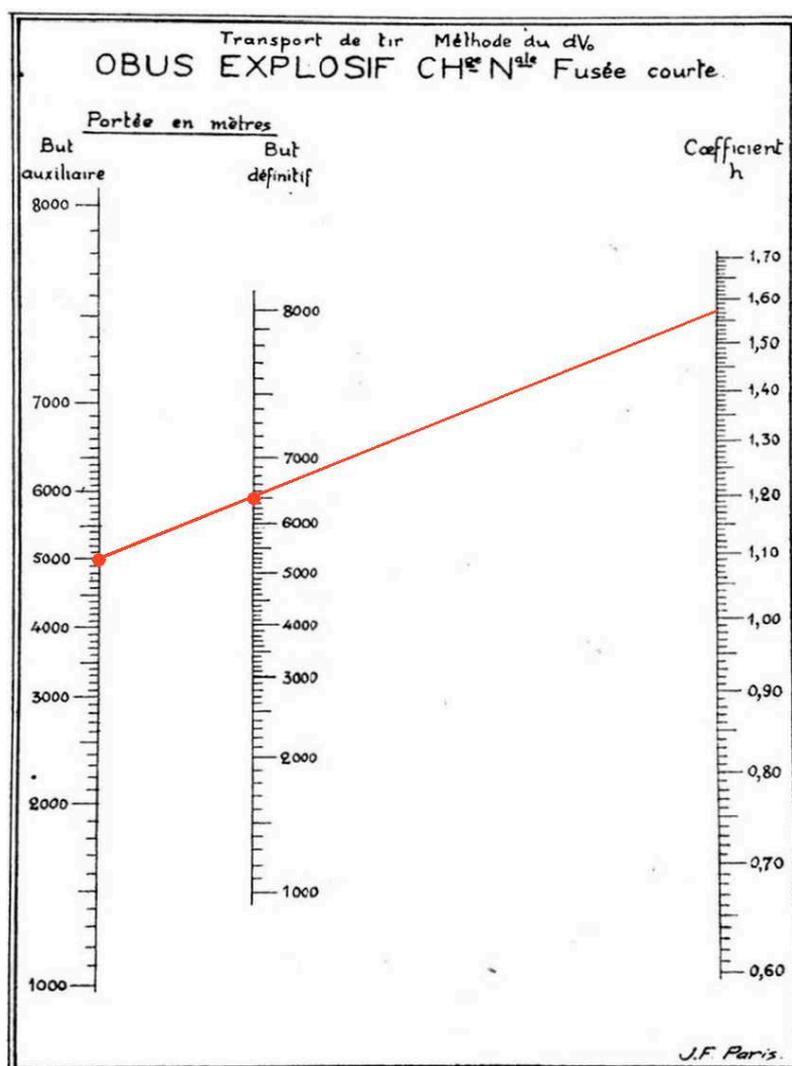


FIGURE 4.42 – Nomogramme à points alignés de l'obus explosif

1. sur le nomogramme, aligner les points côtés 5 000 sur l'échelle du but auxiliaire et 6 500 sur l'échelle du but définitif et lire le coefficient h .

On trouve $h \approx 1,575$;

2. calculer l'écart entre l'angle calculé et l'angle corrigé sur le but auxiliaire :

$$\Delta_a = 12^\circ 28' - 12^\circ 08' = 20';$$

3. en déduire la variation d'angle à appliquer au but définitif :

$$\Delta_d = h \times \Delta_a = 1,575 \times 20' \approx 31';$$

4. calculer l'angle de tir corrigé sur le but définitif :

$$\beta_c = \beta_d + \Delta_d = 19^\circ 55' + 31' = 20^\circ 26'.$$

On obtient le même résultat.

Justification de la méthode.

La méthode de calcul utilise deux données de la table de tir du canon de 75 : celle donnant l'angle en fonction de la portée et celle donnant la variation de portée correspondant à une variation de vitesse initiale de 10 m.s^{-1} .

Ces deux tables traduisent donc deux fonction distinctes :

- la fonction f telle que $A = f(p)$ de l'angle en fonction de la portée ; (1)
- la fonction g telle que $\Delta = g(p)$ de la variation de portée pour une variation de vitesse de 10 m.s^{-1} en fonction de la portée.

En admettant qu'à une portée donnée p , il y a proportionnalité entre la variation de portée et la variation de vitesse initiale, on peut produire le tableau de proportionnalité suivant :

variation de portée en m.s^{-1}	Δ	dp
variation de vitesse initiale en m.s^{-1}	10	dV_0

$$\text{Soit } dp = \frac{\Delta \times dV_0}{10} = g(p) \frac{dV_0}{10}.$$

Or, d'après (1), la variation d'angle est donnée par :

$$dA = f'(p)dp \text{ soit } dA = f'(p)g(p) \frac{dV_0}{10} \quad (2)$$

On note p_a et p_d respectivement la portée corrigée au but auxiliaire et la portée corrigée au but définitif, la variation de vitesse initiale dV_0 devant être la même, si on applique la relation (2) à ces deux valeurs, on a :

$$dA_a = f'(p_a)g(p_a) \frac{dV_0}{10} \quad \text{et} \quad dA_d = f'(p_d)g(p_d) \frac{dV_0}{10}$$

On peut alors exprimer la variation d'angle au but définitif en fonction de la variation d'angle au but auxiliaire :

$$dA_d = dA_a \times \frac{f'(p_d)g(p_d)}{f'(p_a)g(p_a)} = dA_a \times h$$

où h est une fonction de P_a et P_d uniquement.

C'est cette fonction h qui est appelée coefficient h sur l'abaque 4.42.

4.2.3 Le rôle de Maurice d'Ocagne et du bureau nomographique pendant la Première Guerre

Nous venons de voir les bénéfices, à notre échelle, de l'utilisation de certains nomogrammes, qu'ils soient à droites concourantes ou à points alignés. Nous allons maintenant observer comment ces abaques ont pu être dessinés puis distribués pendant la Grande Guerre, notamment grâce au bureau nomographique.

Le Rôle du bureau d'études nomographiques

Dans son livre de souvenirs où il écrit sa biographie ¹¹⁹, d'Ocagne explique :

Les nombreuses techniques intervenant dans la conduite des opérations de guerre, et plus particulièrement celles concernant l'artillerie et l'aviation, comportaient des calculs plus ou moins laborieux, parfois même assez compliqués, qui offraient aux méthodes de la nomographie, de remarquables occasions de s'appliquer.

Ainsi, dès le début de la Grande Guerre, d'Ocagne s'emploie dans un premier temps à titre individuel à aider les officiers et ingénieurs à construire des abaques de tir, mais très vite, il s'aperçoit qu'une organisation plus complète devrait être mise en place. En effet, les calculs de corrections sont longs, fastidieux, sujets à erreurs et effectués dans des conditions non optimales, sous le feu de l'ennemi.

En février 1916, Paul Painlevé ¹²⁰, alors ministre de l'Instruction publique et des Inventions intéressant la défense nationale, charge d'Ocagne à prendre la direction des études nomographiques susceptibles de venir en aide aux diverses techniques intervenant dans la conduite de guerre, principalement pour les besoins de l'artillerie et de l'aviation. Le colonel Pierre Goybet, ayant eu l'idée de recourir à la nomographie pour effectuer ses calculs de correction, s'associe à d'Ocagne pour cette mission. En janvier 1917, lors de la constitution de Sous-Secrétariat d'État des Inventions, une section spéciale de nomographie y est constituée, toujours sous la direction de d'Ocagne. Cette section sera transférée en juin 1918 à la section technique de l'artillerie ¹²¹.

119. Maurice d'OCAGNE (1935f). « Mes souvenirs, livre V : Souvenirs de voyages d'avant-guerre et livre VI : Souvenirs des années de la guerre ». T. 3.

120. Paul Painlevé (1863-1933) : mathématicien et homme politique français.

121. SERVICE DE GUERRE DU PERSONNEL DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE (juill. 1919). *Note sur les services militaires et scientifiques rendus pendant la guerre par M. Maurice d'Ocagne.*

Une des missions de d'Ocagne dans ce bureau de nomographie consiste à établir des nomogrammes permettant de fournir, dans le moindre temps possible et en écartant toute chance d'erreur, les éléments initiaux de tir des pièces de tout calibre et pour toutes les charges. Très vite, des lettres affluent, vantant les mérites des nomogrammes. Dans un rapport en date du 21 février 1917 écrit par le Général Fetter, commandant d'artillerie, on peut lire ¹²² :

« Des nomogrammes établis par le Lt Colonel d'OCAGNE pour le tir des canons de 155 L ont été mis en essai dans les régiments d'A.L. [Artillerie Lourde] à la disposition de la 5^e armée.

De ces essais il résulte que ces nomogrammes permettent d'abrégé notablement la durée de la détermination des éléments initiaux (moins de 5 minutes, au lieu de 15 à 20 minutes) et d'éviter les erreurs de calcul dans la préparation du tir. »

Il demande ensuite 200 de ces nomogrammes.

De nombreux carnets de graphiques sont alors créés à destination des batteries, notamment pour le canon de 75 pour lequel la manière de procéder jusque là pour le réglage est assez empirique : effectuer un certain nombre de tirs d'essai afin de se rapprocher le plus possible de la cible. D'Ocagne propose des formations aux batteries d'artillerie et se voit confier les jeunes officiers blessés au front et détachés au bureau nomographique afin de construire des tables graphiques pour un maximum d'éléments d'artillerie et de charges.

De véritables échanges se font au sein du bureau de nomographie par la réception de lettres venant du front. Nous pouvons classer en trois types ces correspondances : celles qui concernent les demandes de nomogrammes et de formation ; celles qui exposent les avantages, inconvénients et modifications éventuelles ; et enfin les lettres, nombreuses, de remerciements.

Les demandes d'abaques

Très vite, de toute part du front de l'ouest arrivent des lettres demandant des nomogrammes. D'Ocagne, en homme très organisé, dresse l'état approximatif des albums de tables graphiques de correction de tir envoyés au 16 mai 1918, qui s'élève déjà à presque 2 000 en France et 300 en Amérique ¹²³ (voir fig. 4.43). Puis, il note la répartition de ces albums dans les différents groupements d'artillerie en

122. Général FETTER (21 fév. 1917). *Demande de 200 nomogrammes*. Une lettre.

123. Maurice d'OCAGNE (16 mai 1918c). *État des albums de tables graphiques corrections de tir au service des armées*. Une lettre.

Paris le 16 Mai 1918.

**MINISTÈRE DE L'ARMEMENT
& DES
FABRICATIONS DE GUERRE.**
-:-:-:-:-

**DIRECTION DES INVENTIONS
Etudes & Expériences
Techniques.**
-:-:-:-:-

Bureau d'Etudes Nemographiques
28, Rue des Saints Pères

Se
**ÉTAT DES ALBUMS DE TABLES GRAPHIQUES CORREC-
TIONS DE TIR ACTUELLEMENT AU SERVICE AUX
ARMÉES OU DANS LES CENTRES DE L'ARTILLERIE.**

Canon de 75		(600 exemplaires de l'édition de Mai 1917		
de campagne:	950	(350	"	" Nov. 1917
I.054 Mle. 1913	20	40	"	édition d'août 1917
I20 L Mle. 1878	80			
I30 de Marine	10			édition de Mars 1917
I45 de Marine Mle. 1916	200			" de Juin 1917
		200	"	" " Mars 1917
I.554 Mle. 1877 à 1877-1914	400	(200	"	" " Nov. 1917
I55 G.P.F.	30			" " Avril 1918
I55 court St C Chamond	80			" " Juin 1917
I55 court Schneider Mle 1915.	100			" " Mars 1918
I90 de Marine	10			" " Mars 1917
Mitrailleuse Hotch- kiss et Mle. 1907	15			" " Mars 1918
soit un total de 1895				
En outre 150 albums de 75 et 150 albums de I55 court Schneider modè- le 1915 sont à la disposition de l'Armée Américaine.				

FIGURE 4.43 – État des albums de tables graphiques de corrections de tir. D'Ocagne (1918).
Source : ENPC

listant scrupuleusement les personnes à qui il envoie les précieux sésames et qui lui ont fait une demande. Une entrée de cette liste se compose du nom du chef du bataillon et de la date de sa demande du type :

Chef d'escadron LEHALLE Ct. pvt. l'A.L. 21 (Demande du 10 août 1917)

Si, au départ, les demandes concernent essentiellement le canon de 75 alors plus que présent sur le front, au fur et à mesure, les différents régiments d'artillerie réclament que soient établis des abaques pour d'autres canons de l'artillerie lourde. Globalement, les échanges que d'Ocagne a avec les responsables de batteries font part de leur enthousiasme, et la plupart des sortes de canons sont cités :

- le Lieutenant-colonel Noirel commandant du 87^e régiment d'artillerie lourde terrestre, demande à plusieurs reprises des jeux pour le 155 long Schneider après s'être fait montré des abaques relatifs aux corrections balistiques dues au vent ¹²⁴;
- le Général Fetter, commandant l'artillerie de l'armée, réclame 200 nomogrammes du 155 L arguant de la rapidité et des faibles erreurs ¹²⁵;
- le lieutenant Michel, de l'École polytechnique « réclame à grands cris » les nomogrammes du canon de 145 et 155 modèle 1916 suite à un échange avec le centre d'organisation d'artillerie lourde de Saint-Dizier ¹²⁶;
- le capitaine Chavane, de l'A.D.13, demande une vingtaine d'abaques du 75 qu'il pourrait lui remettre en main propre, tout en se plaignant de la lenteur de la voie hiérarchique ¹²⁷;
- le Lieutenant Colonel Mulsant, du 83^e régiment d'artillerie lourde automobile, après avoir reçu des tables pour le canon de 120 L, demande des exemplaires pour le canon de 145 modèle 1916 et du 155 G.P.F. qui arrivent petit à petit sur le front ¹²⁸;
- le Général de division Herr, inspecteur général de l'artillerie, fait la demande de 100 nomogrammes pour le 155 G.P.F. et aimerait que des abaques pour le mortier de 280 soient établis ¹²⁹;
- M.o.d. Marx, du 101^e régiment d'artillerie lourde, ayant déjà utilisé les abaques pour le 75, se demande s'il existe de la même manière des abaques pour le 120 long modèle 1877 ¹³⁰...

124. Lieutenant-Colonel NOIREL (11 fév. 1917). *Demande d'abaques pour le canon de 155 long Schneider*. Une lettre.

125. G. FETTER 1917.

126. Lieutenant MICHEL (9 mai 1917). *Demande d'abaques pour le canon de 145 et de 155*. Une lettre.

127. Capitaine CHAVANE (21 juin 1917). *Demande de 75 abaques pour le canon de 75 à donner en main propre*. Une lettre.

128. Lieutenant-colonel MULSANT (21 jan. 1917). *Demande d'abaques pour le canon de 145 et de 155, nouveaux canons devant arriver sur le front*. Une lettre.

129. Général de division HERR (14 mai 1918). *Commande de 100 nomogrammes pour le canon de 155 GPF et le 280*. Une lettre.

130. M.o.d. MARX (20 oct. 1918). *Demande d'abaques pour le canon de 120 long*. Une lettre.

L'engouement en France paraît réel, mais la tentative d'exportation a parfois été vaine. Dans une lettre envoyée par le bureau du délégué du ministre anglais des Munitions, le directeur de l'artillerie fait part de ses réticences en juin 1917 suite à l'examen du projet de d'Ocagne¹³¹ :

« Je ne peux pas croire que nous ayons avantage à changer notre méthode pendant la guerre et à adopter une représentation graphique des tables de tir et d'échelles de correction.

Il y a beaucoup à dire en faveur de ces nomogrammes une fois compris, mais je ne pense pas que le moment soit venu pour faire un tel changement.

En tous cas ils sont plus applicables à l'artillerie de siège pour remplacer la règle à calculer. L'École de Lydd pourrait être consultée à ce sujet. »

Suite à la communication au Directeur de l'École d'Instruction de Lydd (une école d'artillerie anglaise), le sujet semble définitivement enterré :

« Je suis entièrement d'accord avec le rapport du Directeur de l'Artillerie.

Nous ne pourrions pas changer notre système à l'heure actuelle. »

Cette raison est régulièrement mise à jour et compréhensible : le changement de méthode en pleine guerre n'est pas toujours accepté par manque de formation et peur des conséquences sur les tirs. Ainsi, fin 1916, le commandant Icre, du ministère de la Guerre, effectue un essai comparatif de rapidité d'emploi des nomogrammes que Goybet lui avait remis, sa conclusion est positive¹³² :

« D'une façon générale, il a fallu, pour préparer un tir, entre 1/3 et 1/2 de la durée normale ; cette durée, par emploi des nomogrammes sera certainement diminuée encore du fait de l'habitude. »

Fort de cette constatation, Icre demande alors à un régiment d'artillerie de lui donner son avis sur ces abaques concernant la préparation aux tirs. Ces derniers trouvent cela bien compliqué, cependant, un seul essai a été tenté avant d'abandonner, preuve qu'il est difficile de changer les habitudes et qu'il est nécessaire d'organiser des formations au sein des régiments d'artillerie afin de mieux intégrer les calculs par les abaques.

En 1917, le capitaine Bouju, du cours des officiers américains de l'École militaire de l'artillerie de Fontainebleau, se propose de former aux abaques un ré-

131. Henry NORMAN (1^{er} juin 1917b). *Lettre du Major Sir Henry Norman à Maurice d'Ocagne au sujet de l'utilisation des nomogrammes pendant la guerre.*

132. Commandant ICHE (9 oct. 1916). *Échanges entre le commandant Iche et Maurice d'Ocagne au sujet de la rapidité de ses nomogrammes.* Trois lettres.

giment d'une centaine d'officiers américains¹³³. Il avait pu auparavant constater les avantages en terme d'économie de temps réalisé à chaque tir. D'autres pays alliés sont favorables et viennent se former à l'art de l'abaque, notamment des officiers belges et italiens.

En Belgique, d'Ocagne travaille, toujours avec la collaboration de Goybet, avec le capitaine R. Goldschmidt, chef des inventions de l'armée Belge afin de lui fournir des nomogrammes de corrections atmosphériques pour les pièces d'artillerie de l'armée Belge (notamment le canon de 75 modèle 1897, le 105 long, le 155 court et long Schneider et le 105 long à charge réduite). Il propose également une formation sur la manière de construire ces abaques afin de rendre plus autonome l'armée belge à ce sujet¹³⁴. Il recevra pour ces faits la croix d'officier de la légion de l'ordre de Léopold par le roi de Belgique Albert 1^{er}¹³⁵.

En Italie, le ministère de la Guerre italien (sous-secrétariat des armes et munitions) lui-même tient également à saluer l'utilité de l'application de la nomographie aux corrections atmosphériques et promet une utilisation du procédé en partie dans l'artillerie italienne¹³⁶.

Ce bureau ayant donné pleine satisfaction lors de la Première Guerre mondiale, l'ingénieur Wladimir Margoulis, ancien directeur du laboratoire Eiffel, fait part à d'Ocagne en 1922 de sa volonté de création d'un Bureau d'Études Nomographiques. Son communiqué se veut plus « propagandaire »¹³⁷ :

« Si dans vos travaux, vous appliquez souvent la même formule ou la même série de formules, consultez-nous. Nous vous proposerons des abaques qui réduiront notablement le temps nécessaire à la résolution du problème considéré, tout en supprimant les causes d'erreurs. L'emploi de ces abaques étant très simple, vous pourrez les confier aux dessinateurs; vous Tayloriserez ainsi notre bureau d'étude. »

133. Capitaine BOUJU (1^{er} oct. 1917). *Demande et Remerciements pour les abaques du 75 et du 155, proposition de formation*. Deux lettres.

134. Capitaine R. GOLDSCHMIDT (14 fév. 1917). *Lettre du chef du service des Inventions de l'armée belge pour l'établissement de nomogrammes pour leur armée*.

135. Maurice d'OCAGNE (1935f). « Mes souvenirs, livre V : Souvenirs de voyages d'avant-guerre et livre VI : Souvenirs des années de la guerre ». T. 3, p. 287.

136. GIORDANO (29 mars 1917). *Lettre du délégué italien au comité interalliés des inventions pour la guerre à Maurice d'Ocagne au sujet de l'utilisation des nomogrammes dans l'artillerie italienne*. Deux lettres.

137. Wladimir MARGOULIS (1^{er} oct. 1922b). *Création d'un Bureau d'Études Nomographiques*. Une lettre.

Des améliorations sans cesse proposées

En 1917, le colonel Misserey, commandant le 1^{er} groupe du 61^e régiment d'artillerie est très favorable à l'emploi des nomogramme qu'il semble trouver très fiables¹³⁸ :

« Vos nomogrammes ont eu le plus grand succès auprès de mes capitaines qui s'en servent journellement. Je les ai contrôlés à plusieurs reprises en faisant exécuter des tirs d'après le plan directeur et en en faisant contrôler le résultat par des observateurs avancés ou par des avions. Et chaque fois, les premiers coups étaient au but... »

D'Ocagne reçoit de multiples lettres ne tarissant pas d'éloges sur sa méthode, il les regroupe dans un manuscrit qu'il intitule « *Extraits de documents appartenant aux archives de la section de nomographie dirigée pendant la guerre par le lieutenant colonel d'Ocagne, professeur à l'École polytechnique* »¹³⁹. Comme a son habitude, nous remarquons que c'est un homme très organisé.

Cependant, le bureau de nomographie reçoit également des lettres donnant les inconvénients et/ou des améliorations éventuelles^{140, 141, 142, 143}. Nous avons résumé dans le tableau 4.2 ce qu'il ressort de ces rapports. Globalement, les deux inconvénients qui sont le plus souvent soulevés sont le manque de formation et les contraintes liées au papier utilisé.

La demande d'entrée à l'Académie des sciences de d'Ocagne

Fin 1921, alors que d'Ocagne tente d'intégrer l'Académie des sciences, il demande au général Herr, ancien inspecteur général de l'artillerie aux armées et commandant supérieur de la réserve générale d'artillerie d'œuvrer en son sens. Herr avait déjà échangé avec d'Ocagne au sujet de ses abaques, d'Ocagne en profite donc pour lui demander une addition à la notice sur ses travaux pendant la

138. MISSEREY (29 avr. 1917). *Extrait d'une lettre adressée le 29 avril 1917, au lieutenant colonel d'Ocagne, par le capitaine Misserey Commandant le 1er groupe du 61e régiment d'artillerie*. Une lettre.

139. Maurice d'OCAGNE (1921b). *Extraits de documents appartenant aux archives de la section de nomographie dirigée pendant la guerre par le lieutenant colonel d'Ocagne, professeur à l'école polytechnique*. Manuscrit.

140. Marcel CAU (17 déc. 1917a). *Proposition d'amélioration d'abaques par des éléments relatifs à l'observation unilatérale ou bilatérale des tirs*. Une lettre.

141. Capitaine MACHIELS (14 août 1917). *Remerciements pour l'obtention de carnets de nomogrammes, propositions d'améliorations*. Une lettre.

142. Capitaine LAGET (5 mars 1917). *Rapport de M. Laget sur les tables graphiques de corrections de tirs*. Deux lettres.

143. Lieutenant-commandant BUSSY (30 sept. 1917). *Compte rendu de l'emploi des tables graphiques de correction de tir pour le canon de 75*.

Inconvénients	Améliorations ou justifications
Les abaques permettent d'éviter l'usage d'instruments encombrants (planchettes, règles, rapporteurs) mais il est nécessaire de s'entraîner afin de supprimer toute chance d'erreur.	Formations au sein même des batteries.
Les batteries sont déjà formées à d'autres techniques et ne veulent pas changer de méthode.	Utilité d'unifier les méthodes permettant à n'importe quel officier formé d'intégrer une batterie quelconque sans formation supplémentaire.
L'utilisation de calques est très pratique, mais ce papier ne semble pas suffisamment solide.	Les calques sont faciles à remplacer avec un coût de revient faible.
Les abaques peuvent devenir très vite sales et abimés.	Il est possible de les coller sur du bois, ce qui augmenterait le poids et la transportabilité. Les tirer sous des formats moindres ce qui permettrait de les avoir constamment en poche.
Pour l'abaque de tir de 75 : le principe est excellent, mais il existe des erreurs pour certaines distances.	Agrandir l'échelle.
Certains nomogrammes offrent peu d'intérêt pour les canons de modèles anciens.	

TABLEAU 4.2 – Inconvénients et améliorations relatifs à l'utilisation d'abaques au front

Première Guerre. En homme pointilleux, il n'hésite pas à corriger lui-même la lettre de Herr à son avantage comme le montre l'extrait de la figure 4.44¹⁴⁴. Il réussira finalement à entrer à l'Académie des sciences, recommandé également par Painlevé, le 30 janvier 1922, à l'âge de 60 ans. Ces travaux au bureau nomographique auront certainement contribué à cette élection.

4.3 Conclusion

Pour conclure, nous nous apercevons, à partir de l'échantillon d'abaques proposés dans la première section, que de nombreux domaines nécessitant des cal-

144. Commandant HERR (2 déc. 1921). *Addition à la notice sur les travaux de M. d'Ocagne, lettre adressée par le général Herr à monsieur le général Bourgeois, membre de l'Académie des sciences*. Trois lettres.

Je n'ai pas été déçu dans mon espoir et j'ai constaté plus tard, comme Inspecteur Général de l'Artillerie, que ces ~~abaques~~^{nomogrammes} rendaient les plus grands services. Le Colonel d'Ocagne et ses disciples (car il avait fait école) avaient contribué dans une large mesure à développer l'instan-tanéité des effets du tir. Une part des succès incontestés de l'artillerie était due à la géométrie. Ils réclamaient pour elle une récompense qui lui est encore due.

Je serais heureux si mon témoignage pouvait être retenu en faveur de la candidature de M. d'Ocagne.

Souligner si possible le passage ici souligné en rouge

FIGURE 4.44 – Brouillon de la lettre adressée par Herr à Bourgeois, corrigée par d'Ocagne (1921). Source : ENPC

culs ont eu des représentations sous la forme de nomogrammes. Bien d'autres nomogrammes existent, certains étant de sujet original, plus anecdotique : par exemple l'abaque de la formule de jauge de l'union des yachts français, de l'ingénieur des ponts et chaussées A. Chancel¹⁴⁵ ; l'abaque d'arpentage proposé par le professeur autrichien W. Laska¹⁴⁶, ou encore l'abaque sur les primes aux bonnes pesées pour le paquetage des scaferlatis¹⁴⁷ de l'ingénieur André Provost.

Nous remarquons au travers de ce panorama que la circulation de la nomographie s'est faite au sein même des différents thèmes abordés, par des auteurs différents, mais ayant connaissance du travail de leurs contemporains. Nous pouvons établir quelques phénomènes, quelques hypothèses du développement nomographique en fonction des domaines : concernant les chemins de fer, l'amorce par les problèmes liés aux déblais et remblais a fourni à la nomographie une réelle raison d'exister afin de simplifier les tableaux graphiques présents jusque là. Son utilisation pour des aspects mécaniques et sécuritaires des trains est également avérée, sans toutefois qu'il soit fait un lien entre ces deux sous-catégories : en effet, les auteurs sont peu nombreux à publier à la fois des nomogrammes pour le terrassement et pour le fonctionnement des chemins de fer. Ceux qui le font sont ceux qui,

145. A. CHANCEL (1894a). *Étude et graphique de la formule de jauge*.

146. W. LASKA (1905). « Zur anwendung der nomographie in der vermessungskunde ». *Zeitschrift für Vermessungswesen*. 35.

147. André PROVOST (1930a). « Note sur les primes aux bonnes pesées pour le paquetage des scaferlatis ». *Mémorial des manufactures de l'état*. 6, p. 423-455.

adeptes de la nomographie, en font un outil de calcul universel, et montrent que de nombreux calculs peuvent se résoudre à l'aide d'un nomogramme. D'autres, par contre, utilisent les abaques comme réponse à leur solution, particulière.

La navigation, quant à elle, semble plutôt favorable à des nomogrammes à courbes cotées. Une raison à cela peut résider dans le fait que l'art de la navigation est une science qui, de tout temps, a inspiré les scientifiques, et que les premières recherches ce sont faites avant l'avènement de la nomographie.

Quant à la balistique, la nomographie se retrouve essentiellement dans la préparation des tirs. Notre étude de cas a en effet révélé que, dans les années 1916-1918, la construction d'abaques de tir par le bureau nomographique dirigé par d'Ocagne avait permis d'énormes progrès en termes de rapidité et de précision des calculs. Ces tables graphiques, qui facilitent les corrections nécessaires à la préparation des tirs, sont d'un avantage indéniable par rapport à d'autres outils comme les tables numériques, utilisées également, mais dont l'interprétation est longue et malaisée. Les nombreuses lettres qui arrivent du front témoignent de l'intérêt porté à cette technique. Toutefois, il reste quelques inconvénients à revoir, car beaucoup d'artilleurs ne sont pas prêts à changer de méthode et la priorité doit être donnée à la formation des artilleurs directement sur le front. De façon générale, la période de la Grande Guerre a favorisé des avancées dans le domaine des sciences en général, des mathématiques appliquées en particulier. La nomographie, qui a permis d'améliorer l'utilisation des armes de tir, en fournit un exemple significatif.

Le domaine des énergies est particulier : c'est en effet une thématique récente pour l'époque, basée sur de nombreuses formules, très fréquemment construites de manière empirique. Nous avons pu observer que la difficulté ici n'était pas de créer des nomogrammes à partir de ces formules, mais plutôt de trouver la formule adéquate qui puisse rendre l'abaque utile. Nous constatons également une séparation entre les auteurs des formules et ceux qui établissent des nomogrammes. Contrairement à la navigation, nous avons davantage d'abaques à points alignés et à échelles rectilignes, ce qui les rend plus « purs » et lisibles. Quelques auteurs semblent se confronter à une course à celui qui dessinera l'abaque le plus efficient. Cette concurrence est intéressante puisqu'elle apporte une diversité de représentations pour une même formule.

L'étude faite pour les abaques ayant trait à la résistance des matériaux en fait ressortir une utilisation plus académique : il est probable que les méthodes nomographiques (dans leur utilisation) soient dispensées dans les Écoles, à l'image

du *Cours de route* de Baes, ou qu'elles soient enseignées aux techniciens.

Enfin, la médecine est le domaine qui paraît avoir le plus duré dans le temps : outre les nomogrammes pour les grandes constantes médicales, d'autres ont été utilisés il n'y a pas si longtemps, notamment chez les pharmaciens pour les préparations médicamenteuses ou pour adapter une posologie. On en trouve également pour la médecine légiste, à l'image de l'utilisation du nomogramme de datation post-mortem créé par Claus Henssge en 1988¹⁴⁸.

Nul doute que tous ces graphiques ont pu rendre service à de nombreux techniciens, ingénieurs, banquiers, médecins...

Cependant, cette étude reste assez partielle et porte uniquement sur les archives que d'Ocagne a bien voulu déposer à l'ENPC et il n'existe pas, à ma connaissance, de mémento des nomogrammes utilisés en France et à l'étranger afin de faire une étude plus poussée. Notons tout de même que dans son livre *An index of nomograms*¹⁴⁹, le professeur américain Douglas P. Adams a effectué un tel recensement parmi les journaux techniques américains qui a donné lieu à 1 755 références, classées selon 21 catégories. Il reste qu'une donnée est difficilement quantifiable : quelle a été, à cette époque, la part d'utilisation dans les calculs des divers outils tels que la règle à calcul, les instruments et les nomogrammes, ou plus globalement le calcul graphique ? Cette question est difficile à évaluer et nous observons dans l'introduction de certains articles ou recueils la nécessité d'essayer de se justifier et de convaincre son auditoire de l'utilité, de la praticité ou encore de la simplicité à préférer les abaques à d'autres techniques de calcul.

Il reste néanmoins que, pour qu'une science soit connue et utilisée, elle nécessite d'être diffusée. Cela peut se faire à travers des cours ou des livres, mais aussi par des revues. Cette thématique fera l'objet de notre prochain chapitre, traitant de sa circulation dans les journaux.

148. Claus HENSSGE (1988). « Death time estimation in case work. I. The rectal temperature time of death nomogram ». *Forensic Science International*. 38, p. 209-236.

149. Douglas P. ADAMS (1950). *An index of nomograms*. Chapman & Hall.

La circulation de la nomographie dans les journaux

Sommaire du présent chapitre

5.1 Étude des journaux du fonds d’Ocagne	196
5.1.1 Étude statistique des thèmes abordés dans les journaux	198
5.1.2 Étude des journaux	202
5.1.3 Langues, pays et auteurs	207
5.2 Étude de cas : circulation d’un article sur la trigonométrie sphérique	220
5.2.1 Le triangle sphérique	220
5.2.2 Les nomogrammes du triangle sphérique de d’Ocagne	222
5.2.3 Et ailleurs...	228
5.3 Conclusion	230

Nous nous intéressons dans ce chapitre à la manière dont semble circuler la nomographie dans les journaux de la période 1870-1940, toujours au travers du prisme des archives de l’ENPC. Encore une fois, cela ne constitue en aucune sorte une étude exhaustive des journaux publiant de la nomographie puisque nous nous référerons uniquement aux articles de journaux que d’Ocagne a pu rassembler, souvent envoyés par leurs auteurs. Nous resterons donc dans la communauté des publiants en rapport avec d’Ocagne, et nous nous aiderons de sa correspondance lorsque celle-ci est éclairante vis-à-vis de la situation rencontrée.

Ce thème s'inscrit également dans le projet ANR Cirmath¹. L'objectif de ce projet (2014-2019) a été « d'étudier sur le temps long et dans des aires géographiques diversifiées, réunissant les principaux pays dans lesquels on peut repérer une activité mathématique significative, la circulation des mathématiques dans et entre différents territoires, mais aussi dans et entre divers milieux (académiques, enseignants, ingénieurs, militaires, amateurs...). Les principales sources de ce projet d'histoire des mathématiques sont les périodiques mathématiques entendus dans un sens large, incluant tant les journaux spécialisés en mathématiques que des revues publiant régulièrement des mathématiques, ce qui conduit à un corpus d'environ 2000 références². » C'est dans ce sens que la présente étude, portant sur les articles de journaux récoltés par un auteur particulier sur un sujet donné pendant une soixantaine d'années, constitue une contribution personnelle au projet Cirmath.

La première partie de ce chapitre s'intéressera à une étude statistique des articles issus de journaux du fonds d'Ocagne à l'ENPC : quels sont les domaines qui y sont abordés, les différents types de journaux dans lesquels on peut trouver de la nomographie, est-ce significatif par rapport au projet Cirmath, dans quels pays et en quelles langues circule la nomographie, et surtout, y a-t-il des auteurs récurrents dans chacun des pays.

Dans une seconde partie, nous développerons notre habituelle étude de cas : elle concernera, cette fois, la circulation particulière d'articles tournant autour du triangle sphérique, que nous retrouvons de manière substantielle dans les archives.

5.1 Étude des journaux du fonds d'Ocagne

Parmi les 506 documents retrouvés dans les archives de l'ENPC, 350 sont des articles de journaux récoltés par d'Ocagne : une bonne partie de ces articles semblent provenir des auteurs eux-mêmes qui, connaissant les travaux de d'Ocagne et, le considérant comme un spécialiste en la matière, lui ont envoyé des tirés à part ou des extraits de leurs articles comme en témoignent certaines lettres reçues par d'Ocagne. C'est le cas, par exemple, de l'ingénieur roumain et professeur

1. CIRMATH, *circulation des mathématiques dans et par les journaux : histoire, territoires et publics* (2020). URL : <http://CIRMATH.hypotheses.org/> (visité le 13/08/2020).

2. « Cirmath, circulation des mathématiques dans et par les journaux : histoire, territoires et publics » (2019). Compte rendu de fin de projet, p. 3.

de travaux graphiques à l'École des ponts et chaussées de Bucarest J. Jonesco, qui lui fait part en 1908 de sa volonté à contribuer à l'expansion de sa bibliothèque en lui envoyant une lettre d'explication³ (voir fig. 5.1), ainsi que des articles publiés

Monsieur,

Je me rappelle qu'au treizième Congrès des Mathématiciens, à Rome, vous avez dit que vous aviez réuni dans une bibliothèque un grand nombre d'ouvrages sur la nomographie et que vous cherchiez à compléter cette bibliothèque. En conséquence je vous prie de vouloir recevoir une brochure que je vous ai expédiée aujourd'hui et que j'ai publiée en 1900. Elle contient les articles que j'ai écrits en 1899 et 1900 dans le "Bulletin de la Société polytechnique de Roumanie" pour mettre les ingénieurs au courant des méthodes exposées dans votre admirable ouvrage de 1899.

FIGURE 5.1 – Lettre de Jonesco à d'Ocagne datée du 1^{er} mai 1908 et envoyée depuis Bucarest

dans le *Buletinul societătei politehnic* en 1899 et 1900, soit une dizaine d'années auparavant.

Dès le début de sa lettre, écrite en français, Jonesco explique pourquoi il se permet de lui envoyer ses articles : d'Ocagne tente de réunir un maximum de documents nomographiques et ainsi semble compter sur les personnes qu'il a côtoyées, ou qui le connaissent, ne serait-ce que par le nom, pour l'aider dans cet objectif.

3. J. JONESCO (1^{er} mai 1908). *Don d'articles publiés dans le Bulletin de la Société polytechnique de Roumanie*. Une lettre.

Les éléments ayant été écartés de cette étude sont d'ordres divers : des listes d'articles ou de noms de personnes à qui il a envoyé un livre ou un article, des programmes de conférences, des manuscrits de conférences, des publicités pour des ouvrages ou des instruments, des cours, des notes et essais manuscrits ou dactylographiés mais pas encore publiés, des fascicules vendus à la pièce, des rapports, des notes confidentielles des armées... Je n'ai pas non plus inclus dans cette sous-base les articles parus dans les journaux qui ont trait aux instruments de calcul car ils ne concernent pas directement la nomographie. Finalement, après ce tri, il nous reste 350 articles constituant plus de 4 000 pages, issus de 155 journaux, provenant de 25 pays et écrits dans 15 langues par 133 auteurs.

5.1.1 Étude statistique des thèmes abordés dans les journaux

Les catégories étudiées dans le chapitre précédent (terrassment et chemins de fer, navigation navale et astronomique, balistique, énergies, résistance des matériaux (RDM), économie et médecine) font évidemment partie des thèmes choisis ici puisque nombre de ces articles ont été publiés à travers les journaux. Nous y ajoutons trois catégories : les articles concernant l'histoire de la nomographie dans son sens large (donc y compris le calcul graphique), ceux qui ont trait à l'enseignement, et enfin ceux qui portent sur la nomographie en général, c'est-à-dire son étude mathématique, qu'elle soit globale ou au travers de points particuliers. Le diagramme en bâtons 5.2 modélise quelques éléments numériques de ces neuf domaines en prenant en compte les valeurs suivantes pour chacun d'eux : le nombre d'articles publiés ainsi que le nombre de journaux différents d'une part, et le nombre de pages d'autre part. Il me paraissait en effet intéressant de distinguer les valeurs du nombre d'articles de celles du nombre de journaux afin d'étudier plus finement, toujours par le prisme des archives récoltées par d'Ocagne, si certains journaux se détachaient du lot ou si les articles apparaissaient de manière plus inégale dans les différents journaux, sans qu'ils en soient devenu une spécialité. Le nombre de pages, quant à lui, matérialise en quelque sorte la « place » prise par ces articles et il est intéressant d'observer si des domaines en particulier sont plutôt propices à des articles courts ou si, au contraire, ils font régulièrement l'objet d'articles plus longs.

Nous observons une hégémonie des articles sur la nomographie générale, avec un peu plus d'un tiers du corpus (130 articles). Ce sont des articles d'une douzaine de pages, qui abordent la théorie générale de la nomographie : ses principes,

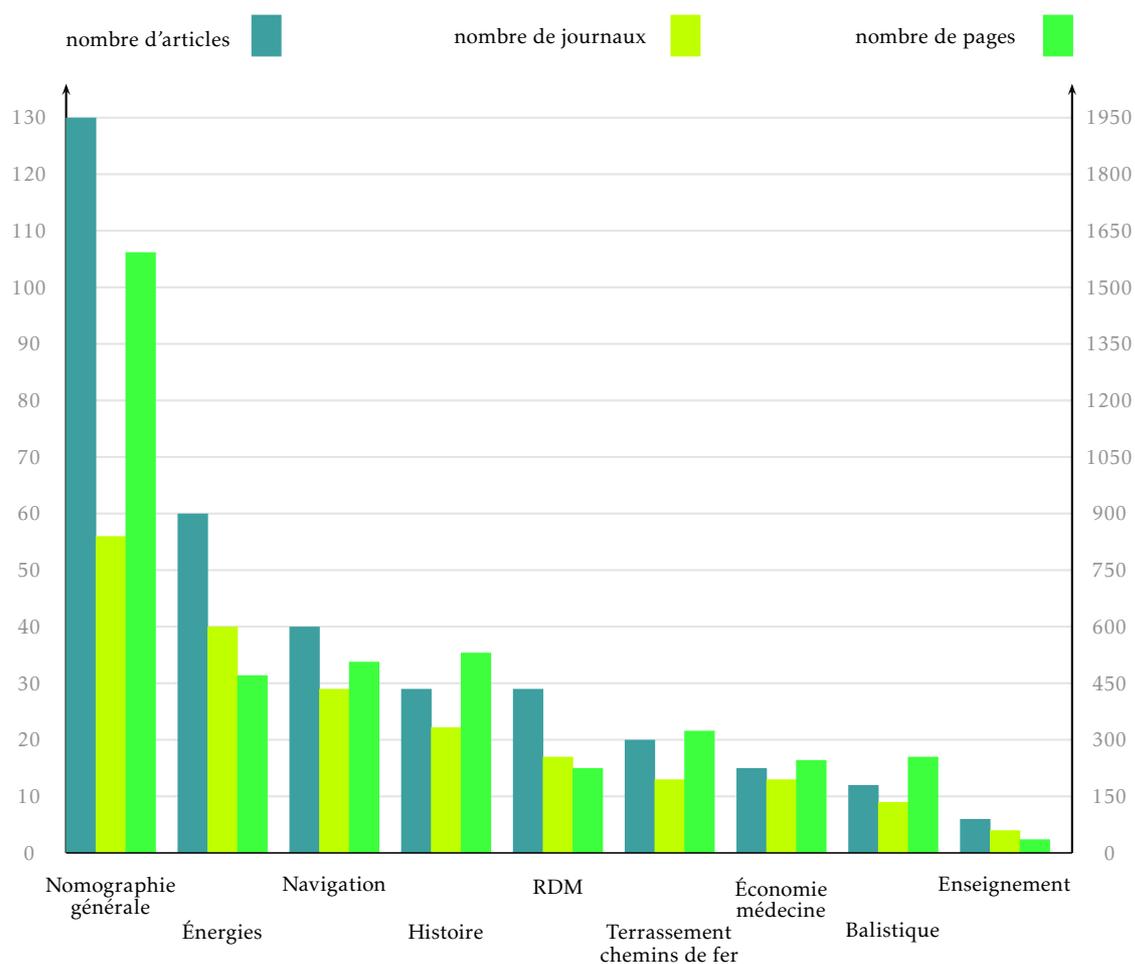


FIGURE 5.2 – Diagramme en bâtons du nombre d'articles, de journaux et de pages publiés dans les journaux de 1880 à 1938 en fonction des domaines parmi les archives de l'ENPC

la présentation de ce qui paraît être des « nouveaux types d'abaques », ou encore l'étude succincte du *Traité de nomographie* de d'Ocagne. Nous avons également un nombre important d'articles sur la résolution des équations selon leur degré, leur ordre nomographie ou le nombre de variables. Enfin, nous rencontrons des articles plus singuliers sur la construction d'abaques particuliers modélisant certaines fonctions mathématiques. Tous ces articles sont publiés dans 56 journaux distincts, soit en moyenne 2,3 articles par journal, ce qui en fait numériquement la catégorie la moins hétéroclite en terme de disparité des journaux. Toutefois, si nous faisons abstraction des *Comptes rendus de l'Académie des sciences* (CRAS) qui totalisent à eux seuls 30 articles et le *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik* (ZAMM), 14 articles, cette moyenne descend à 1,6, ce qui correspond

quasiment à la moyenne.

Le domaine suivant concerne les énergies avec 61 articles et 48 journaux : l'eau et ses états (gazeux et liquide) sont largement étudiés, la thermodynamique ainsi que son transport par canaux et conduites. Les transformations chimiques figurent en bonne place, ainsi que des abaques relatifs au transport de l'électricité. Les articles dans ce domaine sont plutôt courts : en moyenne huit pages par article, ils sont couramment constitués de la présentation d'une formule, puis de la construction et de l'utilisation du nomogramme relatif à cette formule.

En troisième place viennent les articles de navigation (48 pour 29 journaux), qu'elle soit nautique, aérienne ou astronomique. Leur dénominateur commun est, pour la plus grande majorité d'entre eux, le calcul d'une position en rapport avec le triangle sphérique. La circulation d'une partie de ces articles, ceux concernant la résolution du triangle sphérique, fera l'objet d'une étude de cas au prochain chapitre.

Les articles concernant l'histoire de la nomographie, ses origines et la classification des procédés de calcul graphique sont généralement des articles plus longs, ce qui est tout à fait normal compte tenu de leur teneur. L'auteur récurrent est d'Ocagne pour presque la moitié des articles.

La résistance des matériaux offre des articles relativement courts. En effet, tout comme pour les énergies, ils se concentrent sur des aspects techniques particuliers basés sur une formule. Comme nous l'avons déjà vu dans le chapitre 4, l'étude du béton armé comme nouveau matériau, plus fiable pour les constructions civiles et personnelles, est courant pour cette époque et les nomogrammes offrent un moyen de calcul supplémentaire.

Les journaux traitant de terrassement et de chemins de fer sont au nombre de 13 pour 22 articles, il sont moins nombreux que ceux étudiés dans le cas général des documents de ce domaine (voir chapitre 4.1.1). Nous pouvons donner à cela deux explications : la première est purement technique, quelques documents n'ont pas pu être bien identifiés et le journal les ayant publiés reste inconnu. La seconde est structurelle puisque certains de ces documents sont des mémoires ou des monographies qui n'ont pas lieu d'entrer dans notre actuelle étude des journaux.

À moins de 20 articles, nous avons l'économie et la médecine, pour lesquels il existe une diversité des journaux : en effet, mis à part trois articles parus dans le *Bulletin de l'Institut des actuaires français*, les douze articles restants ont été édités dans douze journaux différents. La balistique n'est pas très représentée dans les journaux avec douze articles seulement, ceux-ci étant néanmoins les plus longs

avec plus de vingt pages en moyenne par article. Nous pouvons remarquer toutefois que, dans le fonds d'Ocagne, il existe de bien plus nombreux articles sur la balistique, mais ceux-ci n'ont pas été publiés dans des revues, la plupart du temps parce qu'il s'agissait de documents officiels, ou de documents techniques donnés aux armées. Enfin, quelques courts articles concernent l'enseignement de la nomographie et sa nécessité d'être reconnue comme une matière légitime.

Le diagramme 5.3 nous en apprend davantage sur les périodes de publication de ces articles dans les journaux de 1880 à 1938. Sans grande surprise, la

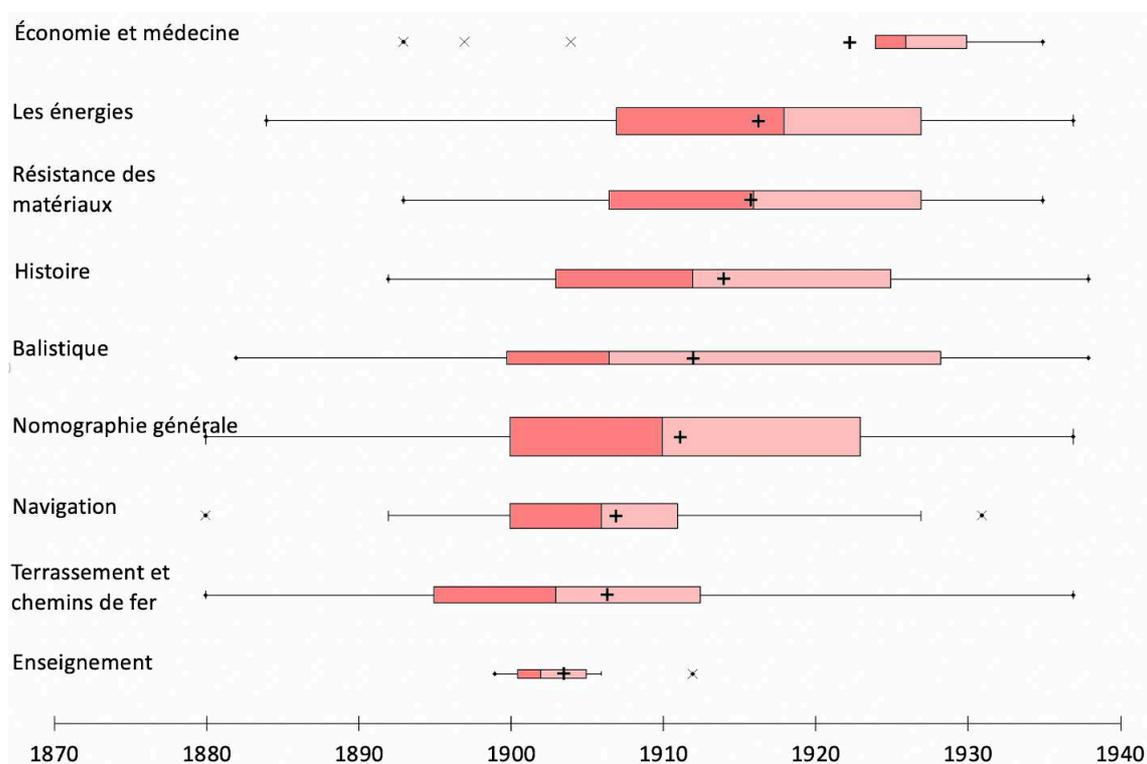


FIGURE 5.3 – Diagramme de Tuckey des articles de nomographie publiés dans les journaux de 1880 à 1938 en fonction des domaines parmi les archives de l'ENPC

répartition suit peu ou prou celle de l'étude des domaines étudiés au chapitre 4. Sans rentrer dans l'étude précise de ce diagramme, quelques faits marquants nous éclairent sur la chronologie des publications : nous constatons par exemple que les articles vantant l'enseignement sont publiés sur une période relativement courte au tout début du 20^e siècle, à un moment où la nomographie prend réellement son essor et qu'il faut donc former des étudiants à cette science. Quatre thèmes semblent avoir traversé la période avec des articles réguliers : il s'agit des énergies, de la balistique, du terrassement et des chemins de fer, et bien sûr de la nomographie générale. Ce n'est pas surprenant puisque trois d'entre eux sont

des thèmes d'actualité de l'époque : la balistique en rapport avec les différentes guerres ayant eu lieu pendant la Troisième République (en particulier la guerre franco-prussienne de 1870-1871, puis la Grande Guerre de 1914-1918); les énergies, le terrassement et les chemins de fer, en lien avec la nécessité sans cesse croissante de créer des réseaux de transport des hommes ou des énergies. Enfin, nous observons le venue tardive des articles d'économie et de médecine malgré quelques articles perlés plus précoces.

5.1.2 Étude des journaux

Nous utilisons depuis le début de ce chapitre le mot « journaux » ou « revues » qui sont à prendre dans leur sens large : en effet, le journal présente en général des événements qui ont lieu dans une journée, tandis que la revue est un périodique spécialisé dans un domaine. Nous aurions peut-être pu appeler cette catégorie « publications périodiques » afin d'en montrer le caractère général. Les journaux cités ici correspondent donc à un grand panel de périodiques : les journaux et revues (par exemple le *Journal of Internal Medicine* ou la *Revue générale de l'électricité*), les annales, qui exposent des événements par année de manière chronologique (les *Annales hydrographiques*), les bulletins, publications spécialisées relativement brèves qui servent de liaison entre des membres d'une association, d'une administration, d'une société... (*Bollettino della Societa meteorologica italiana*), et les mémoires et compte rendus de séances ou de congrès (*CRAS, Memorie della Società degli spettroscopisti italiani*).

Les journaux de cette section ont été regroupés selon trois grandes catégories suivant la classification utilisée dans CirmathData, la base de données du corpus des journaux mathématiques liée au projet Cirmath :

- les journaux « spécialisés » désignent les périodiques publiant uniquement des mathématiques ;
- les journaux « scientifiques et techniques » recouvrent les périodiques qui, tout en abordant les sciences mathématiques, portent sur un ou plusieurs champs scientifiques autres (sciences physiques, sciences de l'ingénieur, sciences militaires...);
- les journaux « généralistes » renvoient aux périodiques ayant un contenu encyclopédique et abordant les sciences mathématiques parmi d'autres thématiques (littéraires, historiques, politiques...).

Le tableau 5.1 montre la répartition selon ces catégories des journaux trouvés

dans le corpus de l'ENPC ainsi que ceux de la base de données CirmathData, et enfin la répartition des articles dans ces journaux. Un rapide comparatif des

	Spécialisés	Scientifiques techniques	Généralistes	Total
Journaux de la base d'Ocagne	22 14%	119 77%	14 9%	155
Journaux de la base Cirmath	315 17%	1017 56%	476 26%	1808
Articles de la base d'Ocagne	50 14%	276 79%	24 7%	350

TABLEAU 5.1 – Classement des journaux selon les catégories utilisées par Cirmath

deux bases nous montre que la proportion des journaux scientifiques et techniques est nettement plus élevée dans la base d'Ocagne, au détriment des journaux généralistes. Ce constat est assez logique puisque la nomographie est un domaine finalement assez particulier qui n'intéresse peut-être pas les journaux généralistes, ou qui n'est peut-être pas bien connue de ceux-ci. En revanche, de nombreuses revues techniques peuvent s'en emparer. D'un autre côté, nous nous apercevons que la proportion d'articles parus dans les journaux spécialisés est assez proche dans les deux bases. Une raison à cela pourrait être due au fait que certains auteurs (dont d'Ocagne) ont des entrées pour publier dans ces revues, favorisant ainsi une publication plus régulière, et par conséquent plus nombreuse. Enfin, nous constatons que le nombre d'articles est quasiment proportionnel au nombre de journaux. Par conséquent, la suite de l'étude portera uniquement sur le nombre de journaux.

Les journaux spécialisés

Parmi les revues qui ont reçu plusieurs articles, nous retrouvons dans les journaux spécialisés des revues mathématiques classiques comme le *Bulletin de la Société mathématique de France*, le *Bulletin des sciences mathématiques*, les *Nouvelles annales de mathématiques* ou le *Zeitschrift für Mathematik und Physik* en Allemagne; des revues axées sur l'enseignement : *l'Enseignement mathématique* (EM) en Suisse et en France, le *Periodico di matematica per l'insegnamento secondario* en Italie, et des comptes rendus de congrès internationaux de mathéma-

tiques. Sur les quinze revues restantes, ayant publié un ou deux articles seulement, treize sont étrangères (dont six pays nouveaux en plus des trois déjà cités), ce qui montre que la nomographie s'exporte dans les journaux spécialisés, même s'il faut être vigilant sur la conclusion à apporter à un sous-corpus de faible effectif. Sans surprise, la plupart des articles de ce thème concernent la nomographie en général (32 sur 50), l'histoire (sept articles) et l'enseignement (six articles). Nous y trouvons tout de même trois articles sur la navigation, un sur la résistance des matériaux et un sur les énergies. Enfin, comme nous l'avons déjà évoqué dans l'introduction, la proportion de publications dans des journaux spécialisés est fortement impactée par d'Ocagne puisqu'il totalise à lui seul près de la moitié des articles dans cette catégorie.

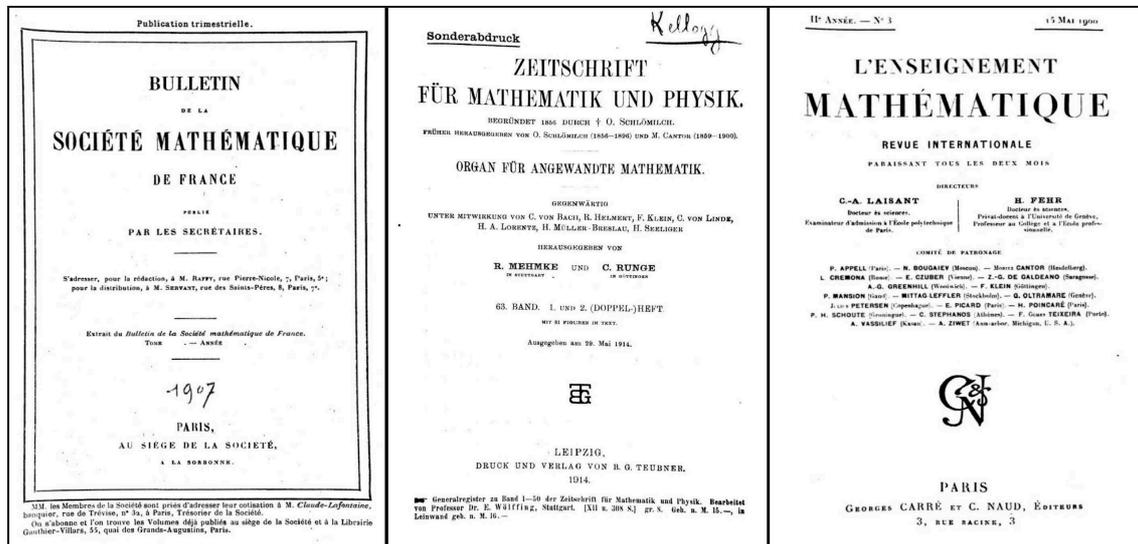


FIGURE 5.4 – Trio de tête des revues spécialisées qui publient de la nomographie : une revue française, une allemande et une internationale (franco-suisse). Source : ENPC

Journaux scientifiques et techniques

Cette section est vaste et gagnerait à être détaillée dans le cadre des archives nomographiques de d'Ocagne : elle comporte en effet des journaux « classiques » scientifiques comme les CRAS ou le *Sitzungsberichten der Akademie der Wissenschaften in Wien* en Autriche ; des journaux techniques d'ingénieurs, d'industriels, d'architectes... admettant des mathématiques comme par exemple *Le génie civil* (GC) qui contient toutes sortes d'articles dans de nombreux domaines, y compris des articles de mathématiques et des articles d'application des mathématiques ou

la *Czasopismo Techniczne* en Pologne. Des journaux militaires font également partie de ce corpus : le *Journal d'artillerie* ou la *Revue des troupes coloniales* en France, le *Manuale del tiro* en Italie. Enfin, de manière plus confidentielle, nous disposons de quelques journaux davantage orientés « grand public » proposant des mathématiques principalement sous la forme d'applications ; c'est le cas du journal *La nature*, de l'*Aérophile* ou de *Ice and Refrigeration* à Chicago.

Le tableau 5.2 donne la répartition des articles dans ces journaux dans la base de l'ENPC. Par exemple, nous pouvons voir que d'Ocagne a pu récolter 42 ar-

Nombre d'articles	42	15	11	9	7	6	5	4	3	2	1
Nombre de journaux	1	1	1	1	1	2	3	7	9	17	76

TABLEAU 5.2 – Nombre de journaux en fonction du nombre d'articles récoltés dans la catégorie sciences et techniques

ticles d'un même journal, et qu'à l'opposé, pour 76 journaux de sa collection, il semble n'avoir recueilli qu'un seul article. La revue qui remporte indéniablement le record d'articles publiés est les CRAS avec 42 articles répartis de manière homogène entre 1893 et 1936. Remarquons tout de même que la quasi-totalité des auteurs sont les personnages emblématiques ayant promu la nomographie : un article de Lallemand, un de Massau, six de Soreau, 25 de d'Ocagne et quatre de son disciple Boulad. La revue qui arrive en deuxième position est une revue allemande : ZAMM que l'on peut traduire par *Revue de mathématiques appliquées et de mécanique*. Ses quinze articles sont publiés plus tardivement, sur la période 1920-1930, et concernent tous la nomographie générale à l'exception d'un article d'économie. Les principaux auteurs sont Luckey, qui publie sur la construction des nomogrammes en tant que nouvelle méthode et Alexander Fischer. La troisième revue la plus représentée est les *Annales des ponts et chaussées* (onze écrits dont la moitié de d'Ocagne). Les articles traitent principalement du génie civil, de la résistance des matériaux et du terrassement.

Sur la fin du 19^e siècle, Pesci publie neuf articles dans la *Rivista marittima* (RM), logiquement en lien avec la cinématique navale et la navigation à l'aide des astres, mais aussi en balistique. La revue suivante, le GC, est représentée par sept articles. Cependant, il est intéressant d'observer quelques particularités : les articles qui y sont publiés ne semblent pas corrélés comme le sont souvent les articles des revues précédentes. Les thèmes abordés sont très divers et originaux comme le calcul pour les conduites de gaz, le calcul des ressorts hélicoïdaux cy-

lindriques ou le jaugeage des tonneaux. Les auteurs sont tous uniques et même s'ils écrivent en français, certains sont des auteurs étrangers comme l'autrichien Fritz Krull et l'italien Pesci. Enfin, deux revues totalisent six articles chacune : la revue *Machinenbau* qui publie des notes concernant essentiellement le transport de la vapeur d'eau entre 1924 et 1930, et les *Comptes rendus de l'Association française pour l'avancement des sciences* qui comptabilisent pour moitié des articles de nomographie générale (Boulad et d'Ocagne), et pour moitié des applications à la navigation et à l'histoire.

Pour le reste des revues, nous disposons de cinq articles ou moins. Il faut toutefois être vigilant quant aux conclusions pour ces journaux puisqu'il s'agit, pour 45 d'entre eux, de journaux étrangers, et le nombre d'articles récupérés par d'Ocagne de ces journaux n'est donc pas forcément exhaustif. Nous y retrouvons d'ailleurs 14 bulletins de sociétés savantes ou d'associations ayant publié un article de nomographie sur un thème précis sans que le journal soit spécialisé : le *Bulletin officiel de la Société technique de l'acétylène*, le *Bulletin officiel de la Société française d'électrothérapie et de radiologie*, le *Bulletin des ingénieurs et des architectes*, le *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, le *Bulletin de l'Association des actuaires suisses*...

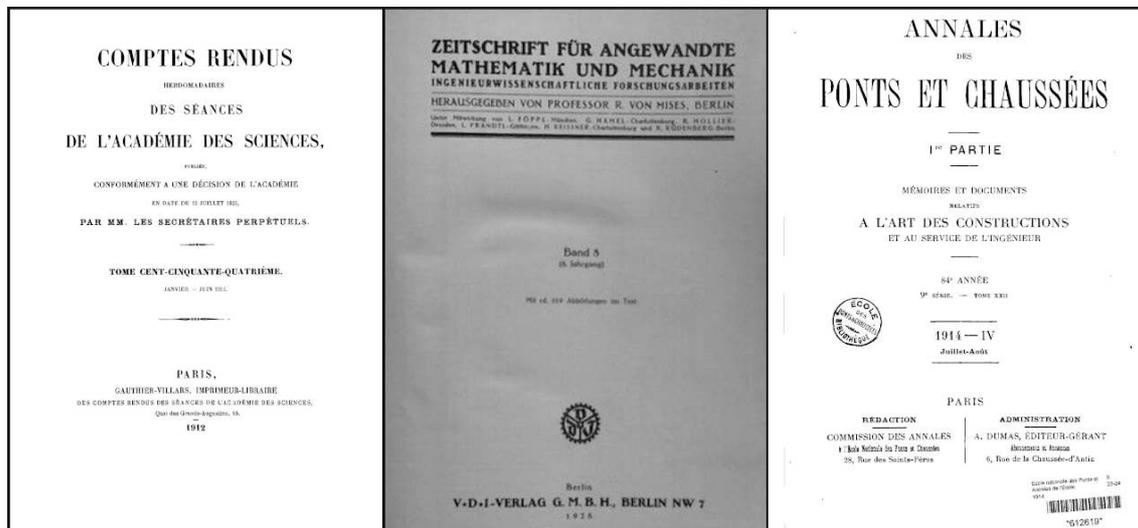


FIGURE 5.5 – Trio de tête des revues scientifiques et techniques qui publient de la nomographie : deux revues françaises et une allemande. Source : Gallica.bnf.fr

Les journaux généralistes

Les journaux généralistes représentent une faible part de notre étude - moins de 10 % - et seuls deux d'entre eux se démarquent légèrement par leur nombre d'articles : il s'agit du *Journal général de l'Algérie et de la Tunisie* (JGAT) et du *Larousse mensuel illustré*. Ce constat est toutefois biaisé puisque, pour ces deux journaux, un seul auteur est à l'origine des publications : Millot pour le premier (1912-1913) et d'Ocagne pour le second (1937-1938).

Nous trouvons ensuite par exemple des journaux économiques comme le *Barometro economico*, ou le *Het Verzekerings-archief*, un journal sur les découvertes et la culture égyptiennes : le *Bulletin de l'Institut égyptien*, un journal militaire : le *Bulletin mensuel des officiers de réserve d'artillerie de la région de Paris*, un quotidien : *Les échos de Paris*, une revue de géographie : *Die Zeitschrift Petermanns Geographische Mitteilungen*, ou encore un journal mensuel pour les amateurs de TSF : *La radio*. Pour ce dernier, le but est clair, comme l'indique l'éditorial de la première publication, il s'agit « de faire profiter aux amateurs de l'expérience acquise par les techniciens après des années de recherches et d'essais de laboratoire et leur permettre de gagner un temps précieux en rassemblant pour eux une documentation très étudiée »⁴. Nous y observons essentiellement des applications (comme le nomogramme du calcul de l'inductance d'une bobine vu en introduction), et il n'y a que très peu de mathématiques.

5.1.3 Langues, pays et auteurs

Préoccupons-nous maintenant à ce qui ce passe en dehors de la France. Les journaux recensés sont en langue française pour près de la moitié (82) mais il est intéressant de constater que des langues comme l'allemand, l'anglais, et dans une moindre mesure l'italien, interviennent également, avec une apparition un peu plus tardive. Nous recensons en outre des journaux en langues hollandaise, espagnole, polonaise, russe, portugaise, arabe, grecque, japonaise, roumaine et suédoise. Ceci dit, le fonds d'Ocagne est composé d'articles qu'il a lui même trouvés, ou qui lui ont été envoyés par leurs auteurs, et il est donc difficile de quantifier la proportion d'articles effectivement parus en fonction de l'éloignement du pays, de la renommée de d'Ocagne dans ce pays et des techniques de communication de l'époque. Le diagramme en bâtons 5.7 donne la répartition des 77 journaux en

4. Étienne CHIRON (1926). « Présentation ». *La Radio : publication mensuelle des amateurs de TSF*. 1, p. 1.



FIGURE 5.6 – Duo de tête des revues généralistes qui publient de la nomographie : une revue algérienne, et une revue française. Source : ENPC

langue étrangère.

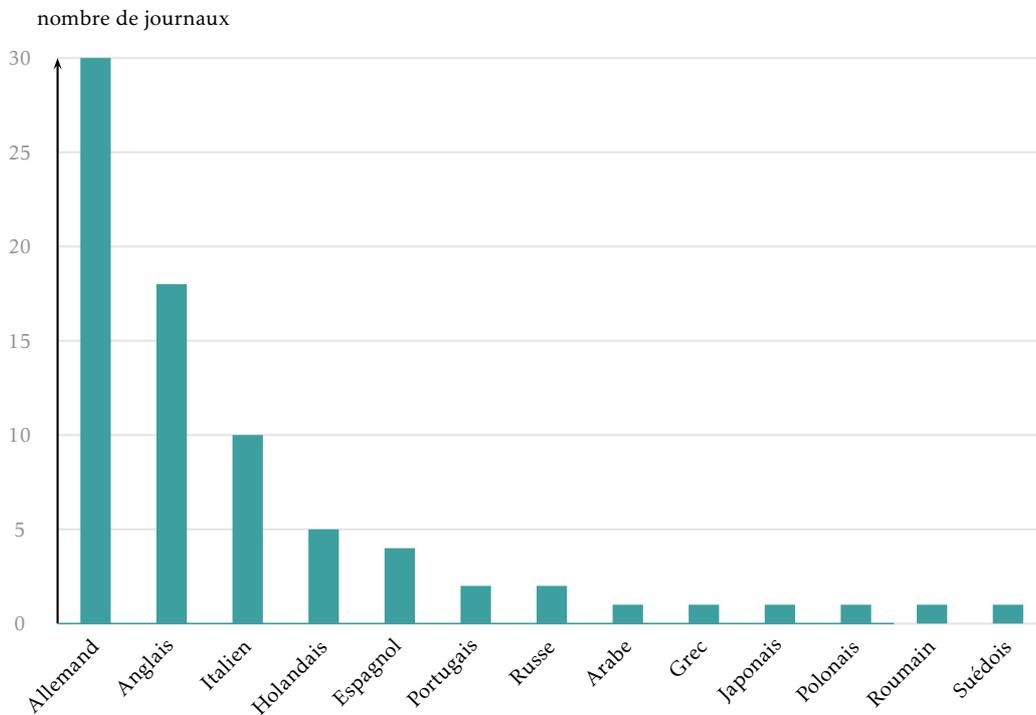


FIGURE 5.7 – Diagramme en bâtons du nombre de journaux reçus par d’Ocagne en fonction de la langue utilisée

Cependant, l'étude de la langue ne préjuge pas vraiment de la circulation entre les pays : en effet, certains auteurs français, par exemple, publient des articles en langue française dans des journaux étrangers, et inversement, des auteurs étrangers publient en France dans leur langue. Enfin, des pays comme la Belgique, la Suisse ou l'Algérie (française) communiquent en français. C'est pourquoi, pour se poser la question de la circulation de la nomographie hors de la France, il faut analyser les pays d'édition des journaux. Parmi les pays étrangers, nous avons des pays d'Europe frontaliers : Royaume-Uni, Allemagne, Italie, Espagne, Belgique, Pays-Bas, Suisse et plus éloignés : Pologne, République Tchèque, Finlande, Suède, Roumanie, Autriche, Danemark, Grèce et URSS. Hors des frontières de l'Europe, des journaux sont émis depuis des pays d'Afrique : Algérie (française), Égypte et Afrique du sud ; depuis les Amériques : Brésil, Canada, États-Unis, et enfin les pays asiatiques : Chine et Japon. Les cartes 5.8 et 5.9 montrent le nombre de journaux qui ont publié de la nomographie dans chaque pays du monde et d'Europe que nous retrouvons dans la base d'Ocagne (indépendamment du nombre d'articles).

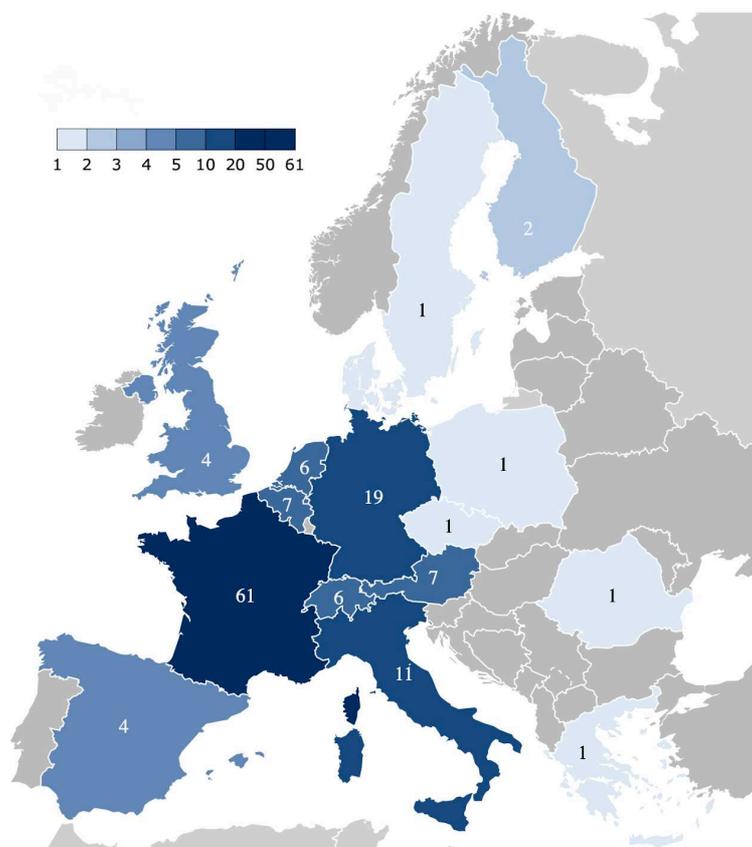


FIGURE 5.8 – Cartographie des journaux ayant publié de la nomographie en Europe

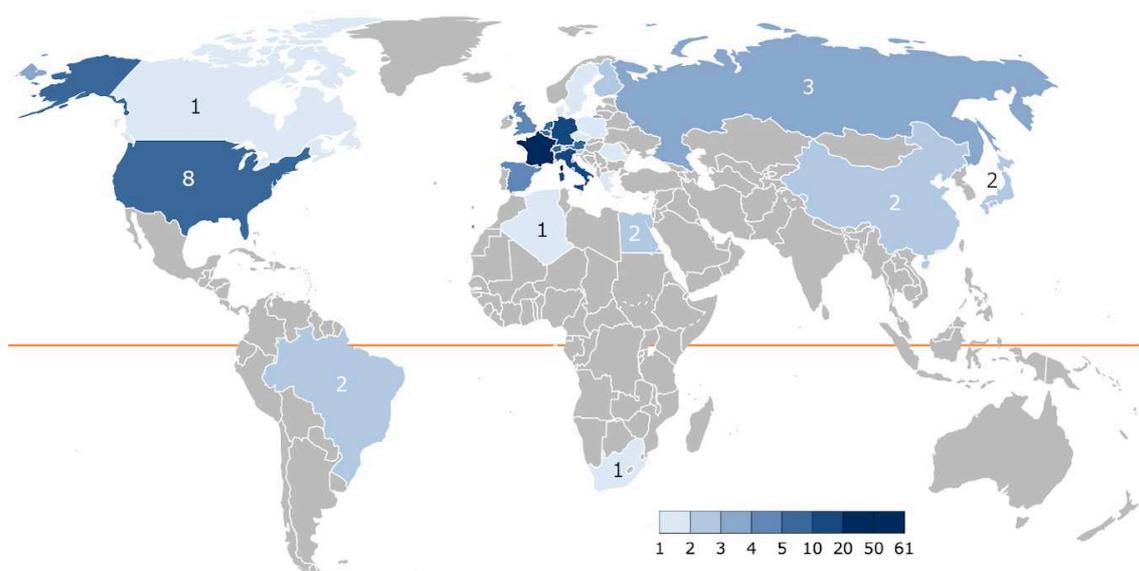


FIGURE 5.9 – Cartographie des journaux ayant publié de la nomographie dans le Monde

Globalement, nous observons que la plupart des pays d'Europe relativement proches ont publié de la nomographie mais que les pays les plus septentrionaux et orientaux semblent être plus timides en la matière. Encore une fois, la nature même du corpus étudié ne permet pas d'aboutir à des conclusions fermes : nous regardons toujours sous le prisme de ce qu'a récolté d'Ocagne, et il s'agit plus d'étudier ici la manière dont les pays étrangers ont pu entendre parler de lui (et donc lui envoyer des brochures), ou de savoir si certains auteurs sont récurrents. Il peut donc paraître assez logique, sachant cela, que les pays les plus éloignés soient sous-représentés, les réseaux de communication de l'époque étant bien moins développés qu'actuellement. Nous constatons toutefois que l'éloignement n'est pas forcément un frein à la diffusion des connaissances puisque quasiment tous les continents sont représentés. Afin de compléter ces deux cartes, et peut-être de trouver des réponses à notre analyse, nous avons modélisé par des diagrammes de Tuckey (voir fig. 5.10) la répartition chronologique des publications des journaux étrangers en prenant en compte, cette fois-ci, pour chaque pays, le nombre d'articles récoltés dans les journaux.

À partir de ces données, nous pouvons nous poser la question de la condition selon laquelle la circulation se fait d'un pays à un autre : est-elle liée au fait d'un ou plusieurs hommes, à un thème (dû à un contexte particulier), à la circulation de quelques articles en particulier... ? Dans un premier temps, j'ai fait le choix d'étudier ici essentiellement les auteurs multi-publiants dans la nomographie

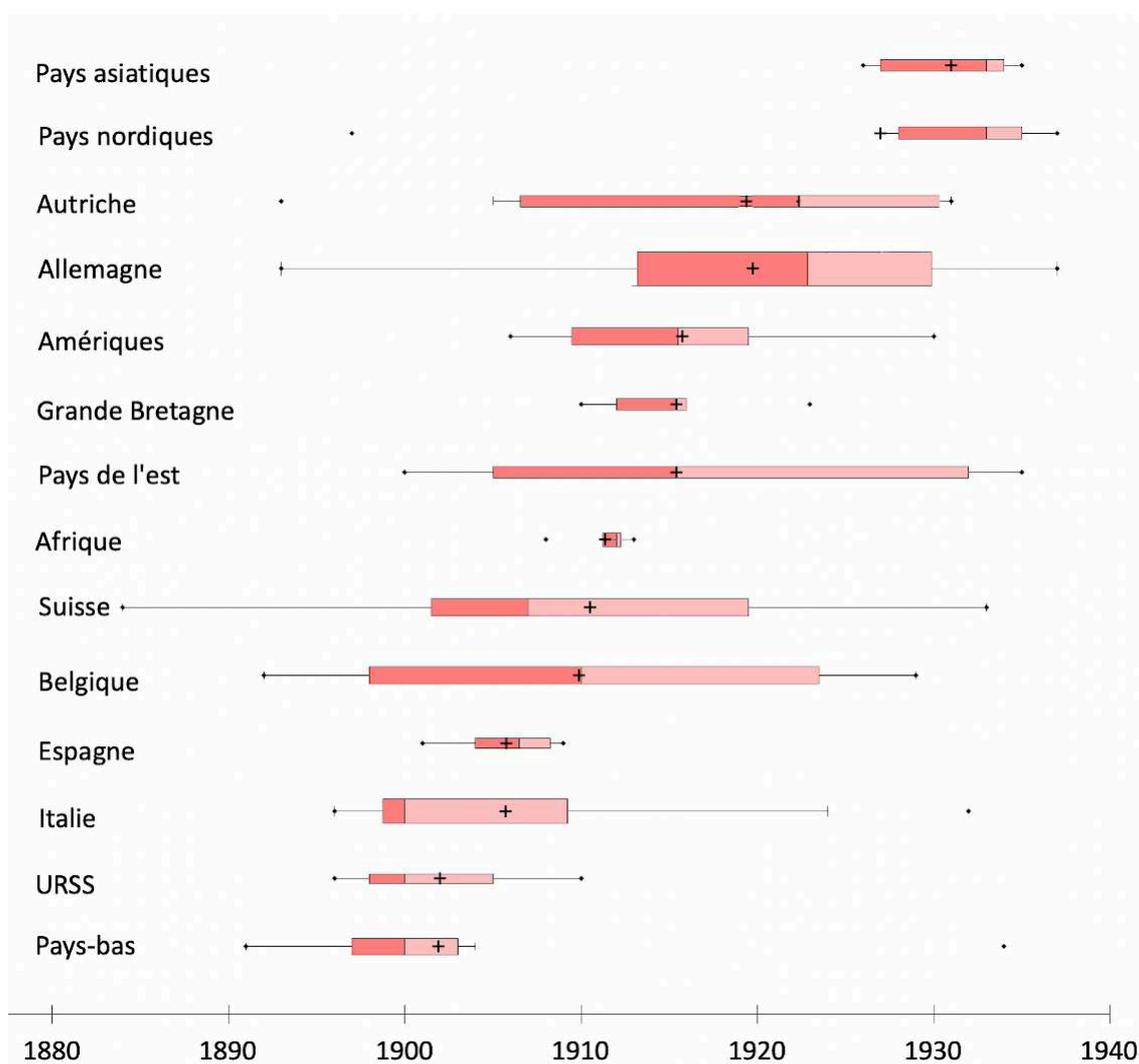


FIGURE 5.10 – Diagrammes de Tuckey des publications dans les journaux étrangers en fonction des années

pour chaque pays, notamment au travers leurs publications et éventuellement, lorsque cela a été possible, par les relations qu'ils entretenaient avec d'Ocagne grâce à la base de données des correspondances.

Revenons au début de l'époque étudiée (1880), les articles récoltés par d'Ocagne proviennent exclusivement de France pendant une dizaine d'années et concernent avant tout les généralités sur la nomographie, ainsi que le calcul des profils de travers, avec peu d'articles de d'Ocagne. C'est le début de la nomographie, l'époque où les tables graphiques se simplifient et deviennent plus faciles à utiliser. Peu à peu, quelques pays font leur apparition via un auteur qui publie généralement plusieurs d'articles d'affilée : c'est le cas de la Suisse, des Pays-Bas, de la

Belgique, de l'Allemagne et de l'Italie. Les sujets sont très diversifiés et traitent aussi bien de la nomographie générale que de ses applications aux besoins de l'époque, et l'arrivée du tome 1 du *Traité de nomographie* en 1899 correspond à une augmentation des articles dans les journaux étrangers.

Plus précisément, aux Pays-Bas, c'est principalement Vaes qui diffuse des articles pendant dix ans à partir de 1894 dans le *Marineblad* et *De ingenieur* (DI). Hormis deux articles sur le *Traité de nomographie*, il semble s'intéresser à de nombreuses applications puisque nous avons retrouvé des articles sur le terrassement, les chemins de fer, les outils de fraisage ou encore des documents comptables. Le lien avec d'Ocagne est clair : la base de données des correspondances fait état d'une dizaine de lettres de Vaes à d'Ocagne (la première datant de 1897), où il dit s'inspirer de ses livres de nomographie pour créer ses propres abaques et dans lesquelles il cite les revues où il rend compte du travail de d'Ocagne. Le 8 août 1899 par exemple, il notifie qu'il a écrit une note concernant le traité dans trois journaux différents⁵ : une revue à destination des ingénieurs, DI ; un hebdomadaire électrotechnique, *Electra* ; et enfin un magazine professionnel pour les officiers du secteur maritime *Marineblad* (voir fig. 5.11). Jusqu'en 1919 (sa dernière lettre archivée à l'ENPC), il récupère les travaux de d'Ocagne pour en parler dans les journaux de son pays, allant même jusqu'à demander à d'Ocagne de pouvoir reproduire ses clichés afin de mieux faire comprendre ses articles.

En Italie, nous constatons que Pesci est un auteur prolifique essentiellement dans le domaine de l'astronomie nautique. Il publie massivement, entre autre dans la RM en fin de 19^e siècle et au début du 20^e siècle, puis de manière plus sporadique dans le *Supplemento al periodico di matematica*, le *Bollettino della società meteorologica italiana*. . . Lui aussi communique beaucoup avec d'Ocagne (21 lettres retrouvées dans les archives) : dès 1897, il lui demande s'il peut lui fournir quelques-uns de ses travaux afin d'étoffer les publications scientifiques de sa bibliothèque⁶. Il s'inspire également des travaux de Perret sur les azimuts⁷. En 1906, il souhaite faire une incursion en Espagne et demande à d'Ocagne son approbation pour l'envoi d'une note historique à la *Revista trimestral de Matemáticas*, puis il publie au Brésil dans la *Revista Maritima Brasileira* en 1907 et 1908⁸. Il profite de cette lettre pour informer d'Ocagne des publications qu'il a déjà faites

5. Franciscus johannes VAES (8 août 1899). *Note sur le traité de nomographie dans des revues hollandaises*. Deux lettres.

6. Giuseppe PESCI (avr. 1897b). *Publication de nomographie en Italie*. Une lettre.

7. Giuseppe PESCI (1904b). *Divers : remerciements, traité italien, Azimuts de Perret*. Trois lettres.

8. Giuseppe PESCI (8 nov. 1908b). *Note historique sur les tables de Luyando*. Une lettre.

Monsieur! Rotterdam le 8 Août 1899
 Avec cette lettre j'ai l'honneur de vous envoyer
 un article que j'ai inséré dans le journal hebdom-
 naire "de l'Ingénieur".
 Le même article a paru dans le journal hebdom-
 naire électrotechnique "Electra" dans une des
 livraisons de juillet, et aussi dans le journal
 pour la marine : "Marineblad", qui paraît
 chaque mois, dans le numéro des 1^{er} Août.
 C'est une courte note, dont le but est seulement
 d'annoncer votre ouvrage. J'espère d'en faire
 un aperçu plus étendu dans le plus court
 délai que possible.
 Veuillez agréer, Monsieur, mes salutations
 respectueuses E. J. Vaes

FIGURE 5.11 – Lettre de Vaes à d'Ocagne, le 8 août 1899

en Italie, en Espagne et au Brésil (voir fig. 5.12). Par conséquent, les quelques revues espagnoles de notre base ne sont pas particulièrement caractéristiques de ce pays : en effet, hormis deux articles de Pesci et un de d'Ocagne, une seule note présentée au *Congreso científico de Zaragoza* a été publiée à propos de la gestion de l'aiguillage des chemins de fer en station.

En Belgique, on publie également assez tôt de la nomographie et de manière régulière. Cependant, les auteurs sont très variables (Baes, Dumoutier, Goedseels, Merten, Minnaert, Schoofs, Würth-Micha) mais ont, pour la plupart, un lien avec d'Ocagne, au regard des lettres associées aux articles présentes dans la base. Il en est de même pour la Suisse. Notons toutefois qu'un tiers des articles en Suisse sont issus de la revue internationale l'EM, éditée également en France et en Allemagne.

Sur le continent africain, et plus particulièrement dans le département français d'Algérie, c'est Millot qui se charge de produire des articles de nomographie dans le JGAT pendant la période où il s'occupe du port d'Alger. Millot est également en relation avec d'Ocagne comme en témoignent les 22 lettres identifiées dans la correspondance de l'ENPC, de 1908 à 1922. C'est une sorte d'autodidacte en matière de nomographie : il s'est initié à ces méthodes dans des cours autogra-

1	Sulla costruzione della curva di ricerca. — (<i>Riv. Mar.</i> , dicembre 1896).	l'anno XXX
2	Sui metodi per cambiare il rilevamento tra le navi di una formazione semplice. — (<i>Riv. Mar.</i> , marzo 1897).	l'anno XXX
3	Sul calcolo delle distanze in mare. - NOTA I. — (<i>Riv. Mar.</i> , luglio 1897).	l'anno XXX
4	Quarto contributo alla Cinematica navale. — (<i>Riv. Mar.</i> , gennaio-marzo 1898).	l'anno XXX
5	Abbaco per il calcolo della latitudine mediante un'altezza circummeridiana. — (<i>Riv. Mar.</i> , ottobre 1898).	l'anno XXX
6	Application de la Nomographie au jaugeage des tonneaux. — (<i>Le Génie civil</i> , Tome XXXV, 20 maggio 1899).	
7	Sulla risoluzione grafica di un noto problema di Tattica Navale. — (<i>Riv. Mar.</i> , agosto 1899).	l'anno XXXII
8	Cenni di Nomografia con molte applicazioni alla Balistica. (**). — (<i>Riv. Mar.</i> , agosto, novembre 1899 e febbraio 1900; e <i>Appendice al Manuale del tiro</i> del Com. Ronca, Ed. Giusti, Livorno, 1900).	anni XXXII e XXXIII
9	Applicazione della Nomografia a un problema di Geometria pratica. — (<i>Monitore Tecnico</i> , marzo 1900).	l'anno VII
10	Abbachi trigonometrici. — (<i>Corrispondenza</i> , an. I, fasc. IV e <i>Periodico di Matematica</i> , marzo-aprile 1900).	l'anno VII
11	Costruzione elementare di due abbachi trigonometrici. — (<i>Supplemento al Periodico di Matematica</i> , aprile-maggio 1900).	l'anno VII
12	Su di un regolo calcolatore della differenza fra l'altezza meridiana e circummeridiana di un astro. — (<i>Corrispondenza</i> , an. I, fascicolo XI).	
13	Abbachi per il tiro e Abbachi generali della Balistica. (*) — In collaborazione col Com. Ronca. — (Ed. Giusti, Livorno, 1901). (**)	
14	Lezioni di Nomografia. — Litografato. (<i>Acc. Navale</i> , 1905).	
15	Sobre Nomografia Elemental. — (<i>Riv. trimestral de Matemáticas</i> , 1906).	l'anno V
16	Resolução nomographica do triangulo de posição. — (<i>Revista Maritima Brasileira</i> , novembre e dicembre 1907, febbraio 1908).	n° 5, 6 e 8 de 2º anno
17	Sulle tavole di Luyando. (<i>Annales de la Facultad de Ciencias de Zaragoza</i>).	l'anno II n° 7.

FIGURE 5.12 – Lettre de Pesci concernant ses publications, envoyée à d'Ocagne le 8 novembre 1908

phiés de d'Ocagne issus de l'École polytechnique, et il se considère donc comme indirectement son élève. Ses premiers nomogrammes concernent la tactique navale alors qu'il est directeur du port de Toulon où d'Ocagne lui rend visite et lui envoie par la suite ses brochures⁹. En 1912, il rejoint Alger où il avait fait ses

9. Stanislas MILLOT (16 avr. 1908a). *Un premier nomogramme de tactique navale*. Deux lettres.

études et entreprend des travaux de terrassement et d'écoulement des eaux en utilisant les applications de d'Ocagne¹⁰. C'est à ce moment qu'il commence à publier dans le JGAT. Dans une lettre datée du 25 décembre 1912, il explique à d'Ocagne son cheminement de publication¹¹ :

« Après avoir établi, en trois articles du Journal général, une théorie du fonctionnement de puits artésiens, j'ai tenté dans les trois articles suivants (le dernier en cours d'impression) de préparer les lecteurs à l'usage des abaques.

Le septième article, accompagné du nomogramme, indiquera les règles d'emploi de ce nomogramme pour la conduite de l'alimentation par puits artésiens. La théorie en sera totalement absente.

Plus tard, quand les entrepreneurs peu instruits, qui sont les principaux lecteurs, auront été satisfaits par des articles moins rébarbatifs, j'essaierai d'indiquer le mode de construction. »

Il devient lieutenant du port d'Alger, grâce à l'appui de d'Ocagne, en 1913. Millot entame ensuite, en parallèle à son travail au port, des recherches dans le domaine médical en lien avec le médecin François Miramond de Laroquette¹². Ce dernier a inventé un appareil de radiographie à utiliser avec ce qu'il appelle un « graphique quadrillé » dans lequel il reporte des données de clichés afin de déterminer la profondeur exacte de l'objet¹³. Plus tard en 1921, ce même médecin met en œuvre une balance pour le dosage des rayons X à l'hôpital d'Alger et obtient apparemment de très bons résultats. Millot travaille au perfectionnement de ces machines au travers des recherches sur les probabilités en matière médicale grâce à des nomogrammes. Il se pose toutefois la question de savoir combien de radiologues seraient disposés à utiliser des appareils de calcul¹⁴ et se heurte à la difficulté de publication d'articles mathématiques en Algérie en raison, à priori, du manque de caractères d'impression (lettres grecques et signes divers), que Millot doit acheter à l'Institut Pasteur¹⁵.

Aux États-Unis, c'est Melker Johan Eichhorn qui écrit le plus d'articles en rapport avec la nomographie. Il publie principalement sur les énergies : proprié-

10. Stanislas MILLOT (26 oct. 1912g). *Problèmes d'emploi Millot*. Une lettre.

11. Stanislas MILLOT (25 déc. 1912a). *Don de sept abaques construits par Millot*. Une lettre.

12. François Miramond de Laroquette (1871-1927) : médecin militaire français, auteur de nombreux brevets.

13. François MIRAMOND DE LAROQUETTE (1913). « Nouveau procédé de découverte des corps étrangers ». *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*. 157.

14. Stanislas MILLOT (13 avr. 1922b). *Note à l'Académie des sciences et anecdote*. Une lettre.

15. Stanislas MILLOT (4 déc. 1922d). *Traité de toiture et probabilités*. Deux lettres.

tés de la vapeur et de l'air comprimé, sauts de pression dans le courant alternatif, solubilité de l'ammoniaque entre autres. Par conséquent, ses journaux de publication sont tout aussi différents : *The Swedish Engineer's Society of Chicago*, *l'Electrical Review and Western Electrician*, le *National Engineer* et *Ice and Refrigeration*. La lecture de la correspondance avec d'Ocagne nous éclaire davantage sur ses travaux : Eichhorn, d'origine suédoise, travaille comme ingénieur électrique à Chicago et, outre la construction d'abaques, il semble également s'intéresser aux machines à calcul, aux règles à calcul et à leur construction^{16,17}. Ses premières lettres datent de 1901, il écrit en français et explique travailler sur les calculs thermodynamiques qu'il effectue à l'aide d'un abaque qu'il a élaboré¹⁸. À plusieurs reprises, il exprime le souhait de se voir publier par l'intermédiaire de d'Ocagne dans des journaux français, et il lui envoie pour cela des échantillons de ses travaux. L'un de ses articles « Nomogram for the properties of steam » est traduit en français et publié par Jaques Ridet en 1913 dans *La technique moderne*¹⁹, nous ne savons cependant pas si cette publication a été favorisée par d'Ocagne, qui aurait laissé le soin à Ridet de le traduire et de le publier dans une revue technique, ou si Eichhorn entretenait une correspondance avec Ridet ayant favorisé cette publication par ses soins. Nous observons toutefois un décalage temporel entre ses lettres envoyées et les articles publiés aux États-Unis : une lettre de 1913 porte mention d'un article publié en 1911, une autre de 1921 fait état des publications d'Eichhorn jusqu'en 1919. Enfin, la correspondance avec Eichhorn nous confirme que la base des articles étudiés, loin d'être exhaustive, nous offre seulement un aperçu des publications d'un pays. En effet, dans sa lettre du 21 mai 1921²⁰, Eichhorn fait part de sa liste de publications sur le sujet de la nomographie, datée du 27 avril 1919. Cette liste comporte pas moins de dix-neuf articles alors que seuls trois sont répertoriés dans les archives de l'ENPC (voir fig. 5.13).

Parmi les pays étrangers figurant dans les archives de d'Ocagne, l'Allemagne est celui qui est le plus représenté avec dix-neuf journaux, publiés sur une longue période de 1893 à 1937, mais dont la moyenne de publication est plus tardive (1919). Les revues les plus souvent présentes sont le ZAMM avec quinze articles, puis le ZMP et *Maschinenbau*, tous les deux avec six articles. Les *Zeitschrift*, jour-

16. Melker Johan EICHHORN (3 mai 1919b). *Machine permettant d'imprimer des tables*. Une lettre.

17. Melker Johan EICHHORN (21 mai 1921a). *Analyseur harmonique*. Une lettre.

18. Melker Johan EICHHORN (1^{er} oct. 1901a). *Publications outre-Atlantique*. Deux lettres.

19. Jaques RIDET (1913). « Nomogrammes de M.J. Eichhorn pour les propriétés de la vapeur ». *La technique moderne*.

20. EICHHORN 1921a.

LIST OF PUBLICATIONS OF M. J. EICHHORN,
on the subject of Nomography.

- E. 1. The Construction and Use of Graphical tables. In "Western Electrician" March 9th, 1901.
- E. 2. The Cost of Power. In "Western Electrician", Part I, August 2nd, 1902. Part II, Aug. 9th, 1902.
- E. 3. Description of trigonometrical slide-rule. Privately published in fall of 1903. (Sept. -- Oct.)
- E. 4. The "Eichhorn" Trigonometric Slide rule. Written by Mr. F. A. Halsey. In "American Machinist", Dec. 3rd, 1908. Illustrated.
- E. 5. A slide rule for trigonometrical problems. Written by one of the staff. In "Machinery", Nov. 1908. Illustrated.
- E. 6. Trigonometrical Slide rule. Briefly noticed in the following publications: "Engineering" (London), Dec. 4th, 1908. -- "The Metal Worker, Plumber and Steamfitter" (New York), Sept. 19th, 1908. -- "Cement Age" (New York), Sept. 1908. -- "Iron Age" (New York), Sept. 10th, 1908. -- "Electrical Review" (London), Oct. 3rd, 1908. -- "The Mining World" (New York), April 3rd, 1909. -- "The Foundry", (New York), Oct. 1908. -- "American Engineer and Railroad Journal", (New York), Oct. 1908. -- "Electrical Engineering", (London), Sept. 17th, 1908. -- "Engineering-Contracting", (Chicago), Sept. 23rd, 1908. -- "Iron Trade Review", (New York), Sept. 17th, 1908. -- "Engineering Record", (New York), Sept. 12th, 1908.
- E. 7. Properties of Ammonia Vapor. In "Ice and Refrigeration", May 1st, 1911.
- E. 8. Nomogram for the properties of steam. In "National Engineer", June 1st, 1911.
- E. 9. Magnetic Calculations. In "Electrical Review and Western Electrician", June 24th, 1911.
- E. 10. The Capacity of Steam-pipes. In "National Engineer", Jan. 1st, 1913.
- E. 11. The Trochoid Calculator for Kepler's Equation. Published with article written by Prof. E. J. Wilczynski, in "Astronomical Journal" Vol. XXVII, Jan. 31st, 1913.
- E. 12. Pressure-Drop in alternating current lines. In "Electrical Review and Western Electrician", Jan. 11th, 1913.
- E. 13. Efficiency of modern Steam Turbines, Compared with Carnot's Cycle. In "National Engineer", Sept. 1st, 1913. and Nov. 1st, 1913.
- E. 14. Nomograms for electrical problems. In "Electrical Review and Western Electrician". March 1st. 1913.
- E. 15. Calculating the Mean Effective Pressure. In "Ice and Refrigeration", Feb. 1st, 1913.
- E. 16. Nomography. A Series Started in "National Engineer", Feb. 1st, 1913. Continues: March 1st, 1913; June 1st, 1913; April 1st, 1914; Dec. 1st, 1914; To be further continued.
- E. 17. Nomographic Method for finding the center of gravity, and moment of inertia. In "Railway Age Gazette", Aug. 29th, 1913.
- E. 18. Nomogrammes de M. J. Eichhorn pour les propriétés de la vapeur. Article written by Mr. Jacques Miet in "La technique moderne", (Paris, France), Dec. 15th, 1913. Vol. V. No 12.
- E. 19. Nomograms for the properties of compressed air. In "National Engineer" June 1st, 1913.

.....
This list written April, 27th, 1913.
.....

FIGURE 5.13 – Liste des publications concernant la nomographie d'Eichhorn

naux scientifiques orientés mathématiques, présentent tout naturellement des articles de nomographie générale alors que le *Maschinenbau*, plus technique, s'intéresse aux énergies (gaz et vapeur) et à leurs conduites. Les diffuseurs principaux de la sphère de d'Ocagne en Allemagne sont Luckey, Mehmke et Fischer, chacun ayant agi sur une période différente. Les premiers articles en Allemagne sont de Mehmke et d'Ocagne, qui entretiennent assez tôt des relations. La première lettre de Mehmke retrouvée, datée de 1893, est écrite en allemand avec quelques courts passages en français. Il est possible que d'Ocagne ait insisté pour que les lettres suivantes soient en français, car dans sa lettre datée du 4 avril 1894²¹, Mehmke s'explique :

« Excusez-moi de n'avoir pas répondu plus tôt, mais écrire une lettre en français, c'est une tâche extrêmement difficile pour moi ! Je suis bien fâché de cela, parce qu'il m'empêche d'entretenir avec vous une correspondance aussi vive que je souhaiterais. Aussi je ne saurais guère rédiger en français mes recherches concernant la résolution graphique des équations. »

Il s'intéresse à la géométrie descriptive et à ses applications, et notamment, il développe des procédés pour déterminer numériquement les racines des équations ainsi que des appareils et machines à calcul. Ce sont peut-être ces thèmes qui l'ont rapproché de d'Ocagne, puisque la nomographie lui offrait ainsi des méthodes de résolution. Tous les deux publient successivement dans le *Katalog mathematischer und mathematisch-physikalischer Modelle und, Apparate und Instrumente* puis le ZMP. La parution dans ce dernier journal n'est d'ailleurs pas sans rapport avec ces deux personnages : en effet, Mehmke en devient l'un des deux rédacteurs en chef en 1897 avec Georg Cantor²², puis avec Carl Runge²³ en 1901. Il promet à d'Ocagne de « cultiver » à travers ce journal le calcul graphique et mécanique et en particulier la nomographie²⁴ (voir fig. 5.14). Il publie ensuite en 1902 dans l'*Encyklopädie der mathematischen Wissenschaften* un long article de 146 pages sur le calcul numérique : « Numerisches Rechnen »²⁵, article qui sera repris (et augmenté) dans l'*Encyclopédie des sciences mathématiques pures et appliquées* en

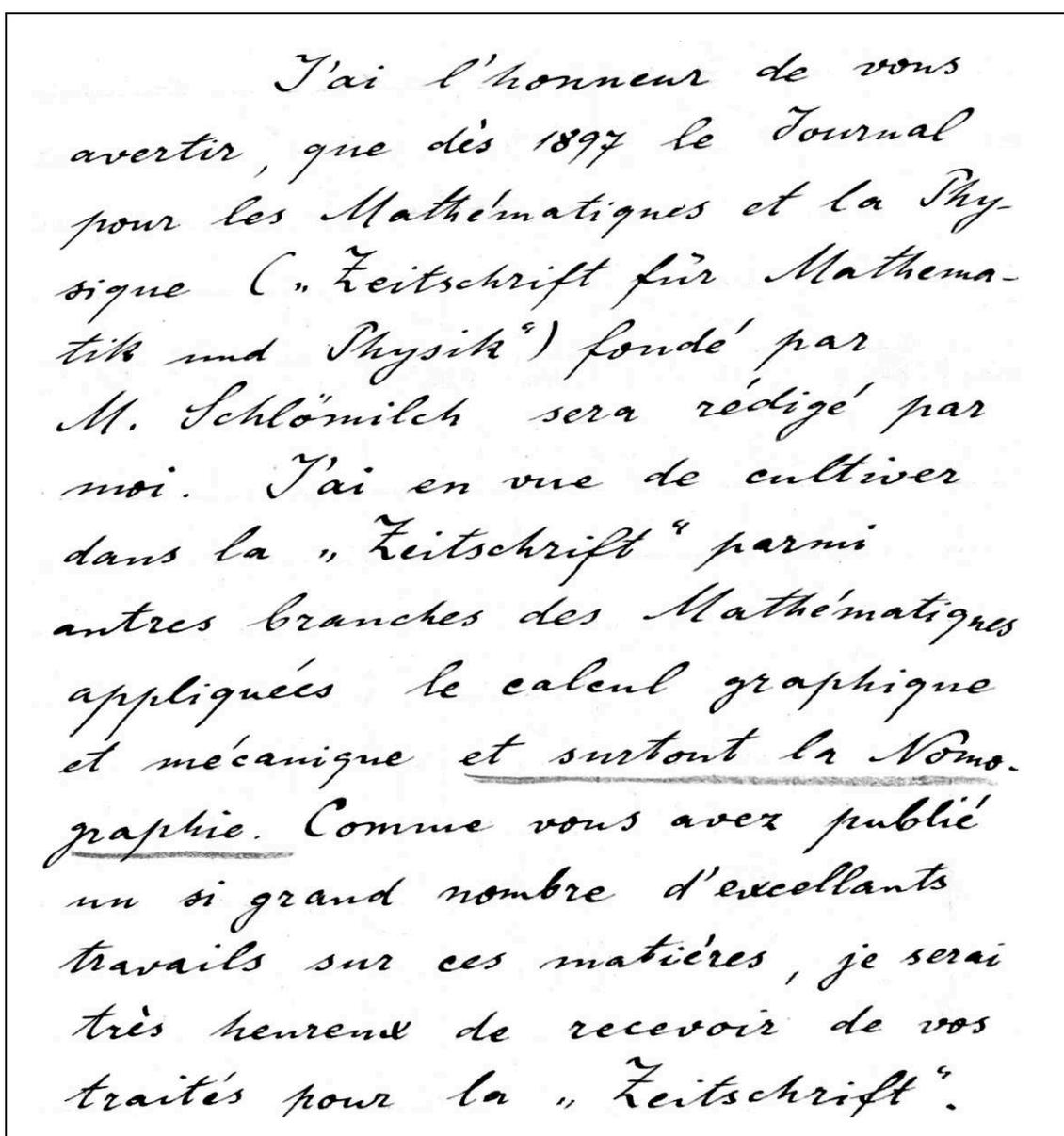
21. Rudolph МЕХМКЕ (4 avr. 1894a). *Résolution d'une équation de degré 5*. Une lettre.

22. Georg Cantor (1845-1918) : mathématicien allemand né en Russie, connu pour sa théorie des ensembles.

23. Carl Runge (1856-1927) : mathématicien et physicien allemand.

24. Rudolph МЕХМКЕ (17 oct. 1896a). *Publication de nomographie dans un journal allemand*. Deux lettres.

25. Rudolph МЕХМКЕ (1902b). « Numerisches Rechnen ». *Encyklopädie der mathematischen Wissenschaften*, p. 938-1079.



J'ai l'honneur de vous avertir, que dès 1897 le Journal pour les Mathématiques et la Physique („Zeitschrift für Mathematik und Physik“) fondé par M. Schlömilch sera rédigé par moi. J'ai en vue de cultiver dans la „Zeitschrift“ parmi autres branches des Mathématiques appliquées le calcul graphique et mécanique et surtout la Nomographie. Comme vous avez publié un si grand nombre d'excellents travaux sur ces matières, je serai très heureux de recevoir de vos traités pour la „Zeitschrift“.

FIGURE 5.14 – Lettre de Mehmke envoyée à d'Ocagne le 17 octobre 1896

1909 en co-écriture avec d'Ocagne²⁶. Dès 1918, c'est Luckey qui s'intéresse à la nomographie dans son pays, et notamment à son histoire. Il communique avec d'Ocagne en 1924 (cinq lettres) et lit le français parfaitement²⁷, ce qui lui permet de s'inspirer des articles venant de France et de travailler la nomographie en autodidacte. Il publie au moins onze articles entre 1922 et 1927, dans sept journaux différents (ZAMM, Sirius, *Unterrichtsblätter für Mathematik und Natur-*

26. Rudolph MEHMKE et Maurice D'OCAGNE (1909). « Calculs numériques ». *Encyclopédie des sciences mathématiques pures et appliquées*, p. 196-452.

27. Paul LUCKEY (16 avr. 1924e). *Histoire de la nomographie*. Une lettre.

wissenschaften, Maschinenbau, Werft Reederei Hafen, Zeitschrift für mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht et Astronomische Nachrichten), atteignant ainsi une grande diversité de publics. Entre 1927 et 1932, Fischer publie seize articles, principalement dans des journaux allemands (cinq différents), mais aussi en Autriche et en République tchèque. Nous n'avons pas retrouvé de lettres de sa part, mais il cite régulièrement d'Ocagne dans ses travaux. Les premiers articles que nous avons, pourtant tardifs, font état d'une « nouvelle méthode générale pour la conception des nomogrammes »²⁸, les suivants s'intéressent aux tuyaux et à leur résistance à la pression. Le nombre d'articles est cependant biaisé : en effet, il scinde régulièrement ses articles en plusieurs parties augmentant ainsi le nombre de publications. En 1930 par exemple, il publie dans le *Die Wasserwirtschaft* un article en quatre parties concernant la perte de pression dans les tuyaux par la formule de Langsche²⁹.

Enfin, constatant une diffusion de la nomographie dans les pays nordiques et asiatiques à partir de 1925, nous pouvons nous poser la question de cette émergence tardive par l'éloignement ou de la barrière de la langue. En Finlande, c'est le mathématicien Evert Johannes Nyström qui semble publier le plus, dans le *Commentationes Physico-Mathematicae*. Je n'ai pas retrouvé de correspondance entre lui et d'Ocagne, mais ses tirés à part sont dédiés « À Monsieur le professeur M. d'Ocagne, hommage de l'auteur E.J. Nyström » et d'Ocagne est cité à plusieurs reprises dans ses articles. Au Japon, E. de La Villemarqué publie des articles en français depuis l'observatoire astronomique de Zô-Sè.

5.2 Étude de cas : circulation d'un article sur la trigonométrie sphérique

5.2.1 Le triangle sphérique

En géométrie euclidienne, la résolution d'un triangle « plat », c'est à dire le calcul de certains éléments du triangle (côtés et angles) à partir d'autres connus se fait, par exemple, grâce au théorème d'Al-Kashi, la loi des sinus ou celle des

28. Alexander FISCHER (1927a). « Über ein neues allgemeines Verfahren zum Entwerfen von graphischen Rechentafeln, insbesondere von Fluchtlinientafeln (I) ». *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik*. 7.

29. Alexander FISCHER (1930f). « Graphische Rechentafeln für die Langsche Formel zur Berechnung des Druckhöhenverlustes in Rohrleitungen ». *Die Wasserwirtschaft*. 7-22-31-34, p. 119-110, 468-469, 661-662, 708-709.

tangentes. La résolution d'un triangle sphérique, quant à elle, est beaucoup plus récente et nécessite des calculs plus compliqués. La résolution du triangle sphérique est née de la nécessité de calculer des distances et des angles sur la terre ou dans l'espace pour les besoins de l'astronomie (azimut, hauteur zénithale, angle horaire...) et de la géographie (latitude et longitude) principalement.

Un triangle sphérique est une figure comprise entre trois arcs de grands cercles dont tous les angles ont une mesure inférieure à 180° (voir fig. 5.15). Une formule

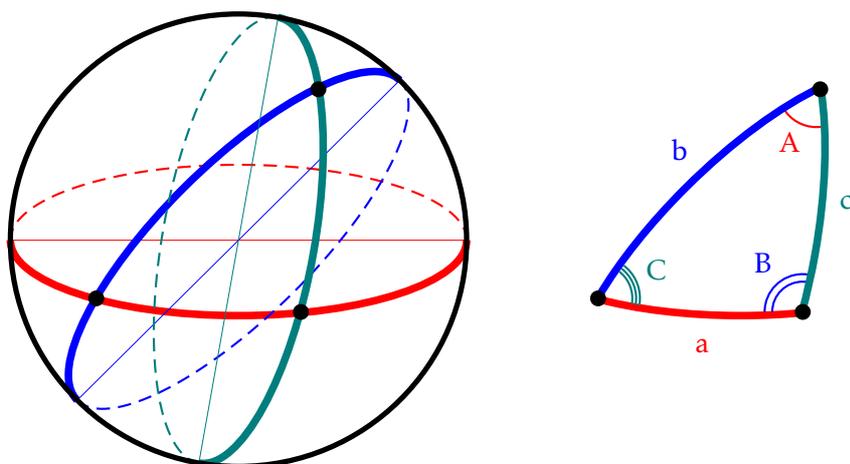


FIGURE 5.15 – Triangle sphérique

fondamentale reliant les côtés aux angles appelée aussi loi des cosinus pour les côtés est donnée par l'équation :

$$\cos(a) = \cos(b)\cos(c) + \sin(b)\sin(c)\cos(A) \quad (F_a)$$

En établissant la base de données des archives nomographiques de l'ENPC, j'ai été surprise par le nombre relativement élevé d'articles ayant trait à la trigonométrie sphérique en général, et plus particulièrement au triangle sphérique, ce qui a suscité un intérêt à aller plus loin dans l'analyse de ces articles. Nous avons onze articles directement liés au triangle sphérique; à ceux-ci s'ajoutent des articles parlant de cas particuliers de la géométrie sphérique, par exemple pour le calcul d'azimuts ou de hauteur de points de la mer, et enfin des articles généraux montrant des applications de la méthode des points cotés à la trigonométrie sphérique, en lien avec l'astronomie. Nous analyserons ici, lorsque cela est possible, les liens qui peuvent exister entre ces articles, et nous suivrons tout particulièrement la manière dont d'Ocagne s'est emparé du sujet et l'a diffusé et

amélioré pendant une dizaine d'années. La figure 5.18 en fin de chapitre résume les liens entre les différents articles.

5.2.2 Les nomogrammes du triangle sphérique de d'Ocagne

Une lettre de Paul Robin, directeur de l'orphelinat Prévost, écrite le 2 janvier 1894 commence ainsi ³⁰ :

« Monsieur,
 Je lis dans la Revue *g^{ale}* des sciences que vous avez présenté à la société de Mathématiques un abaque donnant la solution à vue de tous les cas de triangles sphériques.
 Ayant obtenu moi même autrefois une solution partielle [...] du problème, je serais très heureux d'en connaître la solution complète. »

En effet, en 1893, d'Ocagne est nommé répétiteur d'astronomie et de géodésie à l'École polytechnique, ce qui le pousse à concevoir des nomogrammes dans ce domaine, pouvant servir d'exercices pour ses élèves ³¹. Il donne par la suite une communication sur le sujet à la Société mathématique de France lors de la séance du 6 décembre 1893 ³². Cependant, il semblerait que ce soit en 1894 que d'Ocagne présente pour la première fois dans un journal un abaque général permettant de résoudre les triangles sphériques dans tous les cas possibles : le *Bulletin astronomique* ³³ (BA). En considérant la formule des cosinus et ses permutations circulaires,

$$\cos(a) = \cos(b)\cos(c) + \sin(b)\sin(c)\cos(A) \quad (E_a)$$

$$\cos(b) = \cos(c)\cos(a) + \sin(c)\sin(a)\cos(B) \quad (E_b)$$

$$\cos(c) = \cos(a)\cos(b) + \sin(a)\sin(b)\cos(C) \quad (E_c)$$

il se ramène aux seuls cas où, parmi les données, nous disposons de la mesure de deux ou trois côtés du triangle. En effet, les cas où seraient connus un côté ou aucun côté se ramèneraient aux cas précédents en considérant le triangle polaire puisqu'alors les côtés du triangle polaire sont les supplémentaires des angles du

30. Paul ROBIN (2 jan. 1894). *Demande de solution générale de l'abaque sphérique*. Deux lettres.

31. Maurice d'OCAGNE (1935g). « Mes souvenirs, livre VII : Après-guerre et livre VIII : Vie scientifique ». T. 4, p. 133.

32. *Bulletin de la Société mathématique de France* (1893). 31, p. 145.

33. Maurice d'OCAGNE (1894b). « Abaque général de la trigonométrie sphérique ». *Bulletin astronomique*. 11, p. 5-16.

triangle initial, et inversement. D'Ocagne construit par conséquent un abaque permettant, en se ramenant à trois cas possibles, de résoudre n'importe quel triangle sphérique connaissant trois données :

- la connaissance des trois côtés a, b et c , permet de déterminer A grâce à (E_a) , B grâce à (E_b) et C grâce à (E_c) ;
- la connaissance d'un angle, de l'un de ses côtés adjacents et de son côté opposé a, b et A , permet de déterminer c grâce à (E_a) , puis B grâce à (E_b) et C grâce à (E_c) ;
- la connaissance d'un angle et de ses deux côtés adjacents b, c et A , permet de déterminer a grâce à (E_a) , puis B grâce à (E_b) et C grâce à (E_c) .

Il lui suffit donc de créer le nomogramme de l'équation à quatre variables

$$\cos(t) = \cos(u)\cos(v) + \sin(u)\sin(v)\cos(T) \quad (F)$$

dans lequel n'importe laquelle des variables u, v, t et T puisse être prise pour inconnue pour résoudre le problème. Il obtient l'abaque de la figure 5.16. Celui-ci est constitué de deux droites cotées parallèles, ici horizontales, la droite inférieure représentant la variable t et la droite supérieure la variable T . À cela s'ajoutent deux réseaux de portions d'ellipses représentant les variables u et v : celles joignant l'axe horizontal inférieur au centre de l'abaque caractérisent u et celles dont le grand axe est horizontal correspondent à v . Lorsque l'inconnue est t (respectivement T), on aligne le point de cote T (respectivement t) à l'intersection des ellipses cotées u et v , cet alignement donne t (respectivement T) sur la droite inférieure (respectivement supérieure). Inversement, lorsque l'inconnue est u (respectivement v), on trace la droite reliant les points de cotes t et T , cet alignement coupe l'ellipse de cote v (respectivement u) en un point par lequel passe une ellipse de cote u (respectivement v). Dans l'introduction de son article, d'Ocagne explique toutefois que certains abaques pour le triangle sphérique dans des cas particuliers de problèmes astronomiques ont déjà été donnés, mais jamais avec plus de trois variables, soit deux entrées à la fois, ce qui en fait des abaques moins généraux. C'est le cas par exemple pour l'abaque de Rodolphe Radau, qui a publié un article également dans le BA³⁴ en 1886, ou de Favé et Rollet dans les *Annales hydrographiques*³⁵ en 1892.

34. Rodolphe RADAU (1886). « Sur quelques applications des méthodes graphiques ». *Bulletin astronomique*, p. 62-65.

35. Luis FAVÉ et Charles ROLLET DE L'ISLE (1892). « Abaque pour la détermination du point à la mer ». *Annales hydrographiques*.

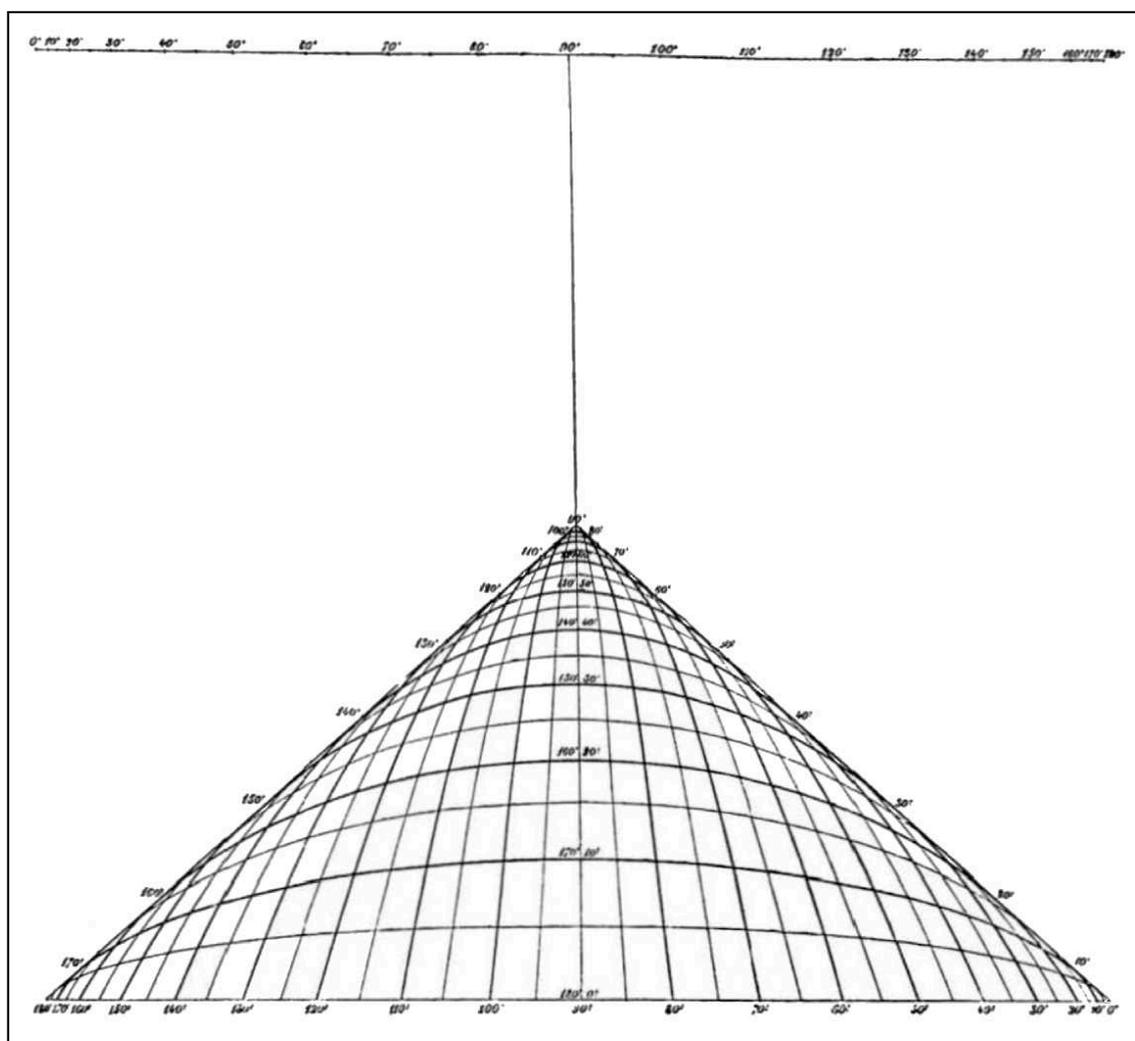


FIGURE 5.16 – Abaque de résolution triangle sphérique établi par d’Ocagne (1894). Source : ENPC

Quatre ans plus tard, d’Ocagne fait référence à ce premier article dans la *Revue générale des sciences pures et appliquées* (RGSPA) à travers une note concernant les applications pratiques de la méthode des points cotés³⁶, et notamment ses applications en astronomie. En 1899, il publie son fameux *Traité de nomographie* (TN); il est important de l’évoquer ici même s’il ne fait pas partie de la catégorie des journaux car il sera, par la suite, cité à plusieurs reprises. Il y fait figurer en premier lieu un abaque construit par Édouard Collignon³⁷ permettant de mesurer une distance sphérique de deux points en fonction de leurs latitudes et de la diffé-

36. Maurice d’OCAGNE (1898h). « Sur quelques applications pratiques de la méthode des points cotes ». *Revue générale des sciences pures et appliquées*. 9.

37. Édouard Collignon (1831-1913) : scientifique et ingénieur français.

rence de leurs longitudes. Puis, il propose son abaque général de la trigonométrie sphérique cité dans le BA comme abaque permettant la résolution des triangles sphériques dans tous les cas possibles³⁸. En 1902, c'est à l'Académie des sciences que d'Ocagne publie un article³⁹ : il cite de nouveau ses articles précédents dans le BA et le TN, puis il souligne l'intérêt d'établir des abaques pour des cas particuliers. Il propose ici la résolution du triangle de position pour une latitude donnée, puis pour celle de Paris. En 1904, il publie deux articles aux titres très proches : « Sur la résolution nomographique des triangles sphériques »⁴⁰ dans les *Compte rendus de l'Académie des sciences* (CRAS) puis, quelques mois plus tard « Sur la résolution nomographique des triangles sphériques »⁴¹ dans le *Bulletin de la Société mathématique de France* (BSMF). Dans ces deux articles, il commence par citer son abaque général publié dans le BA dix ans plus tôt, puis, il le compare à celui de Collignon : en effet, le tracé des ellipses est délicat, et Collignon avait proposé un abaque rectangulaire (voir fig. 5.17) beaucoup plus simple à construire à condition de transformer légèrement l'écriture de l'équation (E). En utilisant les formules

$$2 \cos(u) \cos(v) = \cos(u - v) + \cos(u + v)$$

$$2 \sin(u) \sin(v) = \cos(u - v) - \cos(u + v)$$

(E) peut alors s'écrire sous la forme :

$$2 \cos(t) = (1 + \cos(T)) \cos(u - v) + (1 - \cos(T)) \cos(u + v).$$

En revanche, l'inconvénient de cet abaque tient au fait qu'il n'est pas possible de prendre directement u ou v comme inconnue puisque les échelles représentent d'une part $u + v$ et d'autre part $u - v$. Par conséquent, cet abaque peut résoudre les triangles sphériques uniquement lorsque l'on connaît trois côtés, trois angles, ou trois éléments consécutifs. Dans les CRAS, d'Ocagne expose rapidement un procédé qui, en utilisant des triangles annexes, permet dans tous les cas de ré-

38. Maurice d'OCAGNE (1899d). *Traité de nomographie. Théorie des abaques. Applications pratiques*. 1^{re} éd. Gauthier-Villars, p. 327-333.

39. Maurice d'OCAGNE (1902d). « Sur la résolution nomographique du triangle de position pour une latitude donnée ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 135, p. 728-730.

40. Maurice d'OCAGNE (1904d). « Sur la résolution nomographique des triangles sphériques ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 138, p. 70-73.

41. Maurice d'OCAGNE (1904f). « Sur la résolution nomographique générale des triangles sphériques ». *Bulletin de la Société mathématique de France*. 32, p. 196-203.

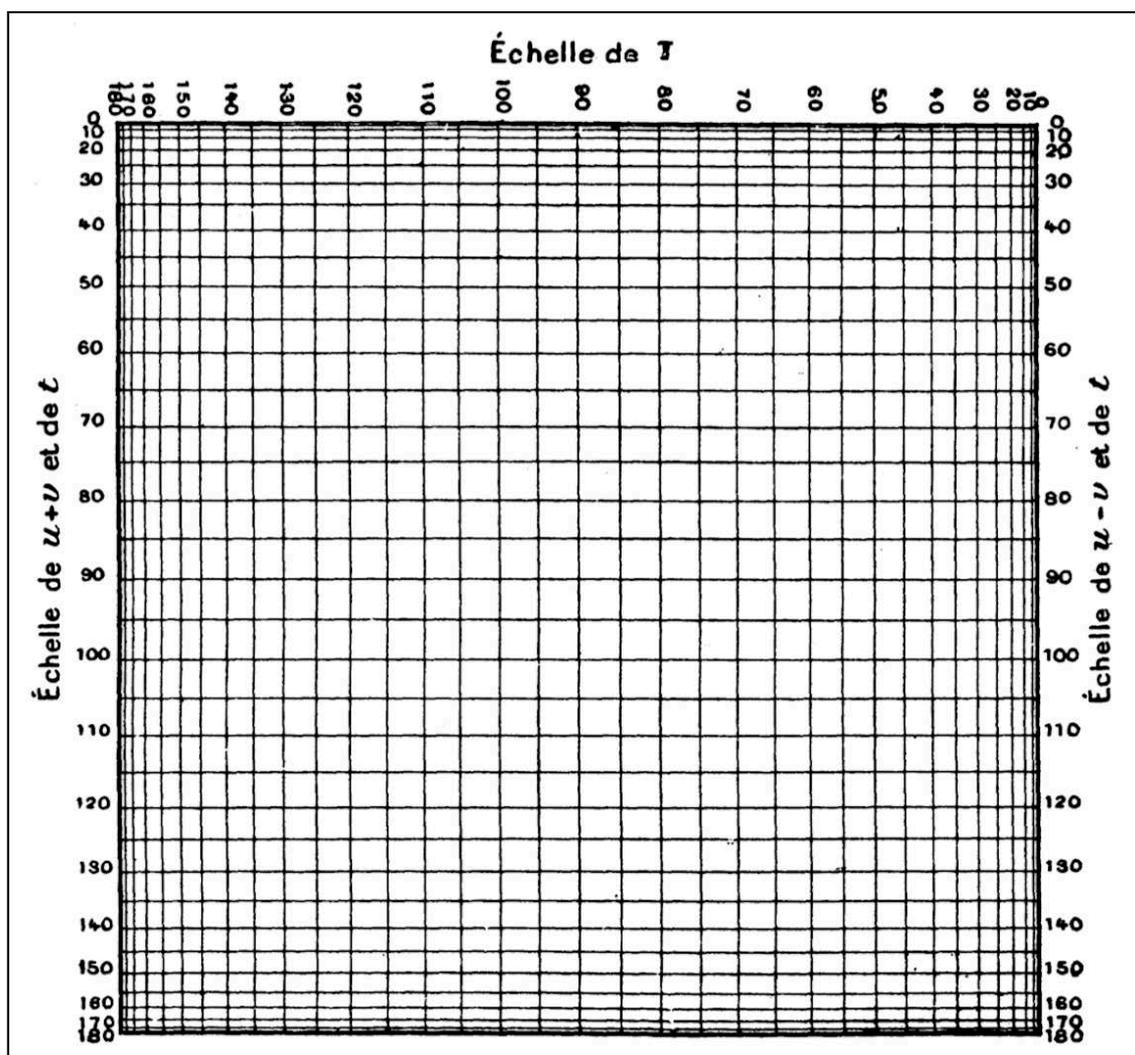


FIGURE 5.17 – Abaque de résolution triangle sphérique établi par Collignon. Source : ENPC

soudre ce triangle. Dans le BSMF, il propose de reprendre ce procédé et de l'expliquer plus en détails. Remarquons que, depuis son premier article dans une revue spécialisée en astronomie, il a ensuite écrit dans deux revues scientifiques plus généralistes, et enfin dans une revue mathématique. L'année suivante, dans les *Comptes rendus de l'Association française pour l'avancement des sciences*⁴² (CRAFAS), il fait un point sur la méthode nomographique des points alignés dans lequel il insiste sur les applications à l'astronomie de position et aux calculs nautiques. Il en profite pour citer tous les articles qu'il a pu publier sur ce sujet depuis 1894.

42. Maurice d'OCAGNE (1905c). « Sur la méthode graphique des points alignés ». *Comptes rendus de l'Association française pour l'avancement des sciences*, p. 1-8.

En 1913, une note de d'Ocagne présentée par Appell dans les CRAS⁴³ résume les différents abaques utilisables pour le triangle sphérique en fonction du positionnement relatif de quatre éléments (la connaissance de trois données permet de connaître la quatrième) :

- trois éléments consécutifs et l'élément opposé ;
- quatre éléments consécutifs ;
- deux couples de deux éléments consécutifs.

Le tableau 5.3 matérialise ces trois cas : pour chacun, la formule est différente et se traduit donc par un nomogramme différent. Le premier est le nomogramme créé par d'Ocagne en 1894, le second comporte deux échelles rectilignes et parallèles et deux systèmes de lignes de supports hyperboliques symétriques ; le troisième se compose de deux échelles identiques et parallèles et d'une charnière située à égale distance et parallèle à ces deux droites. Il en résulte que la lecture se fait par double alignement. Enfin, en 1914, il donne deux conférences sur la no-

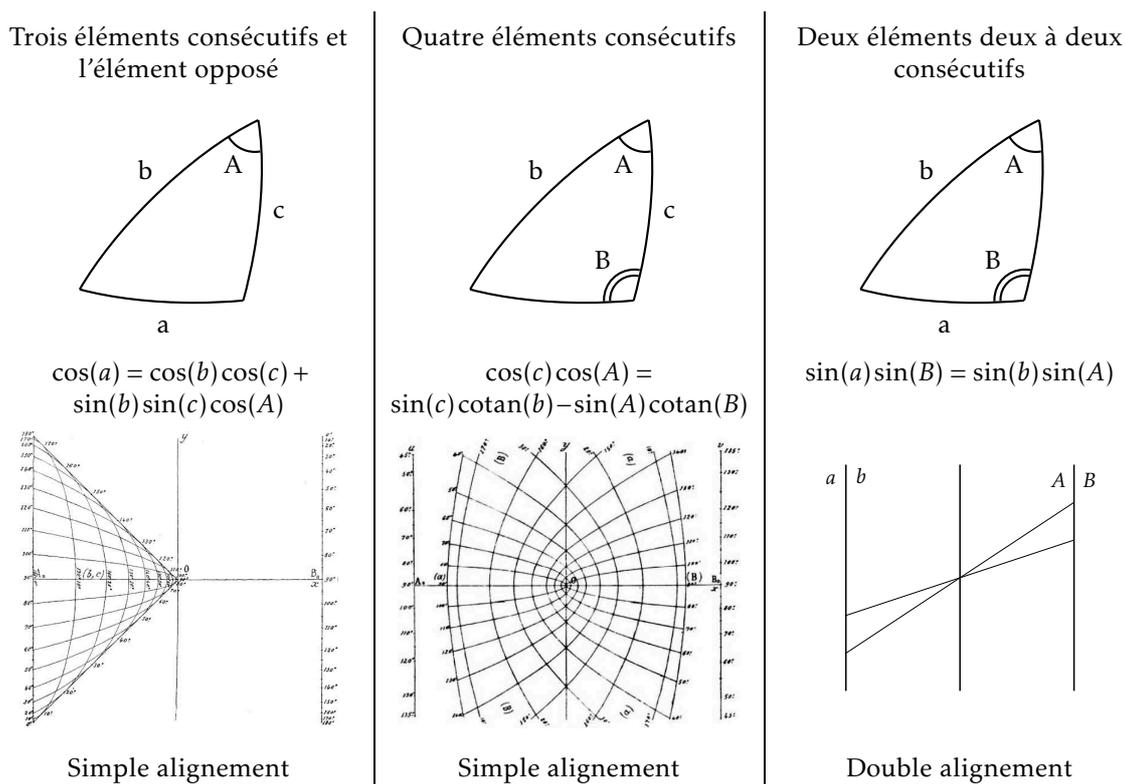


TABLEAU 5.3 – Récapitulatif des trois dispositions possibles de quatre éléments d'un triangle sphérique et les conséquences sur les formules et les nomogrammes

43. Maurice d'OCAGNE (1913a). « Sur l'application générale de la méthode des points alignés aux problèmes qui se ramènent à des résolutions de triangles sphériques ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 156, p. 1593-1596.

nomographie à l'université d'Édimbourg. La seconde concerne « L'application des nomogrammes à alignement aux différents cas de résolution des triangles sphériques » et débouche sur un article de dix-huit pages dans la revue *Enseignement mathématique*⁴⁴ (EM) en 1917. S'agissant de conférences, le ton semble plus pédagogique. Dès les préliminaires, il pose le problème :

« Étant donnés trois des six éléments a, b, c, A, B, C , trouver l'un des autres. »

Puis il reprend l'explication des trois cas du tableau 5.3, dont il explique la construction scrupuleuse des nomogrammes et leur utilisation. Il donne un autre exemple de nomogramme pour le cas de deux éléments deux à deux consécutifs, qui n'utilise pas de charnière parallèle aux axes, mais il utilise le segment de droite reliant les deux origines des échelles, plus facile à tracer. Curieusement, il y a peu de sources dans ce document, peut-être parce qu'il s'agit de notes d'un séminaire, donc quelque chose de furtif qui n'appelait pas forcément à un écrit ensuite? Il cite uniquement le BSMF et les CRAS 1902 pour des lecteurs qui voudraient des précisions sur deux nomogrammes particuliers.

5.2.3 Et ailleurs...

À l'étranger c'est Pesci, un habitué des publications dans les revues maritimes italiennes, qui s'empare des nomogrammes pour la résolution du triangle sphérique. Depuis 1895, il publie dans le domaine de la navigation (particulièrement en cinématique navale) et de la géométrie. Pour cela, il utilise volontiers les tableaux numériques et les nomogrammes, toujours en faisant référence à son créateur. En 1900, dans un article intitulé intitulé « Costruzione elementare di due abbachi trigonometrici »⁴⁵, il commence par expliquer la construction des abaques à points doublements cotés puis applique la méthode à la résolution des triangles plats et sphériques. Il reprend pour ce dernier l'abaque de d'Ocagne en citant l'article du BA ainsi que le TN. En 1909, il publie un article dans la *Rivista Marittima*⁴⁶ (RM) où il revient sur les différentes façons d'effectuer un calcul trigonométrique, que ce soit par les tables de calcul, les abaques ou les instruments. Concernant les abaques, il y consacre deux paragraphes sur les onze de l'article,

44. Maurice d'OCAGNE (1917d). « Deux conférences sur la nomographie (II) ». *L'enseignement mathématique*. 19.

45. Giuseppe PESCI (1900c). « Costruzione elementare di due abbachi trigonometrici ». *Supplemento al periodico di matematica*. 6-7.

46. Giuseppe PESCI (1909a). « Cenni sulla risoluzione del triangolo di posizione senza calcoli trigonometrici ». *Rivista marittima*. 42, p. 317-328.

expliquant dans le premier que de multiples nomogrammes pour la navigation astronomique ont été construits : « Il nomogramma degli azimuth del sole » par le professeur italien Molfino en 1901 ; ceux de Perret en 1904 et 1905, et deux de ses propres abaques en 1898 et 1903. Dans le second paragraphe, il explique que quelques tentatives ont été faites pour la résolution générale d'un triangle sphérique, et que les plus remarquables sont certainement celles de d'Ocagne. Toutefois, il souligne le fait que toutes présentent des inconvénients, le principal étant celui de la taille du nomogramme : pour une approximation suffisante des calculs de navigation astronomique, il faut en effet les établir dans un grand format, ce qui les rend peu pratiques à construire et à utiliser. En 1910, Pesci reprend une partie des articles de d'Ocagne de 1904 dont il fait quasiment une traduction terme à terme du titre : « Sulla rizzazione del triangolo sferici »⁴⁷ avec comme sous titre « senza calcoli trigonometrici ». Il fait bien évidemment référence aux travaux de d'Ocagne, mais nous trouvons également beaucoup de renvois à ses propres travaux. Par conséquent, nous observons à travers ces deux articles de Pesci une grande différence avec les publications de d'Ocagne, qui parle généralement de ses propres articles sur une période longue et de manière relativement exclusive. En tant que créateur de cette science, cela peut sembler logique : il tente ainsi de se faire connaître par le biais de ses articles et de ses livres, nous pourrions penser à leur seule lecture qu'il occupe une place primordiale et quasi-unique dans le domaine de la nomographie. La lecture d'autres auteurs nous ramène à une réalité moins exclusive.

En 1916, c'est Herbert Bell, qui cite l'article de d'Ocagne (BA et BSMF) et son nomogramme complet dans les *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*⁴⁸ (PRSE). Il montre dans sa note que le diagramme établi par le capitaine américain Thomas Weir en 1889, qui permet de résoudre grâce au calcul graphique le triangle sphérique dont les sommets sont le pôle, le zénith et une étoile, est en fait équivalent au nomogramme à points alignés de Perret dans le cas où l'on connaît quatre éléments consécutifs. Enfin, en 1931, Nyström publie l'article « Über die Anwendung nomographischer Methoden in der sphärischen Trigonometrie »⁴⁹ dans la revue finlandaise *Commentationes Physico-Mathematicae* (CPM), basé en

47. Giuseppe PESCI (1910b). « Sulla rizzazione del triangolo sferici ». *Supplemento al periodico di matematica*. 6.

48. Bell HERBERT (1916a). « Note on captain Weir's azimuth diagram and its anticipation of a spherical triangle nomogram ». *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*. 36, p. 192-198.

49. E. NYSTRÖM (1931a). « Über die Anwendung nomographischer Methoden in der sphärischen Trigonometrie ». *Commentationes Physico-Mathematicae*. 15.

grande partie sur les abaques de trigonométrie sphérique de d'Ocagne, qu'ils soient généraux ou particuliers.

Pour résumé cette étude, le diagramme 5.18 récapitule les liens entre les articles sur ce thème. Nous observons trois « piliers » en plus du TN cités à maintes reprises : en premier lieu l'article du BA (neuf occurrences), puis le TN (six fois), et le BSMF et le CRAS cinq fois chacun.

Nomenclature du diagramme 5.18 :

Les flèches indiquent les journaux cités dans l'article, par exemple, la flèche allant de TN à BA signifie que l'article paru dans le Bulletin Astronomique a été cité dans le Traité de Nomographie.

Les articles issus de journaux français sont situés à l'intérieur du quadruplet « BA-TN-CRAS-BSMF » et les journaux étrangers figurent à l'extérieur.

BA : Bulletin Astronomique

BSMF : Bulletin de la Société mathématique de France

CPM : Commentationes Physico-Mathematicae

CRAFAS : Compte rendu de l'Association française pour l'avancement des sciences

CRAS : Comptes rendus de l'Académie des Sciences

PRSE : Proceedings of the Royal Society of Edinburgh

RGSPA : Revue générale des sciences pures et appliquées

RM : Rivista Marittima

SPDM : Supplemento al periodico di matematica

TN : Traité de Nomographie

5.3 Conclusion

À travers l'étude statistique des journaux publiant de la nomographie durant la vie scientifique de d'Ocagne, nous avons pu observer un grand nombre d'auteurs, de revues, de langues et de pays. Les thèmes qui circulent sont liés aux besoins du moment, notamment pour les domaines techniques : la construction d'infrastructures fait naître des besoins concernant les énergies et la résistance des matériaux ; les affrontements militaires demandent des moyens de calcul rapides pour la préparation des canons ; les déplacements sur terre et en mer favorisent l'essor des méthodes de terrassements et de navigation, et les avancées économiques et surtout médicales favorisent la construction d'abaques afin de faciliter des calculs qui interviennent de façon régulière, par exemple lors de l'utilisation de formules modélisant des constantes particulières.

Tous ces domaines techniques ont besoin, pour être exploités, d'être alimentés par des considérations mathématiques, dans notre cas par des articles de nomographie générale, et par conséquent d'être enseignés. C'est donc cette multitude de pistes que nous avons pu étudier ici, d'après les articles trouvés dans le fonds

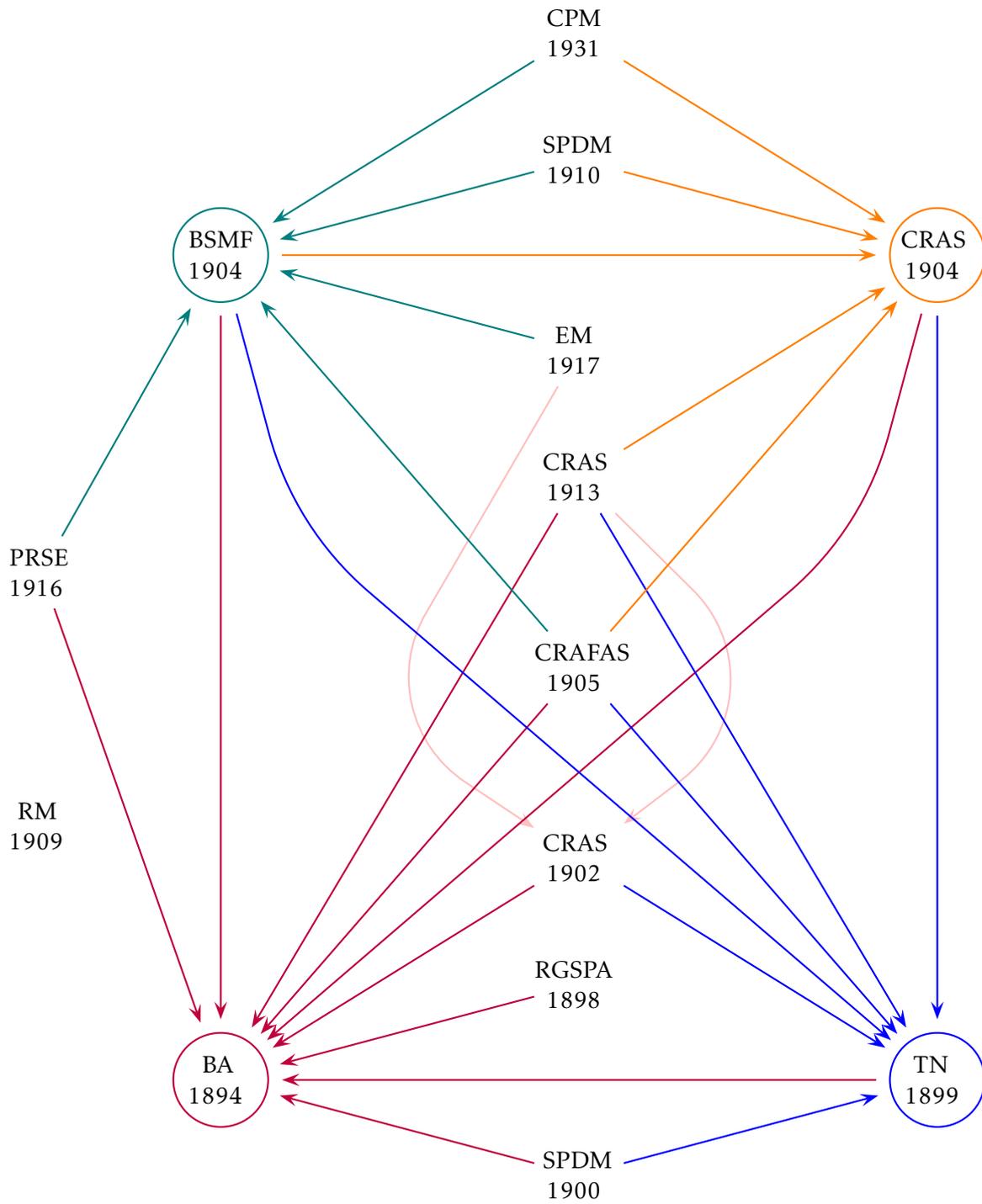


FIGURE 5.18 – Diagramme des liens existants entre les articles de géométrie sphérique

nomographique d'Ocagne.

Les journaux publiant de la nomographie sont, pour les trois quarts d'entre eux, des journaux scientifiques et techniques. Avec des écarts d'une vingtaine de points par rapport à l'étude Cirmath, la proportion d'articles dans les journaux scientifiques et celle des journaux généralistes montre que, en tant qu'étude de cas de fonds associé à un auteur, en particulier d'un ingénieur, elle n'est en conséquence pas tout à fait représentative de la circulation des mathématiques dans les journaux. Il faut toutefois être prudent concernant cette affirmation puisque notre période a une moins grande amplitude que celle étudiée dans le projet Cirmath.

Aussi, nous avons pu voir que la circulation de ces articles se faisait souvent par le biais d'auteurs principaux : dans quasiment chaque pays, nous avons pu identifier un auteur particulièrement prolifique. Certains ont publié uniquement dans leur seul domaine de compétence, utilisant les abaques comme une solution à un calcul particulier. D'autres, au contraire, ont été féconds dans plusieurs domaines : c'est le cas de Fischer et Luckey en Allemagne, de Millot en Algérie et en France, de Pesci en Italie, de Potin en France et de Vaes aux Pays-Bas. Ce sont le plus souvent des auteurs qui, ayant travaillé sur la nomographie en général, ont mis leurs compétences au service des différents domaines auxquels ils s'intéressaient. La plupart d'entre eux avaient connaissance de la nomographie de d'Ocagne et lui faisaient parvenir leurs publications. Beaucoup échangeaient également avec lui sur des procédures de construction, des améliorations éventuelles, des problématiques de diffusion, des conflits... Nous avons en outre pu voir des auteurs qui, profitant de la notoriété de d'Ocagne, lui ont demandé assistance pour publier leurs articles dans certaines revues, parfois à l'étranger. Grâce à toutes ces personnes et à d'Ocagne, la nomographie a ainsi pu s'exporter dans la plupart des pays d'Europe proches, mais aussi sur les continents américain et asiatique.

Enfin, nous avons pu observer que, à partir d'un article soumis en 1894 et proposant une résolution générale du triangle sphérique, d'Ocagne avait pu établir une série d'articles s'y rapportant jusqu'en 1913. Nous constatons également que les articles proposés dans des journaux français sur ce thème sont tous de d'Ocagne. Toutefois, nous avons pu noter que, en dix ans et huit articles sur la résolution du triangle sphérique, très peu de choses avaient été apportées par d'Ocagne, qui s'est contenté la plupart du temps de revenir sur son abaque principal tout en l'enrichissant par quelques autres nomogrammes de ses contemporains. À l'étranger, nous rencontrons également une diffusion de cet article sous

différentes formes, les articles étant cependant moins exclusifs. Cette étude de cas aura révélé une certaine imbrication de tous ces articles.

Troisième partie

Maurice d'Ocagne, un ingénieur-savant aux multiples facettes

Dans cette dernière partie, nous tentons d'apporter quelques enrichissements à la biographie de d'Ocagne, grâce notamment aux archives de l'Institut de France. Un premier chapitre traitera de la généalogie et de la jeunesse de d'Ocagne jusqu'à ses années à l'École des ponts et chaussées, tandis qu'un deuxième chapitre s'emploiera à traiter de sa vie d'adulte. Celle-ci sera abordée dans son aspect personnel et professionnel. Sa carrière sera développée suivant les métiers qu'il a exercés : ingénieur, professeur et scientifique. Enfin, un ultime chapitre sera consacré au lien étroit qu'il a pu avoir avec l'un de ses élèves, l'ingénieur égyptien Farid Boulad Bey.

Chapitre 6

La jeunesse de Maurice d'Ocagne

Sommaire du présent chapitre

6.1 La famille d'Ocagne	244
6.1.1 Origine patronymique	244
6.1.2 Sa famille paternelle	245
6.1.3 Sa famille maternelle	248
6.2 L'enfance de d'Ocagne	248
6.2.1 Lieux d'habitation parisiens et guerre de 1870	249
6.2.2 Escapades estivales	250
6.2.3 Scolarité en institution et au collège Chaptal	252
6.3 Ses études d'ingénieur	253
6.3.1 L'École polytechnique	254
6.3.2 L'École des ponts et chaussées	255
6.4 Conclusion	257

Comme stipulé en introduction, nous ne connaissons finalement pas grand chose de la vie de d'Ocagne : ses archives professionnelles existent bien aux Archives nationales de France, mais sa vie privée est actuellement peu connue.

La découverte de tapuscrits, signés de la main de d'Ocagne et archivés à l'Institut de France, nous a apporté de nouveaux et nombreux renseignements sur l'homme : ces tapuscrits ont été légués à la bibliothèque de l'Institut le 17 avril 1935, soit deux ans avant sa mort, accompagnés de la mention « à n'ouvrir qu'après ma mort » (voir fig. 6.1). D'Ocagne y a relaté une très grande partie de

sa vie. Ce don est constitué de huit livres, de chacun environ 150 pages, regrou-

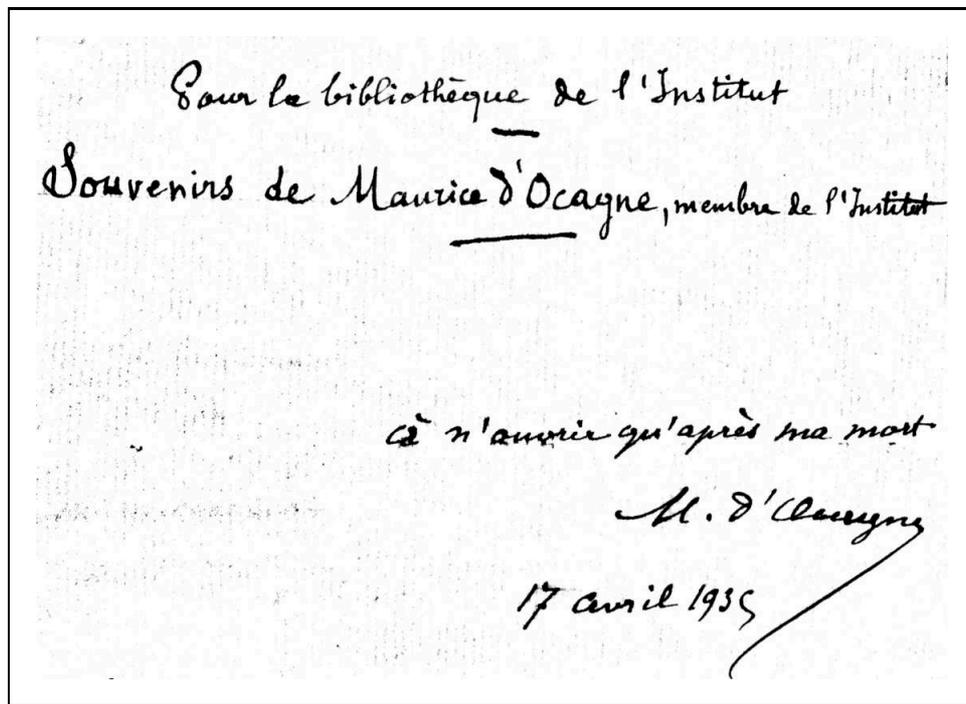


FIGURE 6.1 – Don de d'Ocagne à l'Institut (1935). Source : Institut de France

pés par deux, dactylographiés à l'encre bleue et reliés par une cordelette (voir fig. 6.2). Il les appelle *Mes souvenirs*. La table des matières fait part des très nombreux éléments qu'il a consignés dans ces livres :

I - Souvenirs de famille. Souvenirs d'enfance

1. Origine et alliance de la famille d'Ocagne
2. Mes ascendants maternels
3. Mon grand-oncle Gustave d'Ocagne
4. Ma première enfance
5. 1870-1871
6. Sérillac. Alençon

II - Souvenirs de jeunesse

1. Ma vie d'écolier
2. L'École polytechnique

3. L'École des Ponts et Chaussées. Débuts de ma vie matrimoniale

4. Curriculum Vitae. Mes idées et mes goûts

III - Souvenirs de nos années de province

1. Rochefort
2. Cherbourg
3. Pontoise

IV - Souvenirs de notre vie à Paris

1. La princesse Mathilde et la famille impériale
2. La famille Bonaparte et quelques-uns de ses alliés

3. Famille royale de France. Princes et ambassadeurs étrangers

4. Le monde des lettres

5. Histoire et politique. Salons et ligues

6. Le monde des arts

V - Souvenirs de voyages d'avant-guerre

1. Villiers. Suisse. Alsace. Luxembourg

2. Angleterre

3. Bretagne

4. Italie

5. Hollande

6. Dauphiné. Côte d'Azur. Languedoc

7. Croisière dans la Baltique. Suède et Danemark

8. Russie

9. Croisière dans les eaux britanniques. Écosse. Irlande

10. Engadine. Tyrol. Allemagne du Sud

VI - Souvenirs des années de la guerre

1. Veille et début de la guerre

2. Mon séjour continu au front

3. Services d'arrière. Allées et venues sur le front

4. Autres souvenirs se rattachant à la guerre

5. Lendemain de la guerre

VII - Souvenirs d'après-guerre

1. Premières années qui ont suivi la guerre. Poitou et Franche-Comté

2. La Seine Maritime. Les Pyrénées

3. Limousin et Périgord

4. Corse

5. Pays basque français et espagnol

6. Faits divers

VIII - Souvenirs mathématiques

1. Mes débuts dans la vie mathématique

2. Mes premiers maîtres

3. Quelques autres maîtres de l'École polytechnique

4. L'Académie des sciences d'avant ma génération

5. L'Académie des sciences de ma génération

6. Société mathématique de France. Mathématiciens étrangers

7. Analyse sommaire de mes travaux mathématiques

Ce qui frappe au premier abord, c'est un projet à long terme mené à bout. En effet, ces livres ont été légués en 1935 à l'Institut, mais d'Ocagne en avait néanmoins commencé la rédaction le 27 octobre 1899¹, à partir de notes consignées quotidiennement dans des carnets à partir de l'année 1883. Contrairement à d'autres livres de souvenirs publiés (*Souvenirs et causeries*² et *Hommes et choses*

1. Maurice d'OCAGNE (1935d). « Mes souvenirs, livre I : Souvenirs de famille et livre II : Souvenirs de jeunesse », p. 1.

2. Maurice d'OCAGNE (1928d). *Souvenirs et causeries : hors des sentiers d'Euclide*. Plon.

de sciences^{3,4,5}), cette série de livres est de loin la plus personnelle. Dans l'avant-propos de son premier livre, il explique pourquoi il a entrepris cette longue aventure qui durera près de 35 ans :

« Je me suis toujours senti vivement attiré vers les choses du passé. Tout enfant je prenais un plaisir plus vif au récit, fait par les gens âgés, des évènements auxquels ils avaient assisté dans leur jeunesse, qu'à n'importe quel conte forgé par l'imagination des hommes. [...]

Ma curiosité se fut particulièrement complu à en saisir les détails dans ma propre famille. Cette satisfaction ne m'a pas été donnée autant que je l'eusse souhaité, nul de mes ascendants n'ayant eu la bonne inspiration de fixer par écrit, ses souvenirs. Le regret que j'en éprouve me pousse à ne pas imiter leur abstention, et je me propose de consigner ici, non seulement les faits les plus importants dont j'ai été l'acteur ou le témoin, mais encore ceux qui intéressent ma famille [...].

S'il s'en trouve, parmi mes descendants immédiats, pour qui ces souvenirs soient de peu d'intérêt, je les prie néanmoins, de les conserver avec soin. Peut-être, dans une génération plus éloignée, en surgira-t-il quelque autre, curieux comme moi de la vie de ses ancêtres, pour qui, [...] ils seront de quelque prix. [...] Pour contribuer au maintien de cette précieuse tradition, je désire vivement que ce Journal de la famille soit continué après moi. »

La plus grande partie des écrits de d'Ocagne consiste en la description de personnages et de lieux : femmes et hommes plus ou moins célèbres qu'il a rencontrés et qu'il dépeint de manière très détaillée (voir Annexe D pour la liste des personnes dont il fait une description minimale). Parmi les informations données, nous pouvons citer la description physique, des traits de caractère particuliers, des anecdotes, la relation qu'il a pu avoir avec eux, et surtout des repères généalogiques sur leurs ascendants et/ou descendants. Concernant les lieux géographiques, outre la description des villes et villages dans lesquels il passe, il aime également décrire la richesse du patrimoine français et étranger : les beaux bâtiments et monuments, les abbayes, les châteaux, leur histoire... Mais ce qu'il semble par dessus tout aimer décrire, ce sont les salons littéraires très en vogue à cette époque, tenus la plupart du temps par des dames de la noblesse.

3. Maurice d'OCAGNE (1930). *Hommes et choses de sciences*. 1^{re} série. Vuibert.

4. Maurice d'OCAGNE (1932a). *Hommes et choses de sciences*. 2^e série. Vuibert.

5. Maurice d'OCAGNE (1935b). *Hommes et choses de sciences*. 3^e série. Vuibert.

Nous ne savons pas si ces souvenirs ont été donnés uniquement à l'Institut ou s'il en existe des copies ailleurs, au sein de sa famille par exemple. Quoi qu'il en soit, ce journal est une véritable mine d'or à creuser et à analyser afin de comprendre la vie personnelle de d'Ocagne et d'en dégager certains traits de caractère. Dans ce chapitre et le suivant, la plupart des informations seront extraites de ces volumes de souvenirs sauf mention contraire. Nous nous concentrerons ici sur l'exploration de la jeunesse de d'Ocagne : après une première partie où nous dresserons un portrait des origines des ascendants de sa famille, nous ferons une petite incursion dans son enfance, puis nous verrons comment se sont déroulées ses cinq années d'études à l'École polytechnique et à l'École des ponts et chaussées.

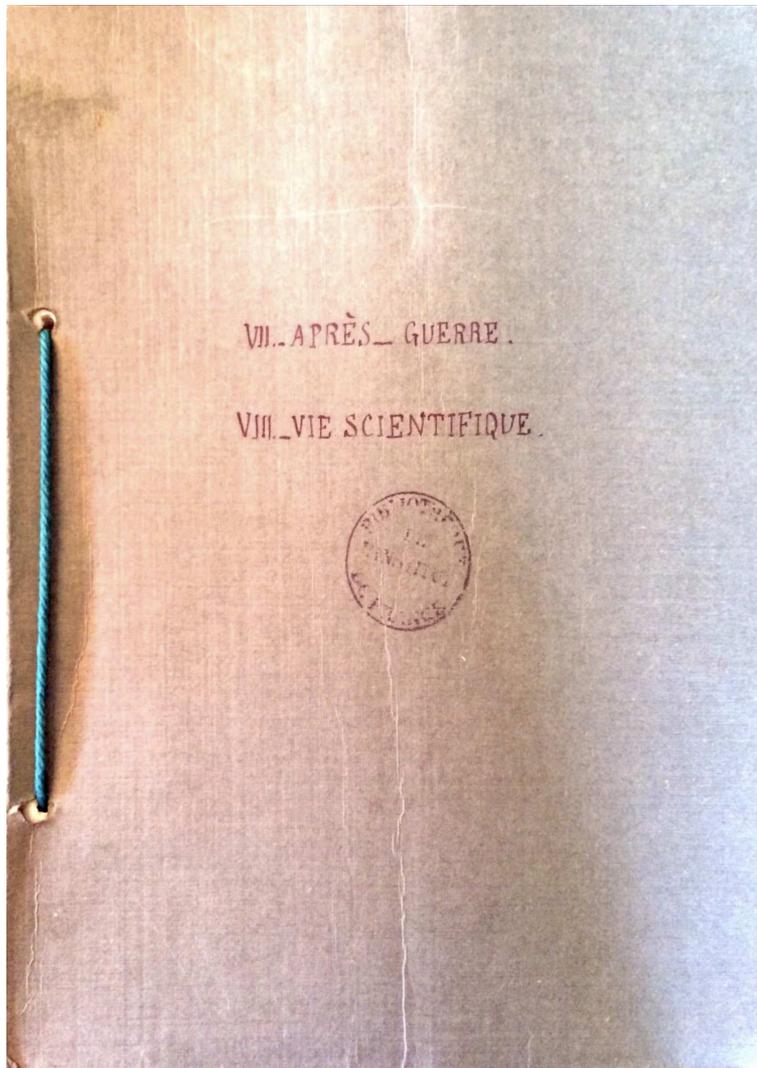


FIGURE 6.2 – Page de couverture de ses livres VII et VIII (1935). Source : Institut de France

6.1 La famille d'Ocagne

D'Ocagne est issu d'une famille de manufacturiers de dentelles de l'Orne de par son père et d'une famille de classe plutôt favorisée de Châteauneuf-sur-Loire de par sa mère. Son nom, comme de nombreux noms de cette époque, vient d'une commune de Normandie appelée Occagnes. Nous allons retracer ici des éléments généalogiques de la famille de Maurice.

6.1.1 Origine patronymique

Nous identifions la génération des noms de famille telle que nous la connaissons actuellement (de façon héréditaire) aux environs du 14^e siècle, à un moment où la croissance de la population ne permet plus de distinguer les individus grâce à un seul nom. Le nom d'un individu devient alors ce que nous appelons à présent le prénom, et l'adjonction d'un surnom (devenu le nom), permet alors de différencier les habitants d'un même village⁶. Le surnom donné pouvait provenir de multiples termes de la vie courante : des noms de métiers (Boucher, Lemarchand...), des noms de lieux (Langevin, Dubois...), des statuts (Leclerc, Labbé...), des sobriquets (Boiteux, Petit...), des liens de parenté (Cousin, Neveu...). Ces surnoms devenus noms ont bien évidemment, au fil du temps, eu des écritures différentes, et le patronyme de d'Ocagne n'échappe pas à la règle.

Le nom « d'Ocagne » provient d'un fief de Normandie : Occagnes (voir fig. 6.3), dans la commune d'Argentan dans l'Oise. Cette commune s'est successivement appelée Occagnes de 1159 à 1184, Ocanis et Ocaignes en 1198, Ocaignes jusqu'au 20^e siècle et enfin Occagnes⁷. De la même façon, le nom propre issu de ce fief a subi de nombreuses variations orthographiques, parfois même à l'intérieur d'un même document : Ocagne, Ocagnes, Occagne, Occagnes, Ocaigne, Occagnes.

Nous retrouvons des d'Ocagne (Guillaume et Jean) dès le 13^e siècle dans la commune d'Argentan. L'arbre généalogique ascendant sur sept générations de d'Ocagne (voir fig. 6.4) a été construit principalement à partir de données de ses souvenirs, et de celles issues de l'histoire du point d'Alençon pour la partie paternelle.

6. Dominique BARTHÉLEMY (1990). « Les noms de famille sont nés au Moyen Âge ». *L'histoire*. 130.

7. SITE DE LA COMMUNE D'OCCAGNES (2020). *Histoire et patrimoine*. URL : <https://www.occagnes.fr/histoire-patrimoine> (visité le 23/10/2020).



FIGURE 6.3 – Cadastre parcellaire de la commune de d'Occagnes aux 19^e et 20^e siècles. Source : Archives départementales de l'Orne

6.1.2 Sa famille paternelle

La famille de Maurice du côté de son père est issue essentiellement des communes d'Argentan et d'Alençon dans l'Orne, avant d'effectuer sa migration vers Paris dans la deuxième partie du 18^e siècle à la faveur du commerce. En 1644, le sextisaïeul de Maurice, Abraham d'Ocagne, se marie avec Marie Thouars Duplessis, union qui donnera le nom « d'Ocagne Duplessis » à la famille jusqu'à la Révolution. La branche paternelle semble avoir adopté la religion protestante aux origines, dès la Réforme.

Au milieu du 17^e siècle, l'industrie de luxe s'implante peu à peu en France, notamment grâce à la dentelle : importée des Flandres et d'Italie, elle cohabite également avec des industriels français. Sous l'égide de Colbert ⁸, voulant promouvoir

8. Jean-Baptiste Colbert (1616-1683) : ministre français du roi Louis XIV, contrôleur général

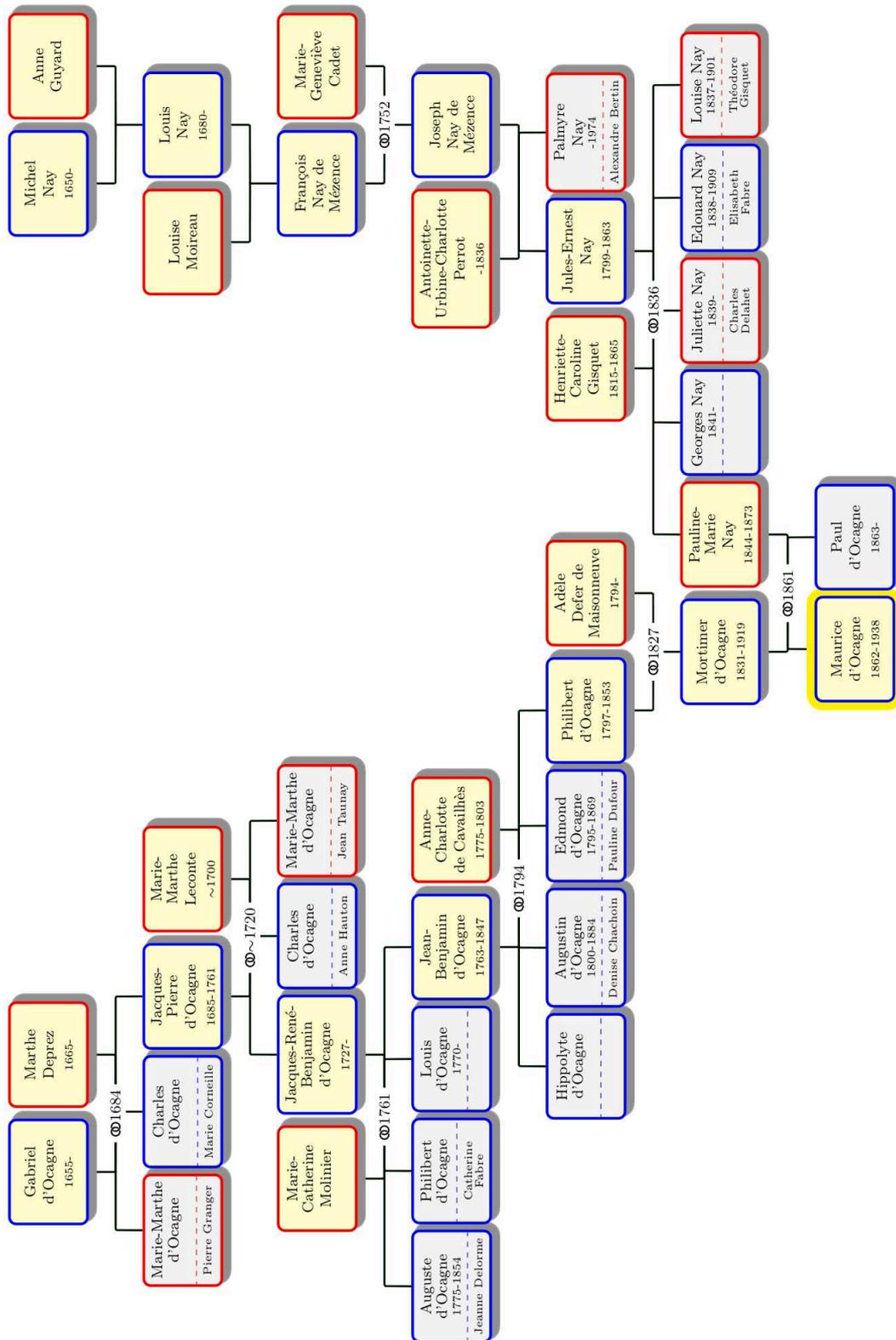


FIGURE 6.4 – Arbre généalogique des ascendants de d'Ocagne

des finances, secrétaire d'État de la maison du roi et de la Marine.

le luxe à la française et ainsi garder la prospérité de la France, des manufactures de dentelles qui devaient au moins rivaliser avec les manufactures étrangères sont fondées. Colbert accorde en 1665 un privilège du roi pour l'installation d'une compagnie chargée de définir des bureaux de manufacture dans les villes où sont déjà fabriquées des dentelles, dont Alençon fait partie⁹. Quasiment dès le début, la famille d'Ocagne prend part à cette aventure en fabriquant des points d'Alençon¹⁰. Gabriel d'Ocagne, sixième génération d'ascendant de d'Ocagne et Marthe Deprez, son épouse, sont les premiers à être cités comme fabricants de points aux environs de la fin du 17^e siècle. S'en suivront leurs enfants Marie-Marthe, Charles et Jacques-Pierre; puis Jacques-René-Benjamin, Charles et Marie-Marthe les enfants de Jacques-Pierre; Philibert et Jean-Benjamin, deux des quatre enfants de Jacques-René-Benjamin, et enfin Philibert, fils de Benjamin (voir arbre généalogique fig. 6.4). Pendant près de deux siècles, jusqu'en 1854, la maison d'Ocagne sera donc associée à la fructueuse manufacture de points d'Alençon. Afin d'assurer son commerce, le déménagement de la famille du fief d'Alençon vers Paris a lieu dans la deuxième moitié du 18^e siècle. Lors de multiples expositions de 1819 à 1864, ils obtiendront à ce titre différents prix. À partir du 19^e siècle, le début du déclin de la dentelle à l'aiguille au profit de la dentelle mécanique rend les affaires plus difficiles et la famille d'Ocagne s'oriente alors vers d'autres métiers.

Plus proche de Maurice, son arrière grand-père Jean-Benjamin aura quatre fils avec Anne-Charlotte de Cavailhès : Edmond, Hippolyte, Augustin (appelé Gustave) et Philibert. Veuf neuf ans après son mariage (en 1794), il laissera l'éducation de ses deux plus jeunes fils, Gustave et Hippolyte à d'autres. Gustave sera le grand voyageur de la famille. Le grand-père de Maurice, Philibert, marié en 1827 à Adèle Defer de Maisonneuve, eut un fils : Mortimer, le père de Maurice. De ce père, il ne donne pas de détails aussi précis que pour le reste de sa famille plus éloignée, mais des bribes de description tout au long de ses livres. C'est un associé d'agent de change et homme de lettres. Il a notamment écrit en 1873 *Les grandes écoles de France*¹¹ dans lequel il expose l'histoire de certaines grandes écoles de l'époque (écoles militaires et civiles), les examens, les tarifs et les carrières possibles. Mortimer aime sortir le soir quotidiennement et alterne opéra,

9. Gerasime Bonnaire DESPIERRES (1886). *Histoire du point d'Alençon*. Librairie Renouard, H. Laurens, Alençon.

10. Le point d'Alençon, ou dentelle d'Alençon, ou encore dentelle au Point d'Alençon, est une dentelle à l'aiguille, dont le savoir-faire est inscrit au patrimoine immatériel de l'humanité par l'UNESCO.

11. Mortimer d'OCAGNE (1873). *Les grandes écoles de France*. J. Hetzel et c^{ie}.

théâtre, music-hall, cirque... Il finira par effectuer des critiques dramatiques à la *Revue britannique*. Son décès survient le 23 mars 1919 à la suite d'une congestion pulmonaire à l'âge de presque 89 ans.

6.1.3 Sa famille maternelle

Du côté de sa mère, Maurice a beaucoup moins d'informations : selon lui, la sphère familiale maternelle n'a pas toujours pu assurer une bonne cohésion et certaines informations ont pu ne pas traverser les générations. La famille Nay est une famille dans laquelle nous avons une comtesse, une baronne, une princesse, un préfet de police, souvent par alliance, et des professions médicales. À priori, il n'y a pas ou peu de commerçants ou d'artisans. La famille Nay est issue de Chateauneuf-sur-Loire dans le département du Loiret, et s'installe à Paris dans la deuxième moitié du 18^e siècle, tout comme la famille d'Ocagne. Son grand-père maternel, Jules-Ernest Nay, fait une carrière dans l'administration des finances après quelques années à la préfecture de Police sous les ordres de son beau-père, le préfet de police Henri-Joseph Gisquet. De leur union naquirent cinq enfants : Édouard, Juliette, Georges, Louise et Pauline-Marie, la mère de Maurice. L'union de Mortimer et de Pauline-Marie, le 17 janvier 1861 donnera naissance à Maurice le 25 mars 1862 et Paul, son frère cadet, le 29 novembre 1863.

Parmi les très nombreux faits énumérés dans ses *Souvenirs*, parfois avec beaucoup de détails même dans son enfance, Maurice ne consacre qu'un seul petit paragraphe au décès de sa mère. Morte d'une affection le 16 mars 1873 alors qu'il avait 11 ans, elle avait contracté une maladie de poitrine qui, mal soignée, s'était aggravée. À partir de 1866, des soins donnés en stations balnéaires telles que Forges-les-Eaux, Luchon et Enghien n'étaient pas venus à bout de la maladie. Il reste dans ses écrits qu'elle était une mère douce et aimante absorbée par les soins à donner à ses enfants.

6.2 L'enfance de d'Ocagne

Le jeune Maurice a une enfance marquée par deux événements douloureux : la guerre franco-prussienne de 1870-1871 et la mort de sa mère en 1873. Malgré cela, il est très bien entouré et sa famille veille tant à son épanouissement qu'à son éducation : à Paris où il vit avec ses parents, il effectue une scolarité de bon niveau à l'institution Mar puis au collège Chaptal et enfin au lycée Fontanes. Mais dès

le début de l'été, les d'Ocagne s'échappent de la vie parisienne pour s'installer la plupart du temps en Normandie ou au château de Sérillac, une villégiature très prisée ensuite durant de nombreuses années.

6.2.1 Lieux d'habitation parisiens et guerre de 1870

Maurice naît le 25 mars 1862 dans le 10^e arrondissement de Paris, dans un petit-hôtel familial situé au 14 rue des Petits Hôtels, où ses parents habitent avec une partie de sa famille maternelle. Son frère cadet, Paul, naît un an et demi plus tard, le 29 novembre 1863, sous le même toit. Ils sont tous les deux officiellement baptisés à l'église Saint-Vincent-de-Paul, ce qui met fin à la lignée protestante des d'Ocagne. En octobre 1864, l'hôtel devenant trop exigü, la famille déménage à 200 m de là au 92 rue d'Hauteville. En 1867, Maurice, Paul et ses parents quittent le 10^e arrondissement pour le tout nouveau 11^e de l'ouest parisien¹², 3 rue Guichard. C'est à cette même époque qu'une personne ayant compté comme un propre membre de la famille entre en scène : il s'agit de Joséphine Loyenet. Née en 1837 en Haute-Saône (de ses vrais prénoms Jeanne Josephe, aussi appelée Fine) et embauchée comme employée de maison, elle remplacera par son dévouement et son affection la mère de Maurice et de Paul pendant leur enfance et restera dans la famille jusqu'à sa mort. En 1868, les d'Ocagne retrouvent une adresse plus au centre de Paris, au 58 rue de Clichy dans le 9^e arrondissement. Il semblerait qu'une raison à ce déménagement soit due à une volonté d'inscrire Maurice et Paul dans un établissement où ils pourraient suivre des études plus régulières. Enfin, aux environs des années 1880, Mortimer emmène sa famille au 58 rue de l'Arcade dans le 8^e arrondissement.

Durant sa jeunesse, Maurice subit pour la première fois une guerre : en juillet 1870, la guerre franco-prussienne qui mettra fin au Second Empire, éclate. Le jeune d'Ocagne semble tout d'abord fasciné devant une telle perspective¹³ :

« Paul et moi étions donc transportés à l'idée de voir s'ouvrir une guerre, une « vraie guerre » et non de ces expéditions lointaines dont il n'est possible de recueillir qu'un écho affaibli. Nous en attendions de beaux récits qui feraient défiler à nos yeux d'irrésistibles assauts, de foudroyantes canonnades et de triomphantes chevauchées. Et pour calmer notre impatience

12. Arrondissement que d'Ocagne appelle encore *Passy* dans ses écrits, ancienne commune de la Seine ayant été rattachée à la commune de Paris le 1^{er} janvier 1860.

13. Maurice d'OCAGNE 1935d, p.75.

nous organisions, avec nos boîtes de soldats de plomb, des combats gigantesques où le Prussien était littéralement écrasé par le Français. »

Le 4 septembre 1870, le jour de la capitulation de Napoléon III et de la chute du Second Empire, c'est Joséphine qui annonce la nouvelle aux deux frères ¹⁴ :

« Mes enfants, l'Empereur est prisonnier avec son armée! ... À Paris, on ne veut plus de l'Empereur! ... On est en république! »

Face à la réalité, et aux nouvelles de moins en moins réjouissantes, c'est un sentiment de profonde tristesse auquel il doit faire face (écrit le 4 septembre 1903, soit 33 ans après les faits) ¹⁵ :

« L'idée de l'humiliation infligée à nos armes [...] m'était absolument insupportable.

Quant à admettre que l'Empereur pouvait cesser d'être Empereur, et plutôt que mon cher « Petit Prince » pût n'être plus considéré comme le souverain de demain, cela ne pouvait pas m'entrer dans la tête. Les gens, dont j'ignorais même la personnalité, et qui s'étaient à Paris, constitués en gouvernement, n'étaient à mes yeux, que des sujets rebelles et traîtres qui devaient être vigoureusement châtiés. »

Pendant cette période, afin de fuir au mieux les combats, Maurice, Paul, sa mère et Joséphine traversent la France à plusieurs reprises sous les injonctions de son père, qui avait rejoint des bataillons de Parisiens. Ils se réfugient à partir du 12 août 1870 successivement dans les villes de la Ferté-Bernard, Le Mans, Sérillac, Chanteauneuf-sur-Charente, Saint-Valéry-en-Caux et Honfleur. Le retour à Paris se fait le 12 septembre 1871 après la guerre.

6.2.2 Escapades estivales

Durant la petite enfance de Maurice, la famille d'Ocagne prend l'habitude de s'évader de la capitale pendant les périodes d'été, une habitude qui ne le quittera plus, y compris lors de sa vie d'adulte. C'est ainsi qu'il découvre Bougival en 1862, Montmorency en 1863, Sérillac à partir de 1864, Fontainebleau en 1865 et 1868, Boulogne-sur-Mer en 1865 et 1867, Montretout en 1866, Forges-les-Eaux en 1866 et 1868, Luchon en 1869, Chateauneuf-sur-Charente en 1869 et 1870, Cherbourg, Chassors, la Ferté-Bernard en 1870, le Mans en 1870 et 1881, Saint-Valéry-en-Caux en 1871, Honfleur en 1871, le Tréport en 1874, Trouville à partir de 1875,

14. Maurice d'OCAGNE 1935d, p.78.

15. Ibid., p.78.

Divonne en 1881, Étretat à partir de 1881, Eaubonne en 1883, Varangéville en 1883 et 1884, Montigny-sur-Loing en 1885 et Veules-les-Roses en 1885 (voir carte fig. 6.5). La plupart de ces lieux se situent au nord-ouest de Paris près de la côte

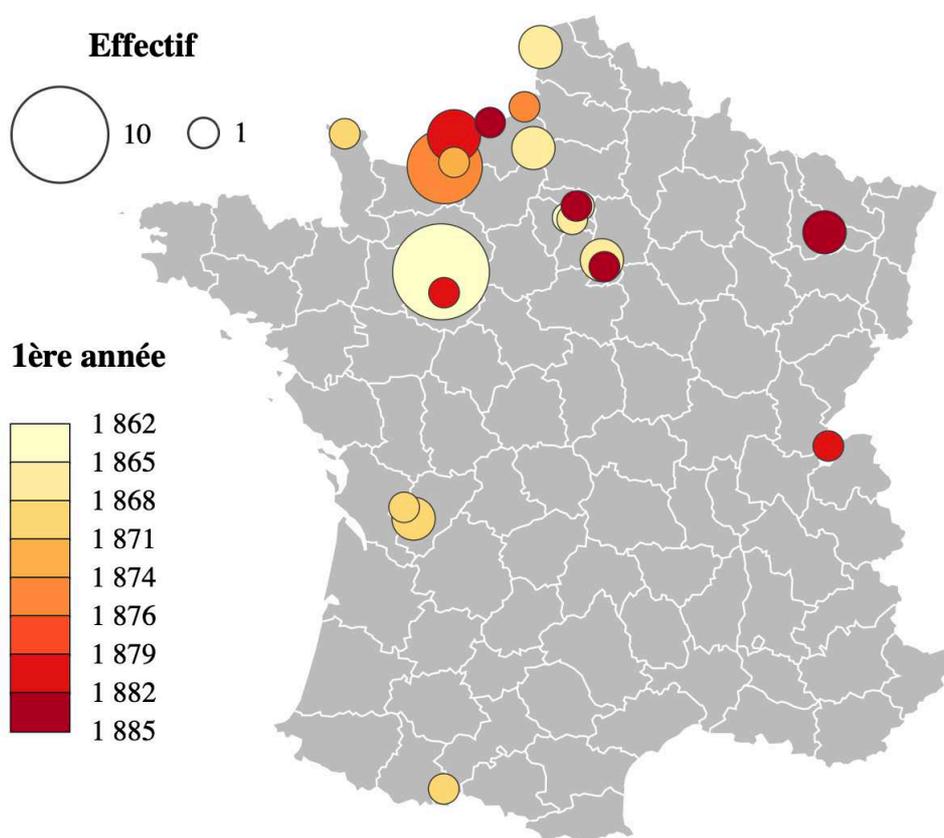


FIGURE 6.5 – Lieux de villégiatures estivales de d'Ocagne de 1862 à 1885

normande, à l'exception de certains qui découlent de faits de vie particuliers. Le transport se fait en chemin de fer et en calèche. C'est ainsi que, pour les bienfaits des eaux qu'elles procurent, plusieurs villes thermales ont été choisies en raison de la maladie de Pauline, la mère de Maurice. D'abord à Forges-les-Eaux, puis, bien plus loin, à la montagne et plus précisément à Luchon dans les Pyrénées.

Maurice fait également quelques voyages à l'étranger : d'Ocagne père propose un voyage en Suisse en 1873 à la suite de la mort de sa mère afin d'apporter quelques diversions au lourd chagrin de ses enfants. En 1876, ils effectuent un voyage sur l'île de Jersey. Alors qu'il est polytechnicien, Maurice fait une escapade en Suisse, en 1881, avec l'un de ses camarades. Par le plus grand des hasards, il se retrouvera dans une auberge avec les frères Lallemand dont l'ainé, Charles, deviendra quelques années plus tard son directeur au service du nivellement gé-

néral de la France. Enfin, il visite la capitale belge Bruxelles en 1885 lors de sa dernière année d'études d'ingénieur.

Mais attardons-nous sur le château de Sérillac. Situé sur la commune de Beaumont-sur-Sarthe, la famille d'Ocagne y passera une partie de ses vacances à partir de 1864, ce qui laissera à Maurice de nombreux souvenirs d'enfance. Ce nom à l'origine gasconne est dû à une lignée du Gers : les Faudoas, devenus manceaux, mais qui transmirent à la famille le nom de Faudoas-Sérillac¹⁶. En 1653, la terre alors baptisée Courteilles-les-Meules est érigée en comté du nom de Sérillac¹⁷. À partir de 1875, la famille d'Ocagne y passe ses vacances dès que possible, et pas seulement les vacances d'été. Leurs hôtes sont les cousins d'Angely : la comtesse de Sérillac Marie-Antonie-Alexandrine de Faudoas-Sérillac et son époux le comte Albert-Charles d'Angely leur laissent toute la latitude à occuper le château, les considérant comme de leurs propres neveux. Madame d'Angely, n'ayant pas d'enfant et n'entretenant pas de rapports intimes avec sa famille, avait laissé sous-entendre que le château pourrait revenir un jour à un membre de la famille d'Ocagne. Il y avait bien aussi une branche familiale de la noblesse de Haute-Normandie (la famille Bagneux) à qui elle aurait pu léguer son héritage, ce qui aurait pu lui conférer une branche généalogique de la plus grande importance. Mais la comtesse semblait posséder un certain goût pour la dépense, et à la mort de son mari, elle continua à dépenser sans compter et le château fini par tomber dans les mains d'un homme de biens. Toutes ses intentions de legs sont restées lettre morte : ni les d'Ocagne, ni les Bagneux, ni même l'église ou le Comté n'eurent droit à un quelconque bien.

6.2.3 Scolarité en institution et au collège Chaptal

D'Ocagne est envoyé à l'école à l'âge de six ans, en 1868, dans une petite institution familiale mixte tenue par Mme Mar. Son éducation se fait les après-midis puisque les matinées sont réservées aux filles.

En 1872, ses parents voulant leur donner une éducation plus régulière, Maurice (10 ans) et son frère Paul (9 ans) sont inscrits au collège Chaptal dans le 8^e arrondissement de Paris. Cet établissement, créé en 1844 par Prosper Goubaux¹⁸,

16. Le vrai « château de Sérillac » se situe à La Sauvetat dans le Gers.

17. Max PRINET (1909). « La maison de Faudoas (Gascogne, Maine et Normandie), par l'abbé Ambroise Ledru ». *Bibliothèque de l'École des chartes*. 70, p. 562-564.

18. Prosper-Parfait Goubaux (1795-1859) : répétiteur français de grec et de latin, dramaturge, est à l'origine de la création d'une maison d'éducation en 1820, transférée en 1930 dans la circonscription du collège Bourbon, puis vendue à la ville de Paris en 1846 qui le renomme collège

jouit déjà d'une bonne réputation en terme de pédagogie et de résultats. L'enseignement y est composé de trois cycles : le cours préparatoire ; les divisions moyennes constituées de quatre années nommées première, deuxième, troisième, quatrième ; les divisions supérieures, cinquième ou mathématiques élémentaires à l'issue de laquelle les élèves passent le bac, et sixième année de mathématiques spéciales pour ceux qui se destinent à entrer dans des grandes écoles. Le collège Chaptal envoie notamment la plupart de ses élèves de mathématiques spéciales à l'École centrale, l'École polytechnique ou encore l'École de physique et de chimie¹⁹.

Maurice entre dans la filière latin-sciences alors que son frère est inscrit en sciences-langues, choix fait par leur père eu égard au rôle de plus en plus important des sciences dans la vie sociale. Maurice regrette cependant de n'avoir pas fait d'études basées sur les humanités et entreprend donc des études parallèles à partir de cours particuliers et de solides lectures. En 1875, il remporte le prix d'excellence de mathématiques et se découvre une passion naissante pour la géométrie. Les années suivantes, il écrit régulièrement dans des journaux de mathématiques élémentaires, en rédigeant des solutions à des questions posées sous forme de petits problèmes, et en formulant des remarques personnelles. C'est à cette époque qu'émerge l'idée d'entrer à l'École polytechnique. En 1878, à 16 ans, il obtient le diplôme de bachelier ès sciences lui permettant d'entrer en classe de mathématiques spéciales. Cette année là, il passe le concours de l'École polytechnique pour lequel il est admissible, mais il échoue à 45 places de l'admission en étant classé 255^e sur 500 admissibles. Suite à cet échec, il change d'établissement afin de refaire son année de mathématiques spéciales avec d'autres enseignants et entre en 1879 au lycée Fontanes, devenu en 1883 le lycée Condorcet, dans le 9^e arrondissement. Il est admis au concours à la fin de l'année scolaire.

6.3 Ses études d'ingénieur

D'Ocagne poursuit des études brillantes à Polytechnique, même si ses résultats sont quelque peu irréguliers. Son classement à la sortie de l'école lui permet d'entrer à l'École des ponts et chaussées et ainsi d'embrasser une carrière d'ingénieur, mais déjà l'idée d'une carrière plus scientifique semble germer en lui.

François 1^{er} puis collège Chaptal.

19. Ernest-Charles COUTANT (1889). *Le collège Chaptal. Son origine, caractère de son enseignement, son organisation générale, ses résultats*. Hennuyer A.

6.3.1 L'École polytechnique



FIGURE 6.6 – D'Ocagne en habits de polytechnicien (1880). Source : ENPC

L'année de son intégration à Polytechnique, en 1880, d'Ocagne termine 20^e sur 210 au concours d'entrée. Lors des épreuves d'admissibilité, il excelle en terminant, selon ses souvenirs, major en mathématiques avec une note de 19/20 à chacune des épreuves orales de mathématiques : algèbre et géométrie analytique d'une part, géométrie descriptive et mathématiques élémentaires d'autre part. En revanche, sa piètre prestation à l'écrit laisse en lui une impression amère et une certaine vexation puisque, dans son collège, il s'était posé en spécialiste de résolution de problèmes. En cette qualité, il aurait dû obtenir de bien meilleurs résultats lors des écrits. En revanche, son classement dans les 25 premiers lui confère le statut de chef de groupe et le galon de sergent : la promotion est divisée en 25 groupes de huit à neuf élèves qui se partagent une salle d'étude, un dortoir et une table à manger sous l'égide de leur chef.

Ses résultats scolaires à l'École polytechnique sont plutôt bons (voir fig. 6.7). Après avoir été classé 20^e au concours d'entrée, il se place 7^e à l'issue du premier

Numéro de classement d'admission à l'École.....	20
..... du 1 ^{er} Semestre en 2 ^e Division	7
..... de passage en 1 ^{ère} Division...	17
..... du 1 ^{er} Semestre... id.....	14
..... de sortie de l'École.....	28

FIGURE 6.7 – Classements de d'Ocagne à l'École polytechnique (1882). Source : Archives nationales

semestre de la première année (seconde division), 17^e en fin de première année, puis 14^e au premier semestre de seconde année et enfin 28^e en fin d'école. Remarquons tout de même que le deuxième semestre est souvent signe de régression pour d'Ocagne, la faute à un certain laisser-aller à la suite d'un bon premier trimestre, et à un excès de confiance. Il explique d'ailleurs ses résultats irréguliers aux derniers examens par un manque de travail dans certaines matières comme la stéréotomie qui ne le passionne pas vraiment, la physique et la chimie qui nécessitent un effort d'apprentissage, alors qu'il prend beaucoup de plaisir à faire des mathématiques. Son classement dans les 34 premiers lui permet d'obtenir une place dans la « Grosse botte », c'est à dire un ticket d'entrée pour les Mines ou les Ponts et Chaussées.

Entré en 1880 à l'âge de 18 ans, il y reviendra en 1893 en tant que répétiteur, puis professeur en 1912 et finira doyen de cette école. C'est notamment le prestige et le nombre d'hommes importants qu'elle aura produit qui aura incité d'Ocagne à y retourner sans cesse.

6.3.2 L'École des ponts et chaussées

Le 1^{er} octobre 1882, Maurice entre à l'École des ponts et chaussés, âgé de 20 ans, en tant qu'élève-ingénieur de 3^e classe à un rang de 18^e. Dans ses écrits, il occulte quelque peu sa vie d'élève pour parler essentiellement de ses sorties personnelles et militaires. Néanmoins, ses résultats sont très bons : dans l'extrait de travail et de conduite de d'Ocagne lors de sa première année, il est considéré comme un élève intelligent, et on souligne son très bon niveau en géométrie. Il



FIGURE 6.8 – D'Ocagne à l'École des ponts et chaussées. Source : ENPC

termine en 20^e position²⁰. Il devient élève-ingénieur de 2^e classe le 29 juin 1883 à la fin de sa première année, année au cours de laquelle il commence à donner des colles à l'école Sainte-Geneviève et au collège Stanislas pour les futurs polytechniciens avec, en arrière-pensée, l'objectif d'intégrer un jour l'École polytechnique en tant qu'enseignant.

Cette année là, il se marie avec Gabrielle Hillemacher et il effectue son stage de fin d'année en tant que sous-lieutenant du génie à Versailles. Puis, il enchaîne sur sa première mission au service spécial de la navigation de la Mayenne, de la Sarthe, de la Maine, du Loire et de l'Oudon comme élève-ingénieur à Angers. Mais déjà, la carrière d'ingénieur ne semble guère l'intéresser, sa passion pour les mathématiques étant encore bien présente. De ce fait, sa mission est qualifiée

20. ARCHIVES NATIONALES (s. d.). « Dossier professionnel de Maurice d'Ocagne », état du personnel et compte rendu du travail et de la conduite des élèves pendant la session 1882-1883.

seulement de « passable » avec une note de 195/300²¹. Il cite²² :

« Oserai-je avouer que toutes ces visites n'avaient guère le don de m'intéresser? La fibre de l'ingénieur était loin, bien loin, de s'être développée chez moi comme celle du mathématicien. Le hasard de mon classement de sortie m'avait fait classer dans les Ponts et Chaussées, mais, dès ce premier contact, je sentais bien que ce n'était pas de ce côté là qu'évoluerait ma carrière. »

Sa seconde année à l'école ne change en rien sa vision du métier d'ingénieur et son attrait vers une carrière scientifique et l'enseignement. Il n'est pas très appliqué dans ses études et son assiduité. Son travail, sa conduite et sa tenue sont qualifiés de « suffisants » avec toujours une appétence certaine pour la géométrie pure²³. Il devient père cette année là et il accède au grade d'élève-ingénieur de première classe le 25 juin 1884. Son second stage militaire, il le fait de nouveau à Versailles pendant l'été 1884, et c'est à Fécamp, au service maritime du département de la Seine-Inférieure, qu'il effectue sa deuxième mission d'élève ingénieur. Tout comme lors de sa première mission, il ne semble pas prendre très au sérieux son travail avec une note de 105/300. Il perd encore deux places pour terminer à la 22^e place et se classera finalement 23^e à l'issue de la troisième année. Son dernier rapport de l'École des ponts et chaussées²⁴ mentionne toujours son intelligence et son goût pour la géométrie, mais une négligence envers son travail à l'école (voir fig. 6.9). Il termine cependant avec une mention parfaite de conduite et de tenue.

6.4 Conclusion

Maurice d'Ocagne est issu d'une famille de l'Orne ayant travaillé dans l'artisanat de la dentelle du côté de son père jusqu'au 18^e siècle, et de l'aristocratie de par sa mère. Son père est un homme de lettres et tient particulièrement à ce que ses fils aient une bonne éducation scolaire, n'hésitant pas pour cela à déménager afin de se rapprocher des meilleures écoles. C'est ainsi qu'il est scolarisé à

21. ARCHIVES NATIONALES (s. d.). « Dossier professionnel de Maurice d'Ocagne », état du personnel et compte rendu du travail et de la conduite des élèves pendant la session 1883-1884.

22. MAURICE D'OCAGNE 1935d, p. 224.

23. ARCHIVES NATIONALES (s. d.). « Dossier professionnel de Maurice d'Ocagne », état du personnel et compte rendu du travail et de la conduite des élèves pendant la session 1883-1884.

24. ARCHIVES NATIONALES (s. d.). « Dossier professionnel de Maurice d'Ocagne », état du personnel et compte rendu du travail et de la conduite des élèves pendant la session 1884-1885.

Degrés de mérite obtenus pendant la Session 1884 - 1885.														Total des degrés obtenus depuis l'entrée à l'École.	Observations.	
Journal de mission de 1884.	Concours, examens et travaux divers.												Total			
	Archi-lecture	Méca-unique	Minéral et géologie	Séjour agricole	Routes de plan et Nivellement	Chemins de fer	Travaux à l'échelle	Travaux maritimes	Travaux intérieurs	Travaux extérieurs	Travaux politiques	Travaux administratifs		Travaux littéraires	Travaux de langues étrangères	Travaux de machines
Max: 300	Max: 200	Max: "	Max: 140	Max: "	Max: "	Max: 400	Max: 300	Max: 20	Max: "	Max: 200	Max: 400	Max: "	Max: 400	Max: 2820	Max: 5520	
105	170	"	89,20	"	"	290	445	116	"	150	210	"	362,64	1867,84	3762,53 (13,19)	<p>Assiduité suffisante</p> <p>Travail bon</p> <p>Conduite parfaite</p> <p>Tenue parfaite</p> <p>M. D'Ocagne est marié et père de famille - Très intelligent - Très versé dans la géométrie, qui lui a fait un peu négliger son travail de l'École.</p>

FIGURE 6.9 – Notes de d'Ocagne à l'École des ponts et chaussées (1884-1885). Source : Archives nationales

l'Institution Mar, au collège Chaptal puis au lycée Fontanes de Paris.

Son enfance est rythmée par des déplacements : les d'Ocagne aiment à se ressourcer hors de Paris, notamment sur la côté normande. Maurice passera par conséquent la plupart de ces étés à la campagne, dans des résidences d'été ou au sein même du château des cousins d'Anglely. Sa jeunesse est cependant marquée par deux faits importants et douloureux : le décès de sa mère en 1873 et la guerre franco-allemande de 1870.

Son bac ès sciences en poche à 16 ans, il poursuit de brillantes études à Polytechnique, puis à l'École des ponts et chaussées. Il prend assez tôt goût aux mathématiques, en particulier pour la géométrie. Il commence ainsi à publier des articles dès 1876 dans des journaux d'Écoles. Aux Ponts et chaussée, on souligne son intelligence mais on regrette qu'il délaisse quelque peu ses stages pratiques.

Nous verrons dans le chapitre suivant que ces traits de caractère : son appétence pour la géométrie et les publications, et son faible attrait pour le métier d'ingénieur, seront amplifiés par la suite.

La vie d'adulte de Maurice d'Ocagne

Sommaire du présent chapitre

7.1 Sa vie personnelle	260
7.1.1 Vie familiale	260
7.1.2 Ses passions littéraires et théâtrales	262
7.1.3 Les salons de la princesse Mathilde	264
7.1.4 L'affaire Dreyfus et la Ligue de la patrie française . .	267
7.2 Sa vie professionnelle	271
7.2.1 Sa carrière d'ingénieur des Ponts et Chaussées	271
7.2.2 Sa carrière d'enseignant	282
7.2.3 Sa carrière de scientifique	288
7.3 Conclusion	300

Dans la continuité du précédent chapitre, nous allons étudier ici la vie personnelle et professionnelle de d'Ocagne en tant qu'adulte. D'une part, nous nous pencherons sur sa vie familiale, ses passions littéraires, l'appartenance à des salons mondains et son lien avec l'affaire Dreyfus. D'autre part, nous analyserons sa carrière multi-facettes en tant qu'ingénieur, enseignant et scientifique, créateur du « corps de doctrine » qu'est la nomographie.

L'étude des différentes carrières qu'il a eues, corrélée avec les éléments de sa vie personnelle, devrait nous permettre de faire ressortir une image de d'Ocagne, du point de vue de ses passions et de certains de ses traits de caractère. Il faudra cependant garder en tête que cette image sera nécessairement celle qu'il aura

voulu transmettre à travers ses livres de souvenirs notamment, et que de ce fait, elle ne constituera pas une image complètement objective de cet homme.

7.1 Sa vie personnelle

7.1.1 Vie familiale

À sa sortie de l'École polytechnique, d'Ocagne passe ses vacances d'été de l'année 1882 à Étretat avec son père et son frère Paul. Ce dernier, ayant fait des études à l'École centrale, s'était fait d'André Thorailleur un camarade de promotion assez intime. Paul se marie avec la sœur d'André : Madeleine, le 10 avril 1886, devenant ainsi son beau-frère. La mère d'André disposait à Étretat d'une villa qu'elle aimait partager et elle était en liens étroits avec la veuve du célèbre compositeur Jacques Offenbach. C'est à l'occasion d'une invitation de Madame Offenbach, de la famille Hillemacher, que Maurice rencontre pour la première fois Marie Gabrielle, qui deviendra sa femme. Gabrielle, ou encore Marguerite, naît le 16 juin 1862 à Paris de père Frédéric-Désiré Hillemacher et de mère Éléonore Pagnerre. Cette dernière est la fille d'un ancien officier des armées de Napoléon, devenu directeur du journal politique bonapartiste *Le journal du Loiret* : Édouard Pagnerre. Quant à la branche du côté de son beau-père Hillemacher, elle est issue d'une bonne famille rhénane, devenue française lors de l'annexion de la Belgique et de la Rhénanie par Napoléon de 1794 à 1814. Frédéric Hillemacher est directeur de la *Compagnie des quatre canaux*, société créée en 1821 par son père et chargée de réaliser différents canaux du centre et de l'ouest de la France¹. Ses fonctions lui laissent toutefois du temps pour vaquer à des occupations multiples : étude de l'histoire de la Révolution française et du théâtre, gravure, peinture, écriture, pratique du violon sont autant de passe-temps que M. Hillemacher aime à entretenir. Gabrielle, quant à elle, pratique le violon, tout comme son père. Elle obtient un premier prix de violon au Conservatoire de Paris peu avant l'été 1882, sa sœur aînée Lucile ayant obtenu celui de violoncelle l'année précédente. Lorsqu'il décrit sa première « rencontre » avec Gabrielle, en juillet 1929, d'Ocagne semble complètement conquis et s'exprime en ces mots² :

1. *Compagnie des quatre canaux* (2020). URL : https://fr.wikipedia.org/wiki/Compagnie_des_quatre_canaux (visité le 23/11/2020).

2. Maurice d'OCAGNE (1935d). « Mes souvenirs, livre I : Souvenirs de famille et livre II : Souvenirs de jeunesse », p. 197.

« Beaucoup d'hommes ont-ils, comme moi, dès leurs premiers pas dans la vie, eu le privilège de rencontrer celle en qui se réunissaient toutes les qualités morales et les attraits physiques répondant à leur idéal, celle qui - je tiens à le répéter - semblait destinée, par un décret spécial de la Providence, à devenir la meilleure des compagnes, telle même qu'après non loin d'un demi-siècle d'union, je ne saurais imaginer qu'il eût pu, pour moi, s'en trouver de plus accomplie et plus digne de ma constante et profonde tendresse? »

Maurice et Gabrielle se fiancent début 1883, espérant se marier au plus tôt. Pour Mortimer d'Ocagne, le père de Maurice, leur jeune âge (21 ans) est un frein à un mariage rapide, arguant pour cela qu'il devrait terminer ses études à l'École des ponts et chaussées avant de s'unir. Cependant, Maurice arrive finalement à convaincre son père qu'une vie maritale parisienne serait un bénéfice pour eux deux, avant qu'il ne soit envoyé comme ingénieur n'importe où en France. Ils se marient donc civilement le 10 avril 1883 à Paris, dans le 8^e arrondissement, puis religieusement le 11 avril 1883 à l'église Saint Roch, faisant salle comble en raison des multiples relations des deux familles.

Les premières années de leur union se passent au domicile des parents de Gabrielle dans un petit logement dédié. Le 23 janvier 1884, Maurice et Gabrielle ont un premier enfant : Frédéric-Mortimer-Pierre. Le prénom de Pierre est le prénom que la mère de Maurice aurait donné à un éventuel troisième enfant s'il avait été un garçon. Pierre aura plusieurs passions : la musique, la peinture et l'athlétisme, et deviendra capitaine d'artillerie durant la Première Guerre mondiale. Cette même année, les époux d'Ocagne décident d'aménager seuls dans un petit appartement au 1 rue de Lille dans le 7^e arrondissement, se rapprochant ainsi de l'École des ponts et chaussées située à cette époque rue des Saints-Pères dans le 6^e arrondissement de Paris. Le 19 février 1887, ils ont un deuxième enfant : il s'agit d'une fille qui se prénomme Suzanne.

Bien plus tard, le 5 juin 1920, Maurice devient grand-père une première fois de Philippe, fils de Pierre, puis de Ghislaine le 9 avril 1922 et Éliane le 7 mars 1925.

La famille au complet aime se retrouver, que ce soit lors de mutations ou de missions, même courtes, que Maurice accomplit au cours de sa carrière. Gabrielle quitte Paris dès qu'elle le peut afin de suivre son mari avec ses enfants et leur nourrice, ou lors de vacances. Ils s'accordent des escapades régulières aux quatre coins de la France et à l'étranger : en Belgique, fief de Gabrielle, mais aussi en

Suisse, en Angleterre, en Italie, en Hollande et en Allemagne. L'été, ils partagent essentiellement leurs vacances entre trois lieux de toute importance pour Maurice : Sérillac, que nous avons déjà évoqué dans le chapitre précédent, Villers-sur-mer et Saint-Gratien. Villers-sur-mer est une commune située à 10 km de Trouville, dans une ville moins agitée mais tout aussi attirante, et c'est à partir de l'année 1895 que Maurice et sa famille découvrent ce lieu. Ils y font construire, en 1896, une villa d'été en bordure de mer à laquelle ils donnent le nom de *Les capucines* sous la direction de M. Feine, architecte, ami et voisin. Ils y invitent amis et famille dont certains notables comme Paul Painlevé ou Henri Poincaré³. Mais l'affaire Dreyfus eut raison de cette résidence estivale, les Feine et les d'Ocagne semblant avoir des idées opposées : la mauvaise ambiance qui en résulta eut la fâcheuse conséquence de la mise en vente de cette villégiature en 1912, et donc la fin des vacances à Villers. Quand à Saint-Gratien, nous y reviendrons dans la section concernant la princesse Mathilde.

7.1.2 Ses passions littéraires et théâtrales

Malgré un caractère plutôt scientifique, d'Ocagne semble avoir un certain attrait pour des passe-temps littéraires comme l'écriture et le théâtre auxquels son propre père vouait également beaucoup de passion.

Son goût pour la littérature, il le doit notamment à la lecture de la comtesse de Ségur dans son enfance et à celle de Jules Verne pendant son adolescence. À l'âge adulte, il savoure surtout les œuvres de grands écrivains classiques du 17^e siècle tels que Molière, Jean de La Fontaine ou Madame de Sévigné. En revanche, il n'aime pas la poésie qu'il trouve ennuyeuse et fait une critique assez sévère des romans, qui ne l'attirent pas⁴

« à cause de leur manque de mesure et de goût, de l'exagération maladive de leur sensibilité, de leur verbosité intempérante, de leurs écarts d'imagination souvent ridicules. »

Plus tard, il se passionne également pour les ouvrages historiques et les critiques littéraires. À Jules Verne par exemple, il consacre un article dans *La revue hebdomadaire*⁵. Il finit par écrire des articles dans différentes revues littéraires comme

3. Henri Poincaré (1854-1912) : mathématicien considéré comme le fondateur de la topologie algébrique, physicien, philosophe et ingénieur français.

4. Maurice d'OCAGNE 1935d, p. 273.

5. Maurice d'OCAGNE (1928a). « Jules Verne raconté par le fils d'un de ses amis. Sa vie - Son rôle scientifique ». *La revue hebdomadaire : romans, histoire, voyages*, p. 34-54.

La revue des deux mondes, revue mensuelle française datant de 1829 et toujours en activité à l'heure actuelle ; *La revue hebdomadaire*, revue hebdomadaire ayant existé de 1892 à 1939, ou encore *Le Figaro*, journal quotidien fondé en 1826 et à ce titre le plus ancien quotidien de presse française encore publié. Le livre *Souvenirs et causeries : hors des sentiers d'Euclide*⁶, est un recueil de certains de ses articles publiés dans ces journaux. Il donne également des conférences littéraires sur des personnages célèbres de l'époque entre les années 1925 et 1933, avec comme sujets de prédilection :

- la princesse Mathilde, 10 conférences ;
- l'impératrice Eugénie, 4 conférences ;
- Pierre Loti, 5 conférences ;
- Jules Verne, 5 conférences.

Mais il est un domaine où d'Ocagne a pu exercer ses talents littéraires en donnant à la fois de la voix et de la plume, il s'agit du théâtre. Son appétence pour le théâtre semble débiter dès sa plus tendre enfance lorsqu'il est mené à voir des troupes de marionnettes aux noms de *Guignol* et de *Séraphin*. Depuis cette période, d'Ocagne s'adonne à cet art d'abord en famille, puis à l'école dans une première pièce de théâtre intitulée *Anna, ou la demoiselle de compagnie*⁷ en 1870. Puis il se passionne pour Molière dont il aura vu toutes les pièces dont certaines plusieurs fois.

En 1881, alors qu'il profite de ces vacances polytechniciennes, d'Ocagne et sa famille sont invités à rejoindre Divonne-les-Bains à la frontière franco-suisse. Ce ne sont pas les bienfaits des thermes qui ont attiré d'Ocagne, mais plutôt le fait qu'une troupe de théâtre y résidait et se composait de permanents et d'apprentis-acteurs recrutés parmi les touristes. Maurice et son frère Paul adhèrent dès leur arrivée. Prenant leurs rôles très au sérieux : il jouent des pièces d'Eugène Labiche⁸ comme *Promettez, Madame* ou encore *Le jeune homme pressé*. Ils se représentent tous les samedis à Divonne.

Face à cette passion, d'Ocagne s'essaie à l'écriture de petites pièces de théâtre en 1887 aux noms de *La candidate*⁹ puis *Le Japonais*. En raison de son début de notoriété scientifique, voulant légèrement brouiller les pistes, il signe ses deux pièces sous le pseudonyme de *Pierre Delix* (on notera le jeu de mot sur son nom

6. Maurice d'OCAGNE (1928e). *Souvenirs et causeries : hors des sentiers d'Euclide*. Plon.

7. Comédie-Vaudeville en un acte écrite par Xavier de Maistre.

8. Eugène Labiche (1815–1888) : dramaturge français ayant contribué au genre du vaudeville.

9. Pierre DELIX (1888). *La candidate*. Ollendorf, Paris.

d'emprunt montrant à quel point il était attaché à l'École polytechnique). Après l'écriture de sa première pièce, et l'intérêt qu'elle semble susciter auprès de ses amis Rochefortais (lieu où il réside à l'époque pour son travail), d'Ocagne ambitionne pour sa « Candidate » de la faire jouer sur la prestigieuse scène parisienne. Entre-temps, il écrit *Le Japonais*, scène composée spécialement pour le public Rochefortais et qui s'inspire de deux élèves ingénieurs japonais du génie maritime : *Yokoï* et *Yamazaki*, en mission à l'arsenal durant l'été 1887. La première de cette pièce est donnée le 2 février 1888 au théâtre de Rochefort où, selon les dires de d'Ocagne, « toute la marine et toute la ville se pressaient dans la salle où jamais on n'avait vu pareille affluence ¹⁰ ». Deux représentations supplémentaires furent données à la suite de ce succès. *La candidate* eut une histoire plus complexe : d'Ocagne, voulant la faire représenter dans une salle parisienne, essuya quelques refus malgré des lettres de recommandation d'amis du monde théâtral, et notamment de Louis Ganderax ¹¹. Au théâtre de Vaudeville, on lui laisse une place en l'inscrivant sur une liste d'attente suffisamment longue pour que d'Ocagne finalement tente sa chance ailleurs. Au Palais Royal, il n'y a pas de place pour des pièces en un acte. Au Gymnase, on trouve l'idée « drôle » mais pas dans le style du théâtre. À la Renaissance, il est accepté dans un premier temps pour finalement être débouté suite au changement de directeur. C'est lors d'une cinquième tentative qu'il obtient de faire jouer sa pièce au théâtre de Cluny, négociant pour cela des représentations à titre gracieux, et donc léguant ses droits au directeur du théâtre que cette opportunité arrangeait bien. Sa pièce remporte un franc succès puisqu'elle restera à l'affiche 52 jours sans interruption à partir du 27 septembre 1888, puis encore 30 fois à partir du 9 mars 1889.

7.1.3 Les salons de la princesse Mathilde

La princesse Mathilde ¹² (1820-1904) est la fille de Jérôme Bonaparte, roi de Westphalie et de la princesse Catherine de Wurtemberg. Elle se fiance avec son cousin Louis-Napoléon en 1836, mais finalement se marie avec le prince russe Anatoli Demidoff de San Donato en 1840, avec qui elle rompt en 1846 en raison de sa brutalité envers elle. Elle décide alors de s'installer à Paris, rue de Cour-

10. Maurice d'OCAGNE 1935d, p.281.

11. Louis Ganderax (1855-1940) : journaliste et critique de théâtre français, co-directeur littéraire de la Revue de Paris.

12. Le prénom complet de la Princesse Mathilde est Laetizia Mathilde Frédérique Aloissia Elisabeth.

celles jusqu'en 1870, puis rue de Berri à partir de 1871 dans le 8^e arrondissement. Parallèlement, elle achète le château Neuf de Saint-Gratien en 1853 qui devient le « château de la princesse Mathilde ». Elle agit en véritable mécène dans cette ville pour laquelle elle investit dans l'école, la mairie et l'église. Elle aime y tenir des salons fréquentés par l'élite intellectuelle et artistique : des hommes de lettres comme Gustave Flaubert, Alexandre Dumas, des savants aux noms de Louis Pasteur, Marcelin Berthelot, des journalistes, des artistes¹³...



FIGURE 7.1 – *Le salon de la princesse Mathilde, rue de Courcelles. Charles Giraud. Source : Photo RMN-Grand Palais*

Lorsque d'Ocagne la rencontre pour la première fois en son château en 1891, elle a déjà 71 ans, mais elle est encore très active dans ses réceptions. Elle le fait s'asseoir à côté d'elle, et dès ce premier repas va naître une complicité et une amitié avec la princesse. Très vite, il est invité de plus en plus fréquemment à des dîners, ce qui n'est pas pour lui déplaire. Sa femme Gabrielle, quant à elle, tente tout d'abord de garder ses distances par peur des jalousies que pourrait provoquer ce rapprochement. C'est ainsi que, en 1896, d'Ocagne est invité à passer l'été à la résidence de Saint Gratien, seul, sa femme prétextant un problème de santé de sa fille. Cette hospitalité fut répétée chaque été jusqu'à sa mort début 1904 et Gabrielle finit par accepter l'invitation dès 1899.

13. Alain GALOIN (2020). *Le salon de la princesse Mathilde, Histoire par l'image*. URL : <http://www.histoire-image.org/fr/etudes/salon-princesse-mathilde> (visité le 23/10/2020).

À Saint-Gratien, d'Ocagne fait office de lecteur, mais à Paris, ses « missions bénévoles » auprès de la princesse sont multiples et plus intimes : il l'accompagne pour des occasions ordinaires, alors que c'est le baron Brunet, frère de la princesse, qui lui tient compagnie lors de circonstances solennelles. Petit à petit, d'Ocagne est convié à la table de la princesse plusieurs fois par semaine de façon régulière, le plus souvent en l'absence de Gabrielle, adepte de réceptions plus intimistes. Les enfants de Maurice et Gabrielle, Pierre et Suzanne, sont également invités aux dîners de la princesse, celle-ci leur vouant (surtout pour Pierre), une véritable affection, leur offrant même de temps en temps des cadeaux. Cependant, malgré de nombreuses tentatives de la princesse Mathilde, les époux d'Ocagne auraient quasiment toujours refusé des présents pour eux même, craignant encore une fois les commérages que pourraient colporter des personnes jalouses. D'Ocagne dispose néanmoins d'un don inestimable à ses yeux : les lettres que la princesse lui envoyait régulièrement et qu'il conservera à une place d'honneur dans sa bibliothèque.

C'est grâce à la relation avec la princesse que d'Ocagne côtoie pendant plus de dix ans princes, duchesses, diplomates, politiques, hommes de lettres, artistes... Il les dépeint avec délectation durant près de 200 pages dans ses carnets de souvenirs, fier de les avoir connus, voire d'en avoir été proche, s'auto-congratulant à certains passages d'être « reconnu » ou « recommandé » par les plus grands de ce monde. À la lecture de ces passages, nous pourrions prétendre que d'Ocagne a une certaine estime de soi, quelque peu prétentieux. Il en est conscient et c'est pourquoi, au milieu de la description de tout ce beau monde, il édite un passage appelé « Petit examen de conscience » (voir fig. 7.2)¹⁴, dans lequel il s'explique sur la manière dont il a décrit les personnes afin d'éviter de se faire passer pour un « snob »... Cette parenthèse semble lui laisser la légitimité de continuer à énumérer les personnalités rencontrées au salon de la princesse Mathilde, comme s'il s'en était par avance excusé. Nous avons par exemple dans cette liste, des membres de la famille impériale Bonaparte, des membres de la famille royale, des cardinaux, des hommes de lettres, des historiens, des hommes politiques et des artistes¹⁵.

14. Maurice d'OCAGNE (1935e). « Mes souvenirs, livre III : Province et livre IV : Paris ». T. 2, p. 232-233.

15. Voir annexe D, pour la liste des personnalités rencontrées au salon de la princesse Mathilde, issues du livre IV de ses souvenirs.

PETIT EXAMEN de CONSCIENCE .-

Après cet imposant défilé de souverains, de princes, d'ambassadeurs et de cardinaux, je me trouve fatalement amené à faire un retour sur moi-même et à me livrer à un petit examen de conscience.

J'ai laissé courir ma plume au gré de sa fantaisie pour jeter sur le papier les souvenirs jaillissant de ma mémoire au fur et à mesure du développement de mon récit. Ne me serais-je pas laissé aller à évoquer plus que de raison ce qui a trait à mes rapports avec quelques grands de la terre, au contact de qui les hasards de la vie m'ont placé ne fût-ce même que momentanément ? N'ai-je point ainsi risqué de me donner quelque peu, aux yeux de ceux qui liront plus tard ces pages, l'allure d'un snob cédant à la vanité de se parer de ses belles relations ? Eh bien, la main sur la conscience, je crois pouvoir protester très sincèrement contre pareille idée, à supposer qu'elle dût se produire.

De telles relations ont pu, certes, avoir de quoi me flatter, mais je puis affirmer sans la moindre hésitation, que je n'en ai jamais éprouvé ce qui s'appelle de la griserie. Tout en goûtant le plaisir de pénétrer dans les milieux d'une haute distinction qui m'ont ainsi été ouverts, je n'ai jamais cédé à la sorte d'ivresse qui est, en pareil cas, le propre du snobisme.

[...]

Mais je ne veux non plus rien renier de l'agrément que j'ai rencontré dans les milieux brillants précédemment évoqués. Au surplus, j'ai lieu de penser que les pages qui s'y réfèrent ne seront sans doute pas celles qui offriront le moins d'intérêt au regard de mes futurs lecteurssi j'en dois avoir

FIGURE 7.2 – Examen de conscience de d'Ocagne suite à l'énumération des hautes personnalités qu'il a rencontrées chez la princesse Mathilde. Source : Institut de France

7.1.4 L'affaire Dreyfus et la Ligue de la patrie française

La fin du 19^e siècle voit un conflit majeur éclater en France, il s'agit de l'affaire Dreyfus. Dans un contexte social et politique fragilisé par la guerre de 1870 et l'annexion de l'Alsace et de la Lorraine, le capitaine Alfred Dreyfus, polytechnicien juif, est arrêté le 15 octobre 1894, accusé d'être à l'origine d'un bordereau secret qu'il aurait fait transmettre à l'État allemand. Il est dégradé et condamné au bagne pour trahison le 28 décembre 1894 malgré le fait qu'il ait clamé haut

et fort son innocence. Pendant plus de quatre ans, de nombreuses personnalités tentent de prouver l'innocence de Dreyfus : sa famille (son frère Mathieu, sa femme Lucie), le colonel Picquart, chef de la section statistique de l'État-Major et convaincu de la culpabilité du commandant Esterhazy, le journaliste Bernard Lazare. C'est à la suite de la publication du fameux l'article titré « J'accuse...! »¹⁶ de l'écrivain Émile Zola, que l'affaire se complique, provoquant une scission de la France entre les *dreyfusards*, acquis à la cause de Dreyfus, et les *anti-dreyfusards*, sous un fond d'antisémitisme. Malgré les tentatives de l'armée d'étouffer l'affaire, le 3 juin 1899, la cour de cassation casse et annule le jugement de 1894 et un nouveau procès est mis en place du 7 août au 9 septembre 1899. Au cours de ce procès, Dreyfus est condamné une deuxième fois avant d'être gracié par le président Émile Loubet¹⁷. Il finit par être innocenté, puis réhabilité le 11 juillet 1906, et enfin fait chevalier de la Légion d'honneur en guise de réparation. Ce conflit, l'un des exemples les plus connus d'erreur judiciaire à grande échelle, aura fragilisé la France sous des aspects multiples (politique, militaire, social, religieux...) ¹⁸.

D'Ocagne avait rencontré Dreyfus pour la première fois en 1884 lors d'une soirée parisienne chez Albin Moïse¹⁹, où se côtoyaient des polytechniciens. Il ne fut pas vraiment attiré par cet homme de prime abord. Cependant, lorsqu'il apprit que Dreyfus était accusé, il espérait qu'il pourrait être innocenté, notamment pour l'honneur de l'École polytechnique. D'Ocagne mène donc sa propre enquête auprès de ses connaissances afin de se faire une idée de la situation, mais personne ne semble vouloir défendre Dreyfus. Lorsque, en 1899, la révision du procès devant un tribunal militaire ne comprenant que des polytechniciens à lieu, d'Ocagne se résout à se mettre du côté du jugement quel qu'il soit.

Sur cette « affaire » comme il la nomme, d'Ocagne n'aura eu qu'un rôle minime et assez éloigné dont il ne parle pas dans ses recueils, soulignant le fait que cela n'a pas sa place ici. Entendu en tant que témoin lors de la révision du procès, il relate une conversation, transcrite par le journal *Le Figaro*²⁰ (voir fig. 7.3), qu'il a eue avec Painlevé. Ce dernier avait en effet rencontré Jacques Hadamard²¹, cousin de

16. Émile ZOLA (1898). « J'accuse...! Lettre au président de la république ». *L'Aurore*.

17. Émile Loubet (1838-1929) : président de la république française de 1899 à 1906, avocat de profession.

18. MINISTÈRE DE LA CULTURE ET DE LA COMMUNICATION (2020). *Dreyfus Réhabilité*. URL : <http://www.dreyfus.culture.fr> (visité le 23/10/2020).

19. Albin Moïse (1836-1904) : ingénieur français des Ponts et Chaussées, Ingénieur en chef de la Compagnie des Chemins de Fer de l'Ouest.

20. Maurice d'OCAGNE (1899b). « Le dossier de l'enquête de la cour de cassation. Déposition de M. d'Ocagne ». *Le figaro* 101, p. 2.

21. Jacques Hadamard (1865-1963) : mathématicien français membre de nombreuses Acadé-

Dreyfus, qui lui aurait dit qu'il ne croyait pas en sa culpabilité.

La création de deux partis résultera de cette histoire : la *Ligue des droits de l'homme*, en faveur pour la reconnaissance et l'innocence de Dreyfus, fondée le 4 juin 1898 et toujours en action actuellement ; et la *Ligue de la patrie française*, d'orientation nationalise et fondée le 31 décembre 1898 en opposition à la *Ligue des droits de l'homme*. Cette organisation réunit en son sein une multitude de personnes bien différentes : des académiciens, des membres de l'Institut de France, des écrivains, des poètes, des romanciers, des artistes peintres, des musiciens, des dessinateurs, des caricaturistes^{22,23}... Il rejoint ce groupement qui rassemble pas mal d'intellectuels déjà rencontrés chez la princesse Mathilde : Maurice Barrès, François Coppée, Jules Lemaître, Caran d'Ache, José-Maria de Heredia, Charles Hermite... sans toutefois faire partie de son comité. Il a cependant un avis mitigé sur les conséquences de son adhésion : d'une part, il souligne la chance d'avoir créé un cercle d'amis de toute importance. Mais d'autre part, il est conscient de l'entrave que cela a pu procurer à sa carrière. Parmi ces effets néfastes, il fait ressortir le fait que son accès à une chaire à l'École polytechnique a été retardé de onze ans, et que son avancement dans la Légion d'honneur ne s'est pas fait aussi rapidement qu'il aurait du. L'appartenance à ce groupe aura encore eu l'effet de le faire passer pour un « sympathisant du Prince Victor Napoléon ». En effet, un article du journal *Le matin*, d'influence républicaine, publié le 1^{er} janvier 1907 une correspondance qu'Edmond Blanc a transmise, en juillet 1899, à d'Ocagne²⁴ :

« *Cher monsieur,*
Vous m'avez dit dernièrement que vous connaissiez M. Syveton. Quand vous pourrez avoir l'occasion de le voir, voulez-vous vous faire auprès de lui l'interprète des sentiments de sympathie du prince. Son altesse impériale vous en saura grand gré et me charge de vous remercier d'avance. »

La riposte ne se fait pas attendre du côté du ministre des Travaux publics qui somme d'Ocagne de donner des explications sur cet extrait. Il se justifie en se défendant de n'avoir jamais adhéré à la Ligue pour des raisons politiques, mais simplement par patriotisme, comme beaucoup de ses collègues à l'École polytechnique, et qu'il en a démissionné l'année d'après face à l'évolution politique

mies, professeur.

22. Mathias BERNARD (2007). *La guerre des droites de l'affaire Dreyfus à nos jours*. Odile Jacob.

23. *Ligue de la patrie française* (2020). URL : https://fr.wikipedia.org/wiki/Ligue_de_la_patrie_fran%C3%A7aise (visité le 23/11/2020).

24. François-Ignace MOUTHON (1907). « Couloisses du nationalisme. Les dessous d'une ligue. Syveton et Napoléon IV ». *Le matin*.

Déposition de M. d'Ocagne

SÉANCE DU 7 FÉVRIER 1899

M. d'Ocagne. — Au début de l'affaire Dreyfus, à l'époque de l'intervention de M. Scheurer-Kestner, M. Painlevé m'a dit qu'il avait eu, quelque temps auparavant, une conversation avec M. Hadamard qui avait essayé de lui persuader que la culpabilité de Dreyfus n'était pas établie, M. Painlevé lui ayant répondu qu'il s'en tenait au jugement du Conseil de guerre, M. Hadamard aurait expliqué qu'il se fondait pour parler de la sorte, sur des raisons de fait et non de sentiment, car depuis la condamnation de Dreyfus il avait eu, sur le compte de ce dernier, tels renseignements qui faisaient qu'il considérait Dreyfus comme n'étant pas de ces hommes pour lesquels on pouvait répondre *a priori*; mais que, cependant, il persistait à considérer Dreyfus comme innocent, la seule preuve qu'on ait pu donner de sa culpabilité ne lui paraissant pas sérieuse.

M. Painlevé ajouta que je pouvais raconter ce qu'il venait de me dire à qui bon me semblerait et en citant son nom.

Le 19 décembre 1897, me rendant à l'École des ponts et chaussées, je rencontrai le capitaine Hély d'Oissel, officier d'ordonnance du général de Boisdeffre.

Le capitaine Hély d'Oissel est mon plus intime camarade de collège, et nous sommes demeurés très liés. Je lui parlai de l'affaire et je lui rapportai le propos que je tenais de M. Painlevé.

Le lendemain, il m'adressa un mot dans lequel il me disait qu'il avait rapporté le sujet de ma conversation au général Gonse et que ce dernier désirait m'entendre. Je me rendis auprès du général Gonse, le 21 décembre 1897, et je lui rapportai la conversation que M. Painlevé m'avait dit avoir eue avec M. Hadamard.

Ce fut entre le général Gonse et moi un simple entretien n'ayant nullement l'allure d'une déposition de ma part.

Le procès Zola eut lieu le 28 février 1898. Le général Gonse me fit demander de retourner le voir. J'y retournai, il me dit qu'il désirait former un dossier complet de tout ce qu'il avait pu réunir concernant l'affaire Dreyfus, et qu'il voulait

laisser à son successeur un dossier contenant le plus de renseignements possible, et d'une authenticité indéniable. En conséquence, il me pria de lui préciser les termes de l'entretien que j'avais eu avec lui, et dans lequel je lui avais parlé de la conversation que M. Painlevé avait eue avec M. Hadamard.

Je fis remarquer au général Gonse qu'il serait préférable qu'il entendit M. Painlevé lui-même, et j'allai chercher ce dernier. Nous fûmes reçus, M. Painlevé et moi, par M. Hirschauer, officier d'ordonnance du général Gonse, autant que je me le rappelle, à moins que ce ne soit par M. Hély d'Oissel. Le général Gonse invita M. Painlevé à lui faire connaître les termes de la conversation que je lui avais rapportée.

M. Painlevé répéta l'entretien qu'il avait eu avec M. Hadamard, tel que je viens de le dire, et le général Gonse répéta lui-même ce que M. Painlevé venait de lui dire, pour être bien sûr de ne rien omettre.

Je puis affirmer que le général Gonse n'a pris aucune note en ma présence, mais il se trouvait là l'officier d'ordonnance qui nous avait introduits, et je n'ai pas prêté attention si, oui ou non, il prenait des notes. Je n'ai rien à ajouter sur ce point.

M. le président. — Voyez-vous quelque chose à ajouter, dans l'intérêt de la manifestation de la vérité ?

M. d'Ocagne. — Mon camarade de l'École polytechnique Lonquétty (mon ancien), aujourd'hui fabricant de ciment à Boulogne-sur-Mer, m'a dit qu'il avait rencontré à Bruxelles Dreyfus, quelque temps avant son arrestation, dans un restaurant où il déjeunait, galerie Saint-Hubert.

Dreyfus, à l'École polytechnique, avait été l'ancien de Lonquétty, et, lorsqu'il avait aperçu ce dernier, il n'avait pas paru empressé de se faire reconnaître de lui.

Lonquétty n'avait pas attaché grande importance à cette rencontre, et, après avoir échangé quelques mots avec Dreyfus, était parti.

Lecture faite, le témoin a déclaré persister dans sa déposition et a signé avec nous.

Signé : d'OCAGNE.

FIGURE 7.3 – Déposition de d'Ocagne lors de la révision du procès d'Alfred Dreyfus. Source : gallica.bnf.fr/BnF

de la Ligue. C'est au salon de la princesse Mathilde qu'il avait rencontré Gabriel Syveton²⁵, en ses qualités d'historien, il lui avait donc transmis la lettre de Blanc, sans arrière-pensée ni commentaire²⁶.

7.2 Sa vie professionnelle

C'est une partie très riche de la vie de d'Ocagne que nous allons développer ici : le choix a été fait de ne pas suivre de manière chronologique sa vie professionnelle en raison de la multiplicité des branches que nous pouvons lui attribuer, avec notamment une carrière d'ingénieur, de professeur et de scientifique. Chaque champ sera donc étudié dans une partie qui lui est propre pour plus de clarté.

7.2.1 Sa carrière d'ingénieur des Ponts et Chaussées

Rochefort : 1885-1888, service hydraulique

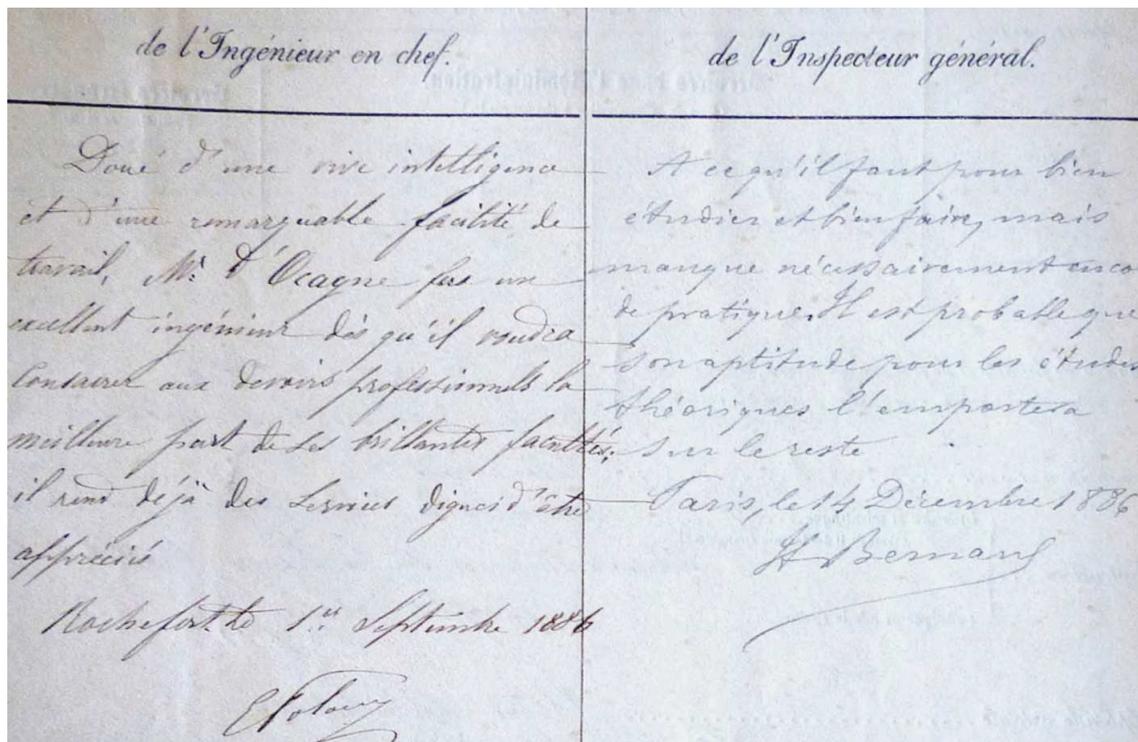
À sa sortie de l'École des ponts et chaussées, d'Ocagne, âgé de 23 ans, est nommé ingénieur ordinaire de 3^e classe le 1^{er} juillet 1885. Il est affecté le 16 août 1885 au service des travaux hydrauliques de la marine à Rochefort-sur-mer, sous la direction de l'ingénieur en chef Ernest Polony²⁷. Il est chargé du service extérieur de l'arsenal, c'est à dire de tout ce qui à trait aux installations de la marine sur le littoral ouest, s'étendant de l'île d'Yeux à la frontière espagnole. Il s'occupe à ce titre de l'entretien des ouvrages hydrauliques, des édifices de l'arsenal et de ses dépendances, de la construction de grands bâtiments et d'ouvrages pour le service des défenses sous-marines. Pour les besoins de son service, il voyage le long de la côte ouest des Sables-d'Olonne à Hendaye, et surtout dans les îles de l'embouchure de la Charente : Oléron, Ré et Aix. Cette « exil », comme il le décrit, est un véritable crève-cœur pour Gabrielle et lui qui doivent quitter Paris, ne sachant quand ils pourraient de nouveau rentrer à la capitale. Ils s'installent au 8 rue des Fonderies à Rochefort. Dès le début, il assure l'intérim de la direction du service en raison de l'absence provisoire de son directeur officiel, ce qui

25. Gabriel Syveton (1864-1904) : homme politique et historien français, co-fondateur de la Ligue de la patrie française dont il sera le trésorier.

26. ARCHIVES NATIONALES (s. d.). « Dossier professionnel de Maurice d'Ocagne », lettre du 4 janvier 1907.

27. Ernest Polony (1844-1901) : ingénieur français des Ponts et Chaussées, directeur des travaux hydrauliques de Rochefort de 1882 à 1900.

n'est pas sans lui déplaire. Malgré tout, son intérêt pour le métier reste mitigé et il continue à pratiquer les mathématiques dès qu'il le peut. À la fin de cette première année, son rapport²⁸ souligne qu'il est très intelligent, mais qu'il ne se donne pas forcément suffisamment pour son travail, les sciences l'emportant largement (voir fig. 7.4).



Doué d'une vive intelligence et d'une remarquable facilité de travail, M. d'Ocagne fera un excellent ingénieur dès qu'il voudra consacrer aux devoirs professionnels la meilleure part de ses brillantes facultés; il rend déjà des services dignes d'être appréciés.

Rochefort, le 1^{er} septembre 1886.

E. Polony

À ce qu'il faut pour bien étudier et bien faire, mais manque nécessairement encore de pratique. Il est probable que son aptitude pour les études théoriques l'emportera sur le reste.

Paris, le 14 décembre 1886

H. Besnans

FIGURE 7.4 – Notes signalétiques de d'Ocagne de l'année 1886. Source : Archives nationales

Les rapports de 1887 et 1888 sont plus positifs concernant son service en tant qu'ingénieur : on souligne toujours une certaine intelligence, mais aussi une application régulière à l'accomplissement des obligations de service. Polony propose même de lui décerner les palmes académiques pour la valeur de ses travaux

28. ARCHIVES NATIONALES s. d., notes signalétiques de d'Ocagne, 1886.

scientifiques. Il est classé 2^e sur cette liste. Fin janvier 1887, il écrit au ministre des Travaux publics afin de candidater sur un poste au service hygrométrique du bassin de la Seine qui vient de se libérer. Celui-ci lui est refusé en raison d'un remplacement déjà effectué. Au printemps 1888, il récidive sur un poste à Honfleur qu'il n'obtient toujours pas.

Il semble toutefois que d'Ocagne apprécie les différentes réceptions et bals auxquels il est invité avec sa femme. Il y fait la connaissance de personnes devenues célèbres comme Pierre Loti²⁹, à qui il consacrera quelques paragraphes dans son livre *Souvenirs et causeries* et qui resta son ami tout au long de sa vie. Il rencontre également Sarah Bernhardt³⁰ une première fois lors de l'une de ses tournées à Rochefort. Lors de ses permissions (30 jours par année), d'Ocagne retourne régulièrement à Paris, et c'est au cours de l'un de ces voyages qu'il assiste au mariage de son frère Paul, le 10 avril 1886, trois années exactement après le sien. Il fait également la rencontre de Louis Pasteur, tout d'abord à une séance de l'Académie des sciences à laquelle il donnait une communication sur la rage ; puis à l'occasion d'une visite plus intime dans sa chambre à l'École normale ; et enfin de manière plus régulière lors des séances de l'Académie des sciences. Les périodes estivales, la température et l'humidité de Rochefort font fuir les d'Ocagne de la ville pour s'installer à Fouras, petite station balnéaire en bordure de l'embouchure de la Charente, à une quinzaine de kilomètres de Rochefort (voir fig. 7.5). Cette villégiature lui permet d'accueillir sa famille et ses amis parisiens, et c'est en 1888 qu'il rencontre le célèbre mathématicien Charles Hermite³¹, avec qui il s'entretient régulièrement durant le mois de septembre 1888.

Cherbourg : 1888-1889, service hydraulique

Au 15 septembre 1888, à l'âge de 26 ans, d'Ocagne est transféré dans la ville de Cherbourg. Cette ville ne lui est pas inconnue, puisqu'il y avait passé des vacances en 1870 dans sa première jeunesse. Son exposition directement sur la mer, contrairement à Rochefort, semble ravir d'Ocagne : il trouve une petite maison dans la ville à côté de l'arsenal au 12 rue du Bonhomme. Il rejoint le ser-

29. Louis-Marie-Julien Viaud dit Pierre Loti (1850-1923) : écrivain français et officier de la marine française.

30. Sarah Bernhardt (1844-1923) : actrice française considérée comme l'une des plus grandes tragédiennes française du 19^e siècle, s'étant représentée essentiellement au théâtre.

31. Charles Hermite (1822-1901) : mathématicien français, connu pour ses travaux sur la théorie des nombres, les polygones orthogonaux, les fonctions elliptiques et les équations différentielles.

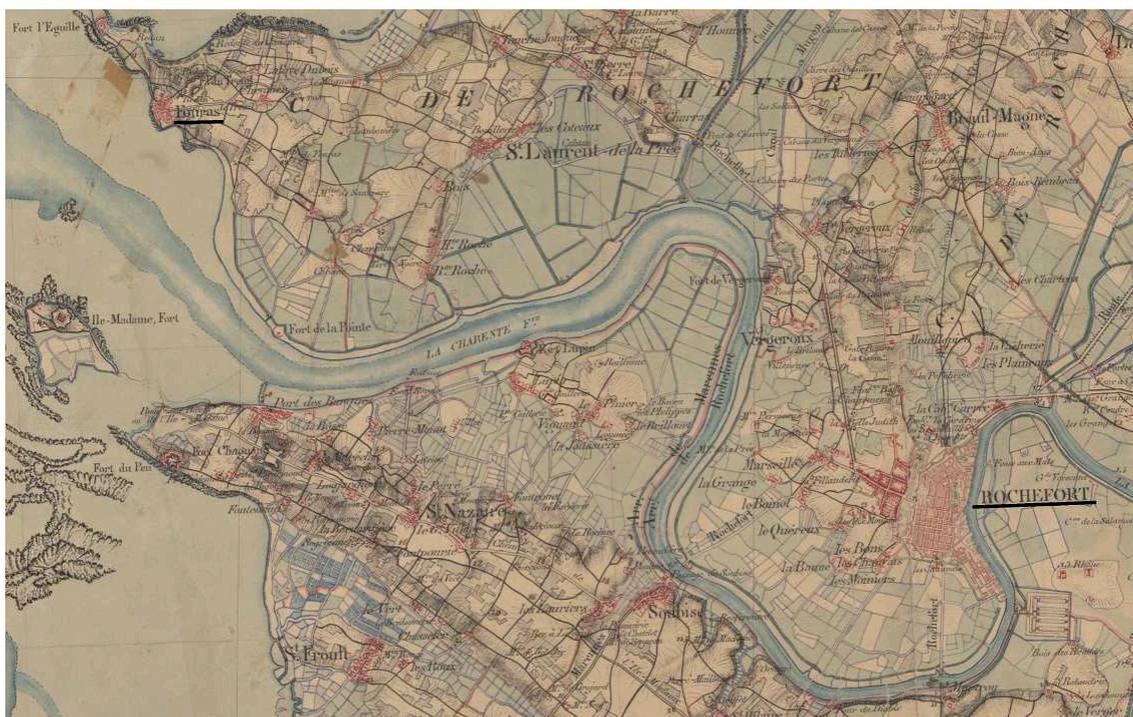


FIGURE 7.5 – Carte de l'état-major du canton de Rochefort. Source : remonterletemps.ign.fr

vice hydraulique et des travaux de même nature que ceux de Rochefort, sous le commandement de l'ingénieur en chef Albert Frossard³². Selon d'Ocagne, Frossard « se montrait plus tatillon, plus exigeant [que M. Polony] » et tentait de le remettre dans le droit chemin de son métier d'ingénieur lorsqu'il s'embarquait un peu trop longtemps dans les mathématiques. Plus qu'à Rochefort, les relations des d'Ocagne à Cherbourg avec le monde extérieur sont quasi-strictement liées au monde de la marine. Il faut bien avouer que les sources de distraction de cette ville portent essentiellement sur sa rade, où viennent mouiller de multiples unités navales françaises et étrangères, notamment russes en ce début d'amitié franco-russe.

Les observations de son ingénieur en chef ne sont pas dithyrambiques à son égard, en 1890, il admet que³³

« M. d'Ocagne est un ingénieur très remarquablement doué, mais qui ne semble pas jusqu'à présent du moins, avoir beaucoup de goût pour le service ordinaire : il traite d'une manière inégale les affaires et ne se prête pas volontiers aux études d'ensemble qui ne lui paraissent pas d'une applica-

32. Albert Frossard (1840-1901) : ingénieur français des Ponts et Chaussées, directeur des travaux hydrauliques du port de Cherbourg à partir de 1886.

33. ARCHIVES NATIONALES s. d., notes signalétiques de d'Ocagne, 1890.

tion immédiate. En résumé, M. d'Ocagne se contente de faire un service convenable alors qu'il a toutes les qualités pour faire un service excellent »

Pontoise : 1889-1891, service ordinaire de Seine et Oise

Ce poste à Cherbourg n'aura été que de courte durée, puisqu'une nouvelle affectation lui est donnée le 16 juillet 1889 à Pontoise, dans trois services :

- au service ordinaire du département de Seine-et-Oise, arrondissement du nord, avec comme mission de s'occuper des infrastructures de communication de cette région ;
- au service de chemins de fer du départ de Seine-et-Oise (ligne Epinay-Luzarches) ;
- au service de navigation entre la Belgique et Paris, en tant qu'attaché, poste qu'il occupera un mois seulement et pendant lequel il eut à diriger une seule construction : celle de l'arche marinière métallique du pont de Poissy.

La famille d'Ocagne s'installe donc à Pontoise, impasse Beaujour, mais sans y avoir une vie sociale très développée étant donnée la proximité de Paris. Le peu de distractions à Pontoise lui permet de poursuivre ses travaux scientifiques. Début 1889, il tente une candidature à Clermont dans l'Oise, mais il obtient une proposition à Chalons, proposition qu'il décline afin de se laisser plus de possibilités d'obtenir un poste à l'Ecole polytechnique. Au 6 janvier 1890, il devient secrétaire au comité technique des travaux publics des Colonies (chemins de fer du Tonkin et du Soudan, utilisation de la main-d'œuvre pénitentiaire à la Guyane...) et il est promu ingénieur ordinaire de 2^e classe le 28 mars 1890.

Lors de son séjour à Pontoise, d'Ocagne relate un fait dû à son travail qui aurait pu lui coûter la vie. Durant l'hiver 1890-1891, qui fut extrêmement rigoureux avec des températures qui restèrent négatives des semaines (atteignant jusqu'à -25°), une partie de la Seine est gelée. À Conflans-Saint-Honorine, le pont semble donner des signes de faiblesse en raison d'un embâcle (un amas de glace obstruant la rivière) qui exerce sur le pont des contraintes importantes. Ne voulant pas être mis en cause dans un quelconque accident, d'Ocagne prend en charge les travaux de dynamitage de cet amas de glace. Cette mission durera plusieurs jours en raison des températures négatives, puisque la glace se reformait durant la nuit au fur et à mesure qu'elle était détruite la journée. Au 24 janvier 1890, alors qu'il inspecte le chantier en plein milieu du fleuve, la glace cède sous ses pieds l'entraînant dans l'eau glacée. Accroché en bordure du trou, le corps sous la

glace, il ne dut son salut qu'à des sapeurs du génie restés à terre qui lui enverront une corde afin de le sortir de là. Ce fait divers fut relaté dans *Le petit journal*³⁴ au lendemain, le 25 janvier 1891 (voir fig. 7.6), ainsi que dans son rapport de fiche signalétique.

Un accident, heureusement sans gravité, s'est produit à Conflans-Sainte-Honorine où l'on travaille toujours à détruire l'embâcle. L'ingénieur des ponts et chaussées du secteur Nord-Ouest de Seine-et-Oise, M. d'Ocagne, dirigeait les manœuvres des ouvriers et des sapeurs du génie, commandés par le lieutenant Tardif. Il était au milieu du fleuve quand un craquement s'est produit, et M. d'Ocagne a été précipité dans la Seine d'où les ouvriers l'ont presque aussitôt retiré.

FIGURE 7.6 – Mésaventure de d'Ocagne à Conflans-Sainte-Honorine. Source : gallica.bnf.fr/BnF

Paris : 1891-1926, service du nivellement de la France

À partir du 16 octobre 1891, il obtient à 29 ans le lieu de prédilection demandé depuis ses débuts et il est nommé à Paris, dans le service de nivellement de la France, où il officie comme adjoint auprès de Charles Lallemand. Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, il avait déjà eu l'occasion de le rencontrer lors d'un voyage effectué en 1881 : ils avaient fait connaissance lors de l'ascension du glacier du Rhône dans les Alpes suisses. Lallemand le fait venir afin de mettre à contribution ses qualités de mathématicien au service de la géodésie, et à ce titre, il effectue des études sur les lois de probabilité des erreurs et leur application à la topographie. Cette mutation lui procure le plus grand plaisir, même si les six années passés en province lui auront laissé quelques souvenirs agréables. Il est, certes, très heureux de retrouver l'effervescence d'une vie sociale parisienne, mais surtout, il sait que Paris est beaucoup plus propice à la carrière scientifique qui occupe de plus en plus ses pensées. Lui, sa femme et ses deux enfants prennent possession d'un appartement 5 rue de Vienne dans le 8^e arrondissement de Paris, adresse qu'ils quitteront pour s'installer définitivement en 1897 au 30 rue de la Boétie dans le même arrondissement.

34. PARTI SOCIALISTE FRANÇAIS (1891). « La debacle de la Seine ». *Le petit journal*, p. 6.

En décembre 1892, il devient secrétaire adjoint de la commission du nivellement général de la France.

En 1893, son ingénieur en chef Lallemand, ainsi que son inspecteur général, le proposent pour accéder au rang d'ingénieur de 1^{re} classe, rang qu'il atteindra seulement en 1899, malgré l'insistance de ses deux supérieurs. En ce début de mission, son comportement (voir fig. 7.7) est exemplaire³⁵. Lallemand souligne ses aptitudes en géométrie pure et sa capacité à devenir professeur de mathématiques à l'École préparatoire des ponts et chaussées. L'année suivante, il assure

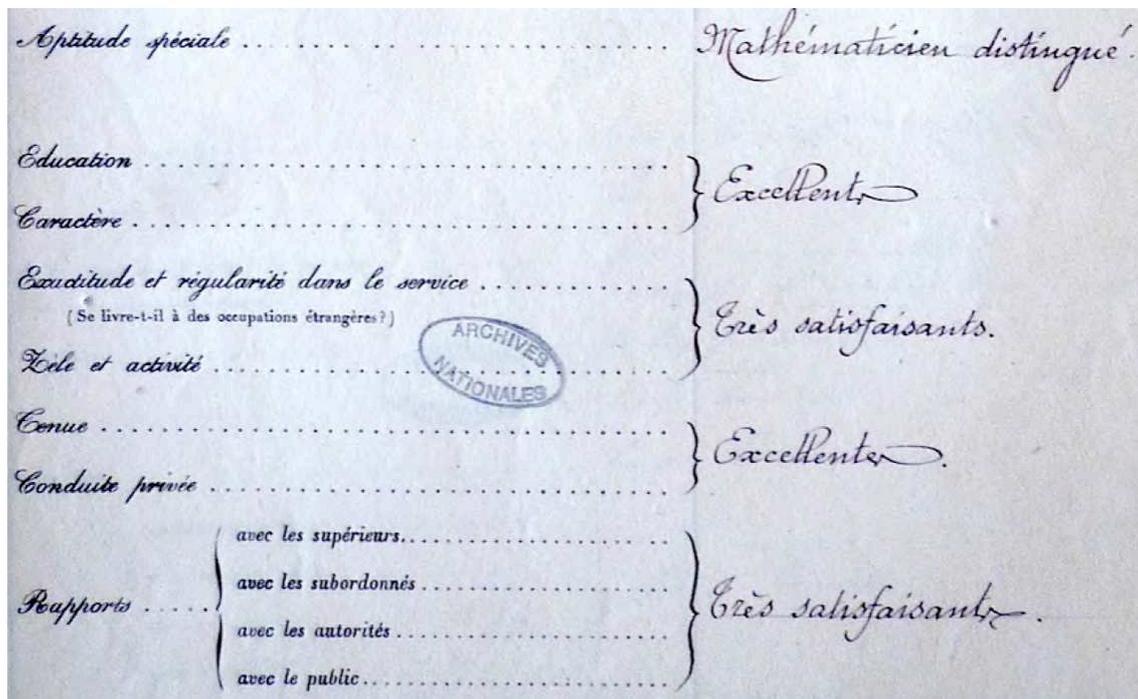


FIGURE 7.7 – Comportement de la fiche signalétique de 1893. Source : Archives nationales

qu'il « a trouvé le meilleur emploi de ses remarquables facultés de géomètre et de mathématicien ». D'Ocagne aurait-il trouvé un compromis entre son travail d'ingénieur et son penchant pour la géométrie ?

Le 3 août 1894, il est fait chevalier de l'ordre national de la Légion d'honneur sur proposition du ministre des Colonies, pour lequel il travaille en tant que secrétaire du comité des travaux publics des colonies. Il est nommé, le 20 juin 1896, secrétaire-rapporteur de la commission des inventions.

Mais revenons à sa mission : à partir de 1896, ses rapports montrent que d'Ocagne semble être un très bon enseignant, et que ses aptitudes au professorat

35. ARCHIVES NATIONALES s. d., Fiche signalétique de d'ocagne, 1883.

sont bien meilleures que ses aptitudes à diriger un service. En 1897, Lallemand enfonce encore le clou en écrivant que « M. d'Ocagne a peu de goût pour les questions étrangères aux mathématiques et à la géométrie. Il ne nous rend à peu près aucun service. »³⁶. En 1898, il écrit à Eugène Prévost³⁷ que d'Ocagne a « presque totalement abandonné les fonctions d'ingénieur ordinaire », tout en se félicitant que ce dernier travaille d'une façon admirable. Lallemand demande alors chaque année à ce que d'Ocagne soit remplacé par Prévot, ce qui sera fait seulement en 1902.

Par arrêté du 23 octobre 1901, d'Ocagne est chargé des services annexes de l'École des ponts et chaussées suivants : service des cartes et plans et de la statistique graphique, mais aussi service des instruments de précision.

En 1905, il est appelé pour une mission du service géographique de l'armée dirigée par le lieutenant-colonel Robert Bourgeois³⁸, dont le but est d'étudier la déviation de la verticale produite par le massif des Vosges au niveau du plateau du Ban-de-Sapt. Cette mission lui vaut le brevet de géodésie militaire.

Depuis son changement de mission, ses rapports professionnels sont meilleurs : M. Debaune, inspecteur de l'école, trouve qu'il dirige le service des cartes et plans « avec zèle et activité »³⁹. Au 1^{er} avril 1908, il devient ingénieur en chef de 2^e classe après avoir été proposé à ce grade durant cinq années consécutives.

Au 1^{er} novembre 1909, il est nommé secrétaire de la 1^{re} section du conseil général des Ponts et Chaussées, puis au 16 juin 1910 à la 2^e section pour le service hydraulique. Il est chargé de la rédaction des procès-verbaux du conseil siégeant en assemblée plénière jusqu'en 1912. Entre-temps, le 1^{er} juillet 1911, il est promu ingénieur en chef de 1^{re} classe. Le 27 février 1914, il devient membre de la commission centrale des travaux géographiques.

Première Guerre mondiale : 1914-1918, mobilisation

À la veille de la Grande Guerre, d'Ocagne a 52 ans et il n'est donc plus tenu par les obligations militaires. Cependant, il avait accepté une année auparavant le poste de chef de la section de géodésie au service de l'armée sous la coupe du colonel Bourgeois, devenu alors général, en cas de mobilisation. Le 2 août 1914, d'Ocagne prend sa fonction rue de Grenelle à Paris, mais l'avancée de l'armée

36. ARCHIVES NATIONALES s. d., Fiche signalétique de d'Ocagne, 1897.

37. Eugène Prévost (1866-1944) : ingénieur français des Ponts et Chaussées, professeur suppléant de topographie.

38. Robert Bourgeois (1857-1945) : général, géographe et homme politique français.

39. ARCHIVES NATIONALES s. d., Fiche signalétique de d'Ocagne, 1907.

allemande sur le sol français entraîne le Service géographique à être transféré à Bordeaux dans les locaux de la faculté des sciences début septembre. Il fait venir Gabrielle, Suzanne et leur femme de chambre Ernestine et ils s'installent provisoirement 85 rue d'Ornano.

À cette même date, la quasi-totalité du personnel du Service géographique des Armées est mobilisée sous la direction du général Bourgeois. Tous les officiers de la section de géodésie étant déjà occupés, il demande de l'aide au service hydrographique qui lui fournit une partie de son personnel. Les missions de ce service, qui devaient se cantonner à l'origine à de simples ravitaillements en cartes, vont être modifiées en raison de la transformation de la guerre en guerre de position. En effet, à cette époque, l'armée ne dispose que de cartes de l'état-major au 1:80 000 et 1:200 000, insuffisantes pour les groupes d'artillerie qui ont besoin de cartes bien plus précises au 1:20 000 minimum pour les tirs de longue portée⁴⁰. C'est ainsi que, début novembre 1914, sont créés les « Groupes de canevas de tir », qui vont se charger de travaux cartographiques permettant d'avoir, pour chaque lieu, une carte très détaillée du terrain. Sur ces cartes, appelées « Plans directeurs » (voir fig. 7.8), sont notifiés les lieux des tranchées, des armées, de l'artillerie, de bâtiments, d'éléments naturels... La tâche n'est pas aisée en raison de la mouvance des armées et de l'étendue du front, mais les cartographes peuvent compter, en plus des cartes existantes (état-major et plans cadastraux), sur le service de la photographie aérienne qui prend réellement son « envol » lors de la Première Guerre mondiale⁴¹.

Le 15 novembre de la même année, le général Bourgeois propose à d'Ocagne un poste au grand canevas de tir de la 3^e armée, l'une des armées mises en place par le Grand quartier général lors de la Première Guerre mondiale. Le groupe est constitué le 30 novembre 1914 sous le commandement de Lallemand. D'Ocagne fait office d'adjoint dans un premier temps, puis de chef par intérim en remplacement de Lallemand, dont le grade de directeur du parc d'artillerie de Verdun l'avait rendu indispensable à la centrale. La 3^e armée est dirigée par le général Sarrail⁴², qui ne le porte pas dans son cœur pour la partie commandement, et par le colonel d'artillerie Leboucq, chef d'état-major. Le quartier général est si-

40. IGN (2014). « Les cartes de la guerre ». *IGN Magazine*, n.74, p. 10.

41. SERVICE GÉOGRAPHIQUE DE L'ARMÉE (1936). *Rapport sur les travaux exécutés du 1^{er} août 1914 au 31 décembre 1919 : historique du service géographique de l'armée pendant la guerre*. Service géographique de l'armée.

42. Maurice Sarrail (1856-1929) : militaire français commandant de la 3^e armée pendant la Première Guerre mondiale et commandant en chef des armées alliées d'Orient.

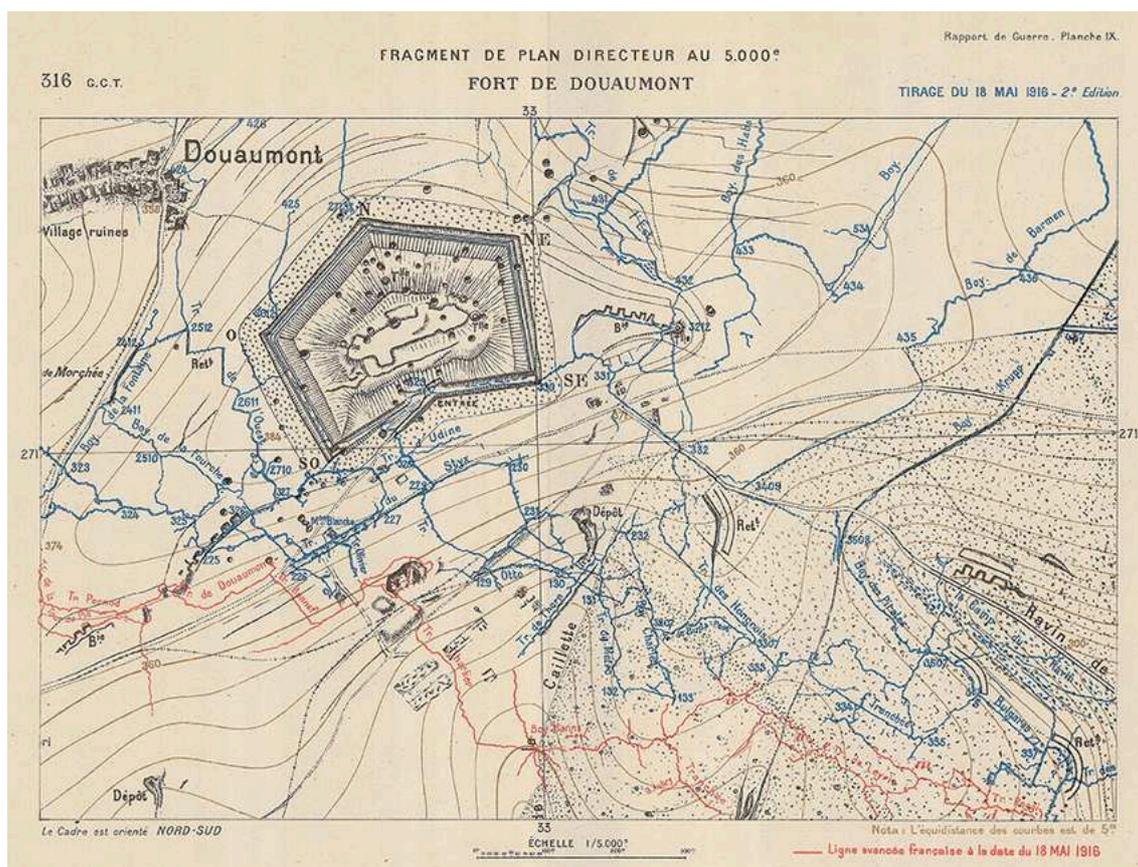


FIGURE 7.8 – Plan directeur autour du fort de Douaumont (Meuse). Source : Service géographique de l'Armée

tué à Verdun, et même si d'Ocagne n'est pas directement au front, il effectue de fréquents déplacements sur le terrain afin de se rendre compte des besoins de l'artillerie concernant les cartes à établir. En ce début de guerre, Verdun n'est pas encore sous les feux allemands comme elle le sera en 1916, mais elle reçoit tout de même de plus en plus régulièrement la visites d'avions larguant des bombes sur la ville. D'Ocagne échappe à plusieurs reprises à de tels obus. Pour contrer ces avions, il est fait appel au célèbre aviateur Adolphe Pégoud⁴³, qui apaisa pour quelques temps les attaques aériennes par ses victoires sur l'ennemi. Lors d'un repas, Pégoud explique que sa tactique est de s'approcher suffisamment des avions ennemis tout en restant dans l'angle mort, puis de les attaquer. Malheureusement, cette tactique finit par être connue, et Pégoud sera abattu le 31 août 1915 dans le territoire de Belfort. Le 8 janvier 1915, le quartier général du groupe est transporté à Sainte-Menhould, à une quarantaine de kilomètres à l'ouest de

43. Adolphe Pégoud (1889-1915) : aviateur français de la Première Guerre mondiale, connu notamment pour ses loopings qui sont devenus sa signature.

Verdun. En mars, le colonel Lallemand est libéré de ses obligations et revient s'atteler à son poste de directeur. D'Ocagne, se sentant moins utile, demande une nouvelle affectation en commun accord avec son supérieur.

Le 15 mars 1915, il est affecté à la chefferie du génie de Paris-Sud, rue de Grenelle, en qualité de chef adjoint. Sa mission, purement administrative, l'ennuie beaucoup : il est chargé de l'entretien des bâtiments militaires situés à l'intérieur de la capitale, sur la rive gauche de la Seine. Il y reste jusqu'en janvier 1916 en attendant une nouvelle mission, qu'il espère plus scientifique.

À partir du 10 janvier 1916 et ce jusqu'à la fin de la guerre, il est assigné à la direction des inventions, devenue en janvier 1917 sous-secrétariat d'état des inventions. Cette section est notamment en charge du bureau d'études nomographiques, transféré au 1^{er} juin 1918 à la section technique de l'artillerie. Les détails de cette organisation et de son objectif ont été relatés dans le chapitre 4.2. Pour rappel, l'une des tâches principales est l'établissement de nomogrammes pour les éléments initiaux de tir de pièces de tous calibres et pour toutes les charges, avec l'objectif de raccourcir le temps d'exécution des calculs et de minimiser les erreurs. Il reçoit à ce titre la croix d'officier de la Légion d'honneur le 25 décembre 1916. Outre ses travaux de nomographie, il effectue des déplacements sur le front, principalement dans le but d'offrir des conférences sur l'usage de ses nomogrammes avec le commandement de l'artillerie. Il en profite pour choisir ses destinations : il va dans des lieux où son frère Paul, son fils Pierre ou d'autres de ses camarades sont en action.

Le 11 novembre 1918, l'armistice est signée, ce qui provoque un grand moment de bonheur dans la famille d'Ocagne, celle-ci n'ayant subi aucune blessure ou disparition tragique. Suite à ses actions au front, d'Ocagne reçoit le 30 décembre 1918 la croix de guerre, avec étoile d'or, sous l'initiative du général Frédéric-Georges Herr⁴⁴ qui commandait le 6^e corps de la 3^e armée lorsque d'Ocagne était au groupe de canevas de tir. Il souligne une action particulièrement méritoire au front alors que son âge aurait pu lui faire passer la guerre dans un poste beaucoup plus calme et moins risqué.

Après la guerre, il devient ingénieur en chef hors classe au 1^{er} juillet 1919 et inspecteur général des Ponts et Chaussées (2^e classe, hors cadres), exactement une année après. Cette promotion, il l'accepte avec d'autant plus de plaisir qu'il n'avait fait aucune démarche en ce sens, puisqu'il est alors détaché au corps pro-

44. Frédéric-Georges Herr (1855-1932) : polytechnicien, général, directeur de l'artillerie des armées françaises.

fessoral et n'avait plus, avec son corps d'origine, que quelques missions avec le service des cartes, plans et instruments de précision.

D'Ocagne est mis à la retraite le 16 novembre 1926 pour raison d'ancienneté, à l'âge de 64 ans, après 46 ans de service. Il demande un report au 16 janvier 1927.

7.2.2 Sa carrière d'enseignant

D'Ocagne n'a jamais caché son goût pour les mathématiques. Sa carrière en tant qu'ingénieur a surtout été actée en raison de son classement à Polytechnique, mais à plusieurs reprises, il dit préférer les mathématiques. Tout au long de sa carrière, il semble garder un réel plaisir à enseigner comme en témoigne cette citation ⁴⁵ :

« Je n'ai jamais cessé d'avoir la passion de l'enseignement - de l'enseignement supérieur s'entend - et, après tant d'années que je le pratique, je n'en suis nullement blasé, ressentant toujours aussi vivement le plaisir de former, d'éclairer, de perfectionner de jeunes intelligences. »

Ses premiers pas dans l'enseignement

Dès avril 1886, alors qu'il n'a pas encore fait une année entière dans son corps des ingénieurs à Rochefort, il écrit au directeur du personnel du ministère des Travaux publics afin de se porter candidat à la place de répétiteur d'analyse et de mécanique à l'École des ponts et chaussées, lors de la vacance de ce poste. Il exprime pour cela son intention de se vouer définitivement à une carrière dans l'enseignement ⁴⁶.

En 1889, il se porte candidat à un poste de répétiteur de mécanique à l'École polytechnique. Le ministère de la Marine accepte une éventuelle mutation, mais sa candidature est ajournée. La même année, il fait ses premiers pas dans l'enseignement en tant que répétiteur suppléant d'analyse de la première année de l'École des ponts et chaussées, mais son objectif premier serait d'obtenir une chaire de géométrie à l'École polytechnique.

En 1893, un poste de répétiteur des cours du professeur Callendreau ⁴⁷ en astronomie et en géodésie se libère. Poussé par Joseph Bertrand ⁴⁸, qui argumente

45. Maurice d'OCAGNE 1935d, p.268.

46. ARCHIVES NATIONALES s. d., lettre du 27 avril 1886.

47. Octave Callendreau (1852-1904) : astronome français, professeur à Polytechnique.

48. Joseph Bertrand (1822-1900) : mathématicien français, économiste et historien de sciences, secrétaire perpétuel à l'Académie des sciences et membre de l'Académie française.

pour cela qu'en entrant suffisamment tôt dans le corps professoral de l'école, il pourrait y évoluer vers d'autres cours, il candidate. À l'époque, il appartient au service géodésique du nivellement général de la France, et les deux autres répétiteurs déjà en place s'occupant de la partie astronomie, c'est donc tout naturellement qu'il accède à ce poste, qu'il occupera jusqu'en 1911.

Fin 1893, il postule à un poste de répétiteur d'analyse à l'École polytechnique, mais on lui propose un poste de répétiteur auxiliaire du cours d'astronomie et de géodésie, qu'il accepte bien volontiers.

En 1894, il devient professeur de géométrie descriptive et de stéréotomie aux cours préparatoires de l'École nationale des ponts et chaussées, en succession de Jules-Jean Pillet⁴⁹. Il fait évoluer le cours de géométrie descriptive en fonction du public et de l'importance prise par les méthodes graphiques. Il développe donc, outre les projections orthogonales et la perspective, les applications à la représentation de grandeurs grâce au calcul graphique d'une part (pour lequel il s'inspire des travaux de Massau), et du calcul nomographique d'autre part. Son cours de géométrie descriptive⁵⁰ est publié en 1896 en un volume de *l'Encyclopédie des travaux publics*.

À partir de 1895, et ce jusqu'en 1909, il corrige les épreuves écrites d'accès à l'École polytechnique dont il signe les solutions sous le pseudonyme de Philibert du Plessis, en lien avec son premier prénom et le nom de l'une des branches dont il est issu. Il met ainsi un pied dans son école de prédilection, même si ce n'est qu'en tant que correcteur.

En 1896, à l'École des ponts et chaussée, il dirige en suppléance de Georges Forestier⁵¹ le cours de routes. Il publie à ce titre ses *Leçons sur la topométrie et la cubature des terrasses*⁵² en 1904. Tout comme son cours de géométrie, ce tome est très bien illustré avec de nombreux croquis et des images très soignées (voir fig. 7.9). Dans la dernière partie et dans l'annexe, il expose des notions de nomographie.

En 1897, il est nommé officier de l'instruction publique, deuxième grade après celui de chevalier, et juste avant celui de commandeur des palmes académiques.

49. Jules-Jean Pillet (1842-1912) : architecte, ingénieur, professeur et dessinateur français.

50. Maurice d'OCAGNE (1896d). *Cours de géométrie descriptive et de géométrie infinitésimale*. Gauthier-Villars.

51. Georges Forestier (1838-1905) : ingénieur puis inspecteur général des Ponts et Chaussées. Passionné par l'automobile, il est co-fondateur de l'Automobile Club de France.

52. Maurice d'OCAGNE (1904a). *Leçons sur la topométrie et la cubature des terrasses. Comprendant des notions sommaires de nomographie, professées à l'École des ponts et chaussées*. 1^{re} éd. Gauthier-Villars.

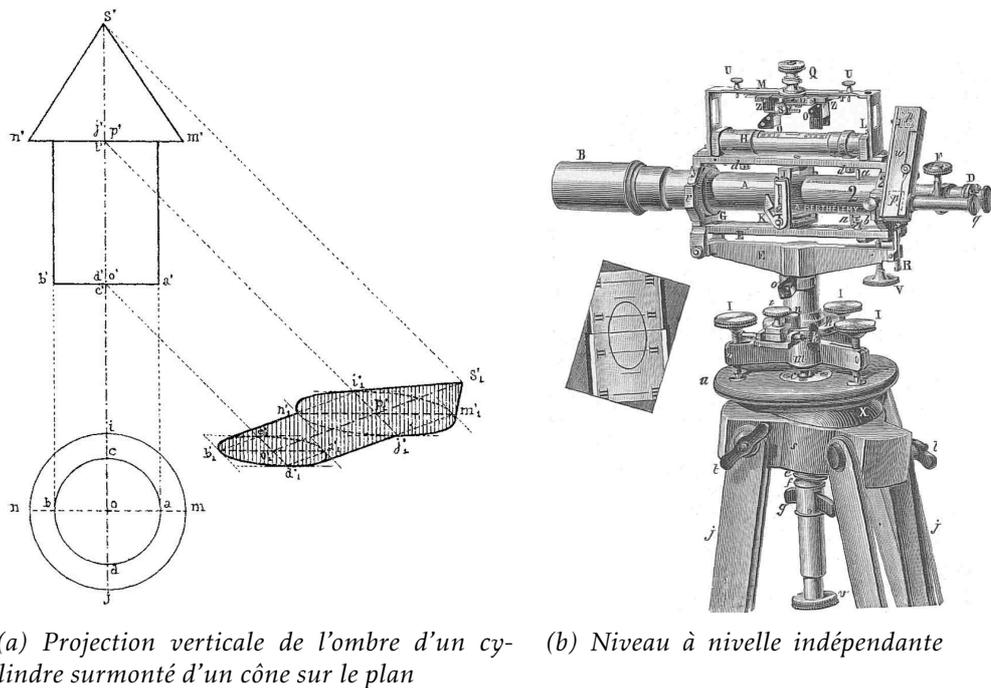


FIGURE 7.9 – Exemple de schémas présents dans les cours de d'Ocagne

Son entrée à l'École polytechnique

En 1901, d'Ocagne espère le poste de géométrie descriptive et stéréotomie à l'École polytechnique, détenu jusqu'alors par le colonel d'artillerie Amédée Mannheim⁵³, une connaissance de d'Ocagne de par son père, et son ancien professeur à l'École polytechnique. Ce dernier, professeur depuis longue date, semble avoir, selon d'Ocagne, une façon particulière d'effectuer ses démonstrations, parfois de manière artificielle, ou tout du moins pouvant être résolues de manière plus directe. En 1897, alors qu'il avait effectué les examens de fin d'année en suppléance de Mannheim, indisponible, d'Ocagne s'était lancé dans une étude approfondie de son cours. Encouragé par Poincaré, il avait publié des notes avec des démonstrations différentes, sans toutefois citer d'où provenaient ses sources. Mais Mannheim n'était pas dupe, ce qui valut à d'Ocagne une certaine rancune de sa part. À son départ à la retraite, d'Ocagne est donc disposé à effectuer une refonte « moderne » de l'enseignement de géométrie descriptive et de stéréotomie par un cours de géométrie pure et appliquée. Il est classé par le conseil d'instruction 1^{er} devant Raoul Bricard⁵⁴, qui vient de débiter comme répétiteur, et Paul

53. Amédée Mannheim (1831-1906) : ingénieur, officier et mathématicien français, inventeur de la règle à calcul moderne.

54. Raoul Bricard (1870-1943) : ingénieur et mathématicien français spécialiste de géométrie.

Haag⁵⁵, répétiteur du cours de Mannheim depuis trente ans, mais peu enclin à une refonte du programme. Il est à nouveau classé 1^{er} à l'issue du conseil de perfectionnement, loin devant Bricard et Haag avec respectivement 13 voix, 4 voix et une seule voix. Finalement, ce classement est modifié en faveur d'une deuxième place « de consolation » pour Haag. Malheureusement, un aspect politique devait briser le rêve de d'Ocagne en lien avec l'affaire Dreyfus : à cette date, le général André⁵⁶ ministre de la Guerre, souhaite favoriser la carrière d'officiers républicains et écarter ceux qui ont des convictions religieuses trop marquées. Pour cela, il fait établir un fichage politique et religieux dans l'armée française. Il confiera même à son ami Émile Mayer^{57, 58} :

« Avant l'affaire Dreyfus, l'origine de mes subordonnés, tout comme celle de mes camarades, m'était indifférente, et aussi leurs croyances, leurs doctrines philosophiques ou le parti auquel ils pouvaient appartenir. Mais tout est changé aujourd'hui : le pacte est rompu. Je suis appelé à accomplir une œuvre déterminée ayant pour objet d'introduire dans l'armée des mœurs nouvelles, de changer sa mentalité. »

Voyant en d'Ocagne un homme trop de droite et trop catholique, le général André l'écarte de cette chaire au profit de Haag. Malgré un appui prononcé de Poincaré, il ne changea pas d'avis allant jusqu'à ajouter une note à son dossier dans le but de le priver une fois pour toutes d'un poste à l'école.

Pourtant, les qualités de d'Ocagne en tant que professeur sont reconnues : cette même année, l'inspecteur de l'École des ponts et chaussées établit un rapport élogieux sur d'Ocagne qui « s'acquitte avec un remarquable talent d'exposition et avec un savoir constamment développé par l'étude, de sa double fonction de professeur... » Puis l'année suivante : « M. d'Ocagne est un professeur très remarquable ; sa méthode et sa clarté d'exposition rendent les leçons très profitables aux élèves qui les vivent avec plaisir »⁵⁹.

55. Paul Haag (1843-1911) : ingénieur français des Ponts et Chaussées et professeur en analyse, mécanique et géométrie.

56. Louis André (1838-1913) : général français et ministre de la Guerre de 1900 à 1904, ayant œuvré publiquement pour la reconnaissance de l'innocence de Dreyfus. Il est l'initiative de « l'affaire des fiches » qui causa sa démission.

57. Émile Mayer (1851-1938) : officier français, ayant travaillé sur les stratégies militaires en rapport avec l'aviation. Il a été mis en cause dans l'affaire Dreyfus pour ses prises de position contre la justice militaire.

58. André BACH (2010). « Serge Doessant, le général André, de l'Affaire Dreyfus à l'affaire des fiches ». *Revue historique des armées*. 261.

59. ARCHIVES NATIONALES s. d., notes signalétiques de 1901 et 1902.

En 1905, d'Ocagne est de nouveau écarté de la place d'examineur de géométrie et d'astronomie, et en 1906 de celle de la chaire de géométrie appliquée au Conservatoire des arts et métiers. Il attribue ces échecs à l'affaire Dreyfus, son appartenance à la fratrie française, au cercle de la princesse Mathilde et, par conséquent, à la fiche laissée par André. Il tient également à éclaircir une crainte que certains semblent avoir à son égard : qu'il ne dispense que de la nomographie au sein de son enseignement. En effet, les écoles d'ingénieur françaises semblent encore frileuses à faire de la nomographie un cours à part entière, alors que des cours spécialisés sont intégrés dans la plupart des écoles étrangères, depuis que d'Ocagne a écrit son *Traité de nomographie*. Le tableau 7.1 énumère les cours dans lesquels une section de nomographie est enseignée en France et à l'étranger, essentiellement dans les pays européens (liste non exhaustive).

École	Professeur	Nom du cours
École polytechnique	Haag	Cours de géométrie
École des mines de Saint-Étienne	Jouguet	Cours de mécanique appliquée
École forestière de Nancy	Petitcollot	Cours de construction
Écoles techniques supérieures de Stuttgart	Mehmke	Cours de géométrie descriptive
Écoles techniques supérieures de Göttingen	Schilling	Cours de statique graphique
Écoles techniques supérieures de Munich	Van Dyck	Cours de géométrie
École d'ingénieurs de Louvain	Suttor	Cours spécial
École d'application des ingénieurs de Padoue	Favaro	Cours de statique graphique
École d'application des ingénieurs de Bologne	Gorrieri	Cours de statique graphique
École d'application d'artillerie de Rome	Ricci	
Académie navale de Livourne	Pesci	Cours de mathématiques
Académie polytechnique de Porto	Laranjeira	Cours de construction
Institut des ingénieurs de Rotterdam	Vaes	
École polytechnique de Lemberg	Laska	
École polytechnique du Caire	Clark	

TABLEAU 7.1 – Écoles ayant un cours de nomographie en 1905

En 1907, d'Ocagne donne des cours libres de calcul graphique et de nomographie à la Sorbonne (voir fig. 7.10). Il est chargé, en outre, de conférences sur la topométrie et la cubature des terrasses à l'École nationale des ponts et chaussées.

UNIVERSITÉ DE PARIS

Faculté des Sciences

COURS LIBRE

DE

CALCUL GRAPHIQUE et NOMOGRAPHIE

Les Mardis et Vendredis à 5 heures 1/2

M. MAURICE D'OCAGNE, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées, ouvrira ce Cours le Vendredi 1^{er} Mars, dans l'amphithéâtre Cauchy.

Première partie (commençant le 1^{er} Mars) : Résolution graphique des équations ; Interpolation graphique ; Intégration graphique.

Seconde Partie (commençant le 9 Avril) : Construction des divers types de nomogrammes, ou abaques, avec exemples d'applications pratiques ; Réduction des équations aux formes canoniques correspondantes.

Vu et approuvé :

<i>Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,</i> L. LIARD.	<i>Le Doyen de la Faculté des Sciences,</i> PAUL APPELL.
--	--

PARIS — IMPRIMERIE F. LÉVY, RUE CASSETE, 17.

FIGURE 7.10 – Affiche du cours de d'Ocagne à la Sorbonne en 1907. Source : ENPC

Finalement, début 1912, son vœu est enfin réalisé et il devient professeur de géométrie à l'École polytechnique à la mort de Haag, avec la satisfaction non dissimulée de savoir qu'André l'avait vu prendre ce poste avant la fin de sa vie. À partir de cette période, il occupe les deux fonctions de professeur à l'École polytechnique et à l'École des ponts et chaussées jusqu'à sa mise à la retraite. Il accède au rang de doyen dans les deux écoles.

Le 10 juin 1933, le comité de la société des amis de Polytechnique ainsi que le général commandant et le directeur de l'École des ponts et chaussées organisent le jubilé professoral de d'Ocagne pour ses quarante années de services rendus. Il est ensuite accueilli, le 21 juin, à la ville de Paris, où il reçoit une médaille commémorative en vermeil. Lors de cette cérémonie, M. de Fontenay⁶⁰, président du conseil municipal de Paris lui rend un vibrant hommage⁶¹ :

60. Maurice-Marie-Joseph-Marie de La Fontaine, baron de Fontenay (1872-1957) : militaire et homme politique français.

61. VILLE DE PARIS (1933). « Réception, à l'hôtel de ville, Professeur Maurice d'Ocagne, à l'occasion de son jubilé ». *Supplément au Bulletin municipal officiel de la ville de Paris, du 14 juillet 1933*. n.161.

« Et mes hommages iront, [...], autant à l'homme au cœur exquis et à la fine sensibilité, au guide bienveillant et affectueux, à l'amateur éclairé des Lettres et des Arts, qu'au grand géomètre, au membre de l'Académie des Sciences, au savant professeur, au Président et au membre de nombreuses sociétés scientifiques françaises et étrangères. [...]

Le rayonnement de vos leçons, de vos conférences, de vos travaux, dépassa de beaucoup, non seulement celui de votre chaire à l'École Polytechnique ou à l'École des Ponts et chaussées, mais s'étendit, au delà de nos frontières, au Monde entier. Répéterai-je que tels de vos travaux, singulièrement ceux qui offrent, sous une forme synthétique jamais tentée avant vous, tous les modes possibles de représentations graphiques, connurent une vogue extraordinaire et furent - tel un roman à succès! - traduits en douze langues, parmi lesquelles l'Arabe et le Japonais. »

Enfin, il reçoit la médaille de bronze de l'union du corps enseignant portant la mention « Au professeur d'Ocagne, le corps enseignant de l'école polytechnique 1893-1933 ».

Le 4 septembre 1937, on lui décerne le titre de professeur honoraire à l'École nationale des ponts et chaussées.

7.2.3 Sa carrière de scientifique

La genèse d'une passion : ses premiers écrits en tant qu'élève

D'Ocagne rencontre sa passion pour la géométrie au lycée Chaptal, à l'âge de 13 ans, lorsqu'il découvre la beauté des démonstrations et le fait qu'il pourrait lui-même en imaginer. Il s'approprie d'ailleurs volontiers la devise « nulla dies sine linea », aucun jour sans une ligne, dont il détourne le dernier mot dans son sens géométrique. En 1877, à 15 ans, il écrit son premier article dans le *Journal des mathématiques élémentaires* (JME) : le but de ce journal, créé cette année là, est de relier entre eux les élèves des classes de mathématiques élémentaires des lycées et des établissements d'instruction qui se préparent au baccalauréat ès sciences ou aux grandes écoles⁶². On y propose notamment des questions dans diverses branches liées aux mathématiques (arithmétique, algèbre, géométrie, géométrie descriptive, trigonométrie, cosmographie, mécanique, physique et chimie), et des questions de compositions de concours auxquelles les élèves soumettent des ré-

62. LA RÉDACTION (1877). « Introduction ». *Mathématiques élémentaires*.

ponses, les meilleures étant publiées. C'est dans le n°14 du journal du 15 juillet 1877⁶³ que d'Ocagne semble y avoir écrit le premier article dont l'énoncé est le suivant :

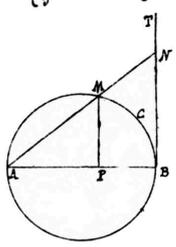
On donne un demi-cercle construit sur AB comme diamètre et on mène la tangente BT au point B. Cela posé, on demande de mener par le point A la sécante AMN (M et N étant les points où elle coupe la demi-circonférence et la tangente BT) telle que si on fait tourner la figure autour de AB, le volume engendré par la portion de cercle AMB soit équivalent en volume engendré par la surface MNB, qui est limitée pour les droites MN et NB et l'arc de cercle MB.

D'Ocagne propose la réponse suivante, écrite de la main de Vuibert (voir fig. 7.11) :

Designons AP par x D'après l'énoncé

$$2 [\text{Vol. AM}^2\text{P} + \text{Vol. MCBP}] = \text{Vol. ANB} \text{ ou}$$

$$2 \left[\frac{1}{3} \pi \overline{MP}^2 x + \frac{1}{6} \pi \overline{BP}^3 + \frac{1}{2} \pi \overline{MP}^2 \cdot \overline{BP} \right] = \frac{1}{3} \pi \overline{BN}^2 \times 2R \text{ ou}$$

$$2 \left[\frac{1}{3} \pi \overline{MP}^2 x + \frac{1}{6} \pi \overline{BP}^3 + \frac{1}{2} \pi \overline{MP}^2 \cdot \overline{BP} \right] = \frac{1}{3} \pi \overline{BN}^2 \times 2R$$


En remplaçant \overline{MP}^2 par $x(2R-x)$
 \overline{BP} par $2R-x$, et en tirant la
 valeur de \overline{BN}^2 de la relation
 $\frac{\overline{BN}^2}{\overline{MP}^2} = \frac{\overline{BN}^2}{x(2R-x)} = \frac{4R^2}{x^2}$, on arrive
 à l'équation
 $(2R-x)(x^2 + 2Rx - 4R^2) = 0$
 Ses racines de cette équation
 sont :

$$x' = 2R$$

$$x'' = R(\sqrt{5}-1)$$

$$x''' = -R(\sqrt{5}+1)$$

Ses racines x' et x'' n'étant pas plus grandes
 que $2R$, corrément ; la racine x''' , qui est
 négative, est à rejeter.
 On peut remarquer que la valeur de x'
 représente le plus grand segment du diamètre
 divisé en moyenne et extrême raison ; celle de
 x'' correspond au cas où les deux volumes sont nuls.
 En prenant l'angle BAN pour inconnue,
 on arrive à l'équation $\sin^2 \alpha (\cos^2 \alpha + \cos^2 \alpha - 1) = 0$,
 qui est satisfaite pour $\alpha = 0$ et $\alpha = 58^\circ 10' 22''$
 [M. Maurice d'Ocagne - collège Chaptal, S. Etual - lycée
 de Sorrent - M. Bloyfuetz - collège de Yverdon, F. Canon - allée de
 Vintimille - lycée de Ventailles, D. Comandri - lycée de Pau, Arthur Collin -
 Ecole Industrielle des Vosges, J. Martin, Coubrac, E. Ecole Evreux - ont
 résolu cette question.]

FIGURE 7.11 – Premier article de d'Ocagne dans un journal. Source : HathiTrust Digital Library

À 16 ans, son baccalauréat ès sciences en poche, il suit des cours en mathématiques spéciales au collège Chaptal, puis au lycée Fontanes dans le but d'intégrer Polytechnique. Il souligne l'excellence de ses professeurs de mathématiques dont il tire grand profit et il semble prendre goût à proposer des solutions dans le

63. Maurice d'OCAGNE (1877). « École spéciale militaire. Concours de 1877, composition de mathématiques ». *Journal de mathématiques élémentaires*.

Journal de mathématiques élémentaires à l'usage des candidats aux écoles du gouvernement et des aspirants au baccalauréat ès sciences. Dans le tome 2 de 1878, il est cité dans 15 questions rédigées sur 22, dont deux sont publiées. Les questions auxquelles il répond sont les suivantes ⁶⁴ :

Question 96. Le nombre p étant premier avec 10, montrer qu'on peut toujours trouver un multiple de p terminé par des chiffres pris arbitrairement.

Question 97. Construire un triangle équilatéral ayant ses sommets sur trois parallèles données.

Question 98. Le volume d'un cône s'obtient en divisant le carré de la surface latérale par trois fois la circonférence d'un grand cercle de la sphère circonscrite.

Question 100. Lorsqu'on élève au carré le produit de deux nombres entiers consécutifs augmenté de 1, l'on obtient une somme de trois carrés. En général, le carré du trinôme $a^2 + ab + b^2$ est égal à la somme de trois carrés.

Question 102. Si l, m, n sont les longueurs des bissectrices d'un triangle ABC dont la surface est S, démontrer que l'on a

$$S = \frac{1}{2}l(b+c)\sin\left(\frac{A}{2}\right) = \frac{1}{2}la\cos\left(\frac{B-C}{2}\right) = \frac{lmn(b+c)(c+a)(a+b)}{4abc(a+b+c)}.$$

Question 103. Si A et A' sont deux puissances différentes d'un nombre premier a , B et B' deux puissances différentes d'un nombre premier b , et si les nombres AB, AB', A'B, A'B' ont respectivement m, n, p, q diviseurs, le nombre des diviseurs du nombre $abAB'BA'$ est $(m+n+p+q)$.

Question 104. Si dans un quadrilatère inscrit ABCD les deux côtés consécutifs AB, BC sont égaux et si la diagonale BD rencontre en H la diagonale AC, on a la relation $AB^2 = BD \cdot BH$.

Question 105. Construire géométriquement un triangle dont on connaît un côté, l'angle opposé et le produit des deux autres côtés.

Question 106. Sur une ellipse donnée, on prend un point M et l'on mène les rayons vecteurs de ce point MF, MF'. À partir du sommet A du grand axe, on porte sur le grand axe $AP = MF$ et l'on élève en ce point l'ordonnée PQ. Cette ordonnée est égale à la normale MN du point M arrêtée en N à l'axe AA'.

Question 107. Dans tout parallélépipède la somme des carrés des arêtes est égale à la somme des carrés des diagonales.

Question 108. La somme des carrés des arêtes d'un tétraèdre est égale à quatre fois la somme des carrés des droites qui joignent les milieux des arêtes opposées.

64. Justin BOURGET (1878). *Journal de mathématiques élémentaires à l'usage des candidats aux écoles du gouvernement et des aspirants au baccalauréat ès sciences.* 2. Delagrave.

Question 110. Le cercle décrit sur un rayon vecteur d'une ellipse comme diamètre est tangent au cercle décrit sur le grand axe comme diamètre.

Question 111. Les projections d'un point de la circonférence circonscrite à un quadrilatère sur les quatre côtés déterminent huit segments tels que le produit de quatre segments non consécutifs est égal au produit des quatre autres.

Question 112. Trois cercles sont tracés dans un plan de telle manière que chacun d'eux touche les deux autres; trouver le rayon du cercle qui passe par les points de contact des cercles, et celui du cercle qui passe par les centres. Trouver aussi la surface du triangle obtenu en joignant les centres des trois cercles primitifs.

Question 117. Dans un triangle rectangle, on abaisse la perpendiculaire $AD = h$ sur l'hypoténuse et l'on désigne par r et r' les rayons des cercles inscrits dans les triangles ADB , ADC , et par R le rayon du cercle inscrit dans le triangle ABC . Démontrer les relations : $R^2 = r^2 + r'^2$; $R + r + r' = h$.

Il propose également trois notes dans la rubrique « Géométrie » :

- Sur le volume du tronc de pyramide.
- Note sur le partage des polygones.
- Sur une nouvelle manière de mener la tangente à une ellipse.

Par la suite, lors de ses deux années de mathématiques spéciales, il délaisse quelque peu les questions (6 questions sur 33 en 1879 et 3 questions toutes rédigées sur 51 en 1880). Ces questions étant plus orientées vers des futurs bacheliers, il préfère proposer des notes, ce qui constitue un travail certainement plus intéressant à ses yeux puisqu'il a davantage de liberté concernant les sujets qu'il souhaite voir publiés. C'est ainsi que, dans le tome 3 de 1879⁶⁵, six notes de d'Ocagne sont proposées : une en algèbre, deux en géométrie et trois en arithmétique :

- Sur le minimum d'une expression algébrique à plusieurs variables.
- Théorème sur le trapèze.
- Note de géométrie.
- Note sur la divisibilité.
- Théorème de l'incommensurabilité (résumé du cours de M. Songaylo, professeur au collège Chaptal).
- Note sur la soustraction des fractions.

65. Justin BOURGET et Joseph KÆHLER (1879). *Journal de mathématiques élémentaires à l'usage des candidats aux écoles du gouvernement et des aspirants au baccalauréat ès sciences*. 3. Delagrave.

Dans le tome 4 de 1880⁶⁶, excepté une note sur le partage des polygones qui complète son article de 1878, c'est uniquement en géométrie qu'il publie quatre autres notes :

- Note sur une ligne du triangle : l'antibissectrice.
- Principes élémentaires de géométrie.
- Note de géométrie.
- Note sur une ligne considérée dans le triangle rectiligne.

La montée en puissance : ses premiers travaux mathématiques

Élève à l'École polytechnique, d'Ocagne passe des heures à lire des livres de Michel Chasles⁶⁷. Dans la partie de la bibliothèque réservée aux enseignants, l'œuvre qui l'inspire le plus est le *Rapport sur les progrès de la géométrie*⁶⁸. C'est dans cette même bibliothèque que d'Ocagne eut la grande joie de rencontrer Chasles sur la fin de sa vie. Ce dernier l'engage (bien évidemment) à poursuivre dans la voie de la géométrie, tout en regrettant que les avancées de l'analyse ne détournent trop de mathématiciens des méthodes de géométrie pure.

Comme professeur de mathématiques à l'École polytechnique, d'Ocagne côtoie de grands noms comme Bertrand, à qui il n'hésite pas à proposer des solutions « plus élégantes » à des questions traitées dans ses cours. Bertrand répond toujours favorablement à ces suggestions.

À partir de 1880, et depuis quasiment sans interruption, il publie dans les *Nouvelles annales de mathématiques* (NAM), au départ tout comme dans le JME, sous forme de solutions. Puis, il propose des énoncés de questions, et bien sûr, il écrit un grand nombre de notes mathématiques. En 1880, il publie quatre notes dans les NAM dont la première se nomme « Remarque sur un problème d'analyse combinatoire ». Ses premières publications, jusqu'en 1882, sont assez variées : il y traite d'analyse combinatoire, de géométrie cinématique, d'analyse et un peu de géométrie.

Par la suite, il s'essaie à différentes branches des mathématiques : nous allons voir rapidement quels sont les thèmes qu'il a abordés. L'objectif ici n'est pas de faire une étude exhaustive de ses travaux, mais de donner quelques éléments sur

66. Justin BOURGET et Joseph KÆHLER (1880). *Journal de mathématiques élémentaires à l'usage des candidats aux écoles du gouvernement et des aspirants au baccalauréat ès sciences*. 4. Delagrave.

67. Michel Chasles (1793-1880) : mathématicien français renommé pour ses travaux en géométrie projective et en analyse harmonique.

68. Michel CHASLES (1870). *Rapport sur les progrès de la géométrie*. Imprimerie nationale de France.

des domaines qu'il a peu ou prou étudiés.

En algèbre, il travaille sur la théorie des invariants et en particulier sur les péninvariants des formes binaires (~1886–1888) et il s'est intéressé à la théorie générale des suites récurrentes (~1884–1894).

En théorie des nombres, il étudie les propriétés des nombres K_m^p (~1887).

En probabilités, sa mission au service du nivellement général de la France l'amène à étudier la probabilité des erreurs pour la compensation des réseaux topographiques, la composition des erreurs, l'influence des erreurs... Son plus beau résultat concerne la loi de Gauss et les épreuves répétées, cité notamment dans le *Calcul de probabilités* de Poincaré et dans celui de Lévy (~1894–1912).

En géométrie pure, ses principaux travaux portent sur les études de surfaces (coniques et quadriques), et surtout sur les systèmes de coordonnées (parallèles, axiales, cycliques) et les transformations géométriques (tangentes). Ces études permettant de passer d'un système de coordonnées ponctuelles cartésiennes à un système de coordonnées tangentes parallèles et inversement par dualité, ce qui a permis à d'Ocagne de grandes avancées pour sa nomographie (dès les années 1880).

En géométrie infinitésimale, il effectue des recherches sur les courbes planes en s'appuyant sur les travaux de Mannheim, avec des applications en géométrie cinématique. Il travaille également sur la rectification des courbes et, dans une moindre mesure, sur les surfaces (dès les années 1880 et tout au long de sa vie).

En géométrie appliquée, il utilise ses connaissances de géométrie pour résoudre des problèmes de sciences de l'ingénieur pour son travail professionnel en résistance des matériaux et en statique graphique.

Le Graal : l'essor de la nomographie

La partie principale de son œuvre mathématique est toutefois constituée de la nomographie. Avant d'y consacrer une bonne partie de ses recherches, il s'intéresse au calcul graphique, et c'est au départ l'utilisation des abaques cartésiens ou anamorphosés de Lalanne qui ont incité d'Ocagne à se pencher sur cet outil. Les inconvénients liés à l'enchevêtrement des systèmes de lignes cotées et la lecture souvent source d'erreurs le mènent à réfléchir à un système pouvant pallier ces défauts.

C'est fin 1883 qu'il conçoit l'idée de la méthode des points alignés : il commence par transformer les systèmes de droites en échelles cotées de support courbe ou droit par dualité. Sa première inspiration est d'utiliser la transformation par polaires réciproques, qui consiste à remplacer des coordonnées cartésiennes en coordonnées plückériennes. L'inconvénient de la méthode est que de telles coordonnées représentent les inverses de segments et non pas les segments eux mêmes, ce qui n'est pas d'une utilisation pratique. Après un passage vers d'autres domaines, il retourne vers les représentations graphiques afin d'en améliorer la méthode dans les années 1890. Entre temps, il a développé ses connaissances en terme de coordonnées parallèles qu'il utilise dans un deuxième temps pour effectuer ses transformations. Il se consacre à la résolution complète de l'équation du troisième degré non encore réalisée graphiquement. Lallemand, avec ses abaquages hexagonaux, a déjà fait une étude poussée sur ce thème et déterminé une méthode applicable à un certain type d'équations du troisième degré en utilisant un artifice consistant à accoler plusieurs abaquages à deux entrées, mais d'Ocagne souhaite une méthode globale applicable à n'importe quelle équation du troisième degré. Il y arrive en introduisant des réseaux de points doublement cotés. Sa méthode enfin mise au point de manière systématique, il écrit en 1891 la première édition de sa *Nomographie. Les calculs usuels effectués au moyen des abaques*, livre qu'il propose à Bertrand, en hommage à ses conseils précieux lorsqu'il était à l'École polytechnique. Il lui expose la nomographie comme procédé graphique permettant de représenter des tables à plus de deux entrées, mais Bertrand semble très surpris que l'on puisse construire de telles tables sur une feuille à deux dimensions. Il connaît l'abaque de Lalanne pour la résolution de l'équation du troisième degré, mais pense impossible la résolution complète de l'équation du troisième degré en prenant chacun des trois coefficients comme entrée dans un tableau unique. D'Ocagne lui montre alors la partie de sa brochure où, précisément, cette question est résolue, et Bertrand, surpris par ce résultat impressionnant, lui propose de le soutenir pour une candidature à un prix de l'Académie des sciences. Le 19 décembre 1892, il obtient le prix de la fondation Leconte (voir fig. 7.12).

D'Ocagne s'attache alors à diffuser la nomographie à travers la France, puis le monde, en appliquant son procédé à des domaines de plus en plus nombreux. L'année suivante, il donne plusieurs conférences bénévoles au Conservatoire national des arts et métiers sur les méthodes de calcul simplifié.

En 1894, il reçoit une deuxième récompense : il s'agit du prix Dalmont, ob-

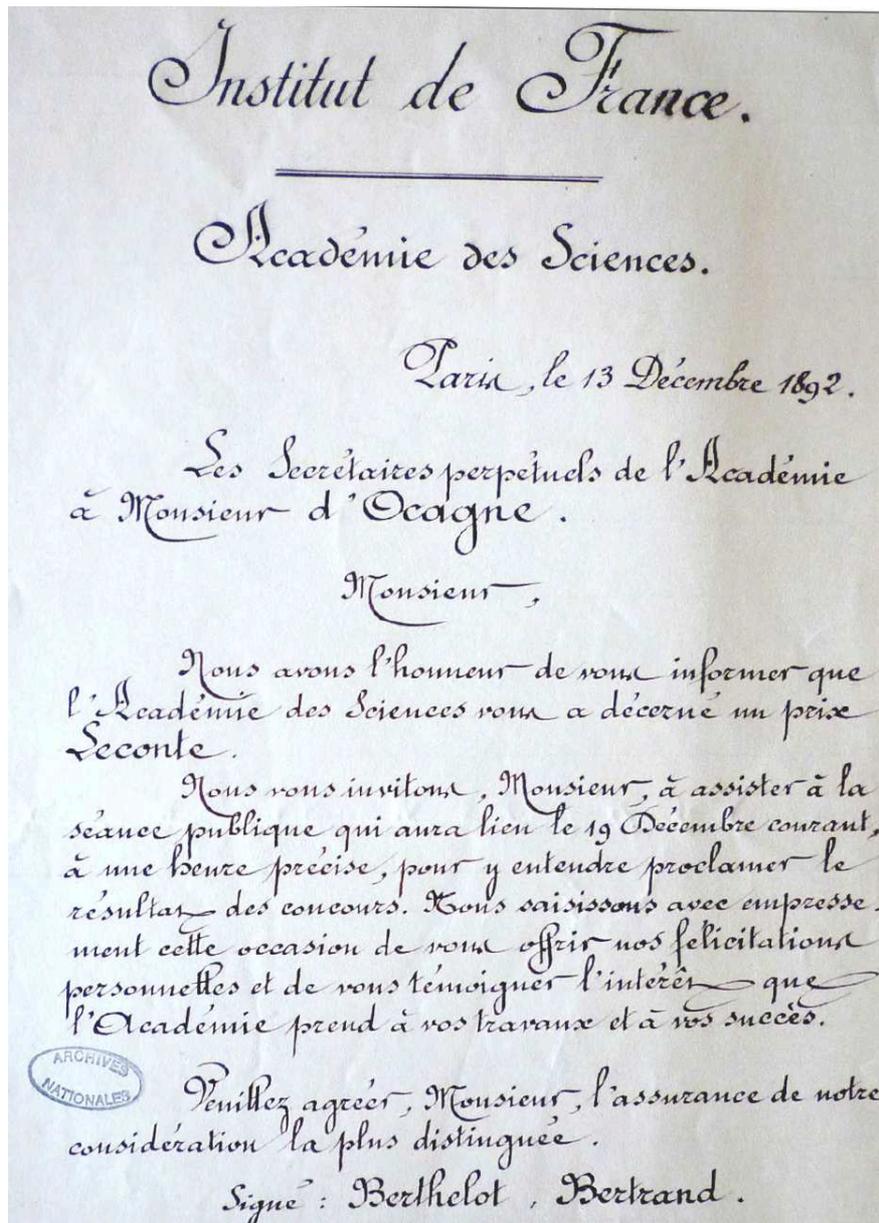


FIGURE 7.12 – Prix Leconte de l'Académie des sciences. (1891). Source : Archives nationales

tenu pour l'ensemble de ses travaux mathématiques. C'est à cette occasion qu'il fait la connaissance de Farid Boulad, étudiant égyptien admis à l'École des ponts et chaussées, qui, alors qu'il ne parlait pas la langue à son arrivée en France, fut major de sa promotion pendant les trois années où il étudiait à l'école. Boulad restera en correspondance avec d'Ocagne tout au long de sa vie : devenu ingénieur au service des Ponts et chemins de fer de l'état égyptien, où il mena des projets de grande envergure, il a également œuvré au développement de la nomographie de d'Ocagne. Nous reviendrons sur ce duo dans le prochain chapitre.

En 1902, d'Ocagne reçoit une troisième récompense de l'Académie des sciences, il s'agit cette fois du prix Poncelet pour son *Traité de nomographie*, au titre des mathématiques appliquées.

Les « dommages collatéraux » de la nomographie : l'intégration graphique et les instruments et machines de calcul

Suite à la nomographie, d'Ocagne étend le sujet de manière plus générale aux procédés graphiques et mécaniques. Pour cela, il n'a pas eu, comme pour la nomographie, à tout inventer : il s'est intéressé par exemple à l'intégration graphique en se contentant de suivre les travaux de Massau et en tentant d'améliorer la manière dont ils avaient été exposés.

Ses connaissances en calcul graphique l'ont en outre conduit à s'occuper de machines mécaniques : c'est à l'origine une conférence donnée au Conservatoire des arts et métiers en 1893, à un moment où la nomographie commençait à se répandre, que le colonel Laussedat⁶⁹ lui propose d'étudier ces machines. Il dispose en effet de nombreuses machines dont il ne connaît pas dans les détails le fonctionnement. D'Ocagne compare les différents mécanismes et leurs caractéristiques et se charge d'établir notamment une classification rationnelle en comparant anatomiquement les machines. Cela lui permet de proposer une classification des méthodes de calcul graphiques et mécaniques qu'il publie essentiellement dans le *Calcul simplifié par les procédés mécaniques et graphiques* en 1893. Cette première édition sera augmentée tout en restant assez similaire en 1905, puis une dernière édition sera refondue grâce aux avancées induites par trente ans de recherches en la matière en 1928⁷⁰. Dans cette troisième édition, les groupes cités sont au nombre de cinq (voir fig. 7.13) :

- le calcul mécanique, utilisant des inscripteurs à chiffres et qui concerne les machines à calculer : instruments et machines arithmétiques ;
- le calcul graphique, consistant à fournir un dessin uniquement à la règle et au compas (et à l'équerre) : arithmétique et algèbre graphiques, statique graphique et intégration graphique ;
- le calcul graphomécanique, pour lequel la construction du dessin est effec-

69. Aimé Laussedat (1819-1907) : ingénieur polytechnicien, chercheur et professeur français à polytechnique puis conservateur au conservatoire des arts et métiers, il est aussi astronome, spécialiste des instruments et de la géodésie, géomètre, topographe.

70. Maurice d'OCAGNE (1928b). *Le calcul simplifié par les procédés mécaniques et graphiques. Esquisse générale comprenant : calcul mécanique, calcul graphique, calcul graphométrique, calcul nomographique, calcul nomomécanique*. 3^e éd. Gauthier-Villars.

- tuée à l'aide d'un dispositif mécanique spécialement conçu pour représenter certaines relations géométriques : intégromètres et intégraphes ;
- le calcul nomographique, dont les cotes sont reliées entre elles par des lignes fixes ou mobiles : nomogrammes à lignes concourantes, à points alignés et à systèmes mobiles ;
 - le calcul nomomécanique, dont les cotes sont reliées entre elles par des organes mécaniques : instruments logarithmiques comme les règles à calcul, machines algébriques.

Ces travaux, d'autres mathématiciens après lui les ont utilisés : c'est ainsi que Mehmke s'associe à d'Ocagne en 1908 pour écrire un long article intitulé « Calculs numériques » dans dans l'*Encyclopédie des sciences mathématiques pures et appliquées*⁷¹, traduction française de l'*Encyklopädie der mathematischen Wissenschaften mit Einschluss ihrer Anwendungen*.

Son appartenance à des sociétés mathématiques

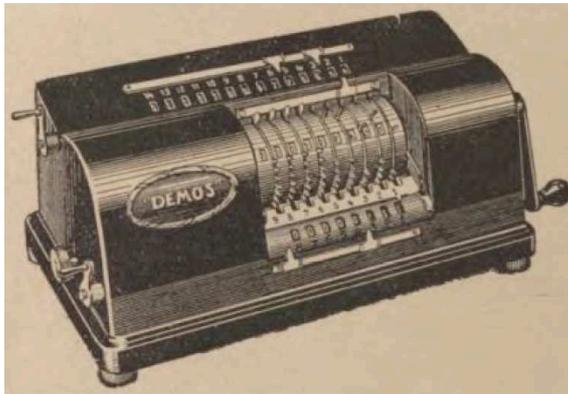
Toutes ces incursions dans différents domaines ont mené d'Ocagne à être invité et à vouloir intégrer des sociétés scientifiques diverses : c'est ainsi qu'à sa première rentrée à l'École des ponts et chaussées en 1882, il se fait admettre à la *Société mathématique de France*. Cette association, créée 10 ans plus tôt par Chasles, a pour but « l'avancement et la propagation des études de mathématiques pures et appliquées ». Il y est très assidu et y fait de temps en temps des communications. En 1884 et 1885, il est vice-secrétaire auprès de Poincaré, archiviste en 1890 et 1901, et enfin président en 1901.

En 1886, il devient membre correspondant de la *Société philomathique de Paris*, une société scientifique et philosophique considérée à certains égards comme l'antichambre de l'*Académie des sciences*⁷².

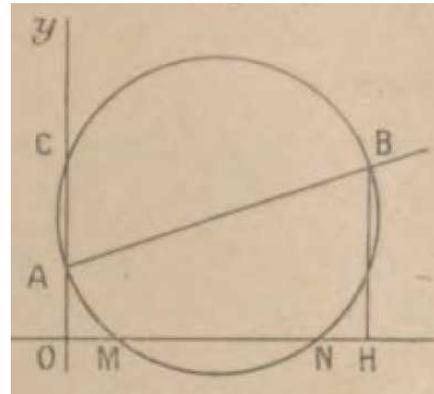
En 1910, il postule pour la première fois à l'*Académie des sciences*, dans la section libre sous les conseils avisés de Poincaré. En effet, l'Académie comporte alors des membres titulaires de la division des sciences mathématiques (géométrie, mécanique, astronomie, géographie et navigation, physique générale) ainsi que des membres non titulaires que sont les académiciens libres, les membres non ré-

71. Rudolph МЕНМКЕ et Maurice d'OCAGNE (1908). « Calculs numériques ». *Encyclopédie des sciences mathématiques pures et appliquées*. 1.

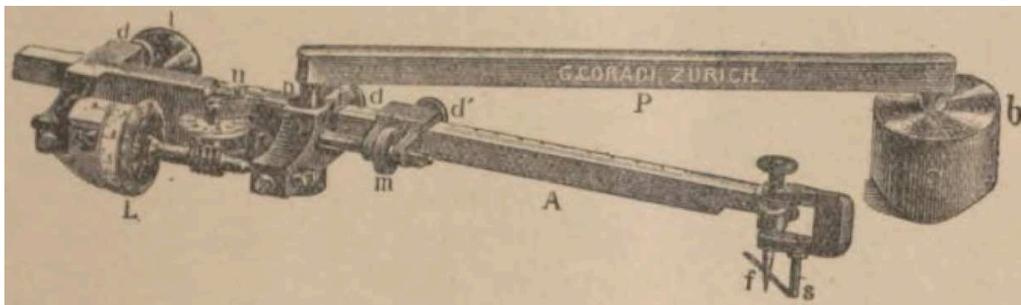
72. SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE DE PARIS et André THOMAS (1990). *La Société philomathique de Paris et deux siècles d'histoire de la science en France : colloque du bicentenaire de la Société philomathique de Paris*. Presses universitaires de France.



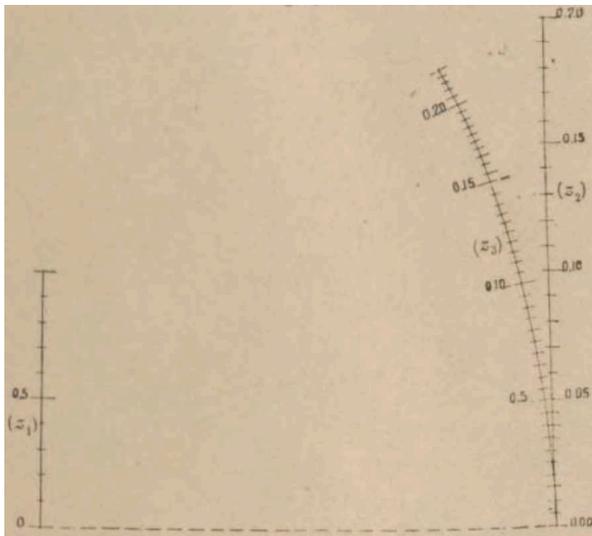
(a) Calcul mécanique.
Machine Demos



(b) Calcul graphique.
Racines d'une équation du second degré



(c) Calcul graphomécanique. Planimètre polaire



(d) Calcul nomographique.
Abaque pour l'arpentage des coupes



(e) Calcul nomomécanique.
Cadran arithmétique de Boucher

FIGURE 7.13 – Classification des méthodes de calcul graphique et mécanique par d'Ocagne dans le Calcul simplifié par les procédés mécaniques et graphiques avec, pour chaque cas, un exemple de tracé, d'instrument ou de machine (1928).

sidents et ceux de la section application de la science à l'industrie⁷³. Poincaré pense que les travaux de d'Ocagne sont trop spécifiques pour entrer dans l'une des sections mathématiques, et que les cadres de ces sections sont trop rigides. Il obtient une seule voix, celle de Georges Humbert⁷⁴, son professeur d'analyse à Polytechnique devenu un ami fidèle. En 1911, il tente une nouvelle candidature, il obtient la voix de Humbert et celle de Poincaré, qui ne fait pas campagne en sa faveur, estimant les chances encore trop faibles, mais lui promettant de le faire pour une troisième candidature. Malheureusement, Poincaré meurt en 1912 avant même d'avoir pu persuader les décideurs. À ce moment là, d'Ocagne sait d'ores et déjà que la bataille sera rude sans cet appui important. Le 30 janvier 1922, il obtient finalement son élection à l'Institut de France à l'*Académie des sciences* dans la catégorie libre.

Mais d'Ocagne est également actif hors de France : en 1884, il est introduit pour la première fois à la *Société scientifique de Bruxelles* sous la coupe d'Hermite, professeur qu'il avait eu momentanément lorsqu'il était élève. Commence alors le début d'une longue adhésion à cette société tout au long de sa vie, et une collaboration sans faille à son journal la *Revue des questions scientifiques* sous son nom propre ou sous le nom d'emprunt de « Du Plessis ». Cette société, internationale puisqu'elle admet des scientifiques étrangers, est surtout dominée par les Belges et les Français, dont le nombre fait que la présidence est accordée en alternance à des membres des deux pays. C'est ainsi que d'Ocagne fut président de la Société à la session de 1921-1922. Il y fait tous les ans une excursion, donnant de nombreuses conférences sur le nomographie.

En 1888, il est élu membre correspondant de la *Société royale des sciences de Liège*, fondée en 1833 et à l'*Académie des sciences de Lisbonne*, créée en 1779. Il obtient de ces sociétés des décorations prestigieuses telles que la croix de chevalier de l'ordre de Léopold par sa majesté le roi des Belges en 1889, la première classe d'un ordre qui en comporte cinq; et la décoration de commandeur de l'ordre royal du Christ au Portugal (troisième classe de l'ordre).

En 1890, il est nommé membre honoraire de la *Société mathématique d'Amsterdam*, il y fait un exposé sur les principes, alors assez récents, de la nomographie.

En 1896, il est invité par la *Société Royale de Londres* afin de présenter ses travaux de nomographie, mais sans y être, à priori, accepté comme membre correspon-

73. Pierre GAUJA (1934). *L'Académie des sciences de l'Institut de France*. Gauthier-villars.

74. Georges Humbert (1859-1921) : mathématicien et professeur français, membre de l'Académie des sciences.

dant.

En 1908, c'est à Rome que d'Ocagne a le plaisir de parler de nomographie lors du congrès international de mathématiques, organisé tous les quatre ans dans une capitale différente. Il y est fait président de la section de mathématiques appliquées. En 1925, il retourne à Rome sous l'appel du professeur Giuseppe Gianfranceschi⁷⁵, qui le désigne comme membre correspondant étranger dans l'une des Académies pontificales, celle des sciences nommée alors *Nuovo Lincei*. Il y donne une conférence de l'histoire des procédés graphiques et mécaniques de calcul.

7.3 Conclusion

Comme nous avons pu le constater à travers cette biographie, d'Ocagne, pour reprendre une expression de Konstantinos Chatzis, est un ingénieur-savant tardif⁷⁶ des Ponts et Chaussées aux multiples facettes. Jonglant entre son métier d'ingénieur, ses chaires de professeur, sa carrière scientifique et ses réceptions mondaines, il est probable qu'il eut préféré être reconnu comme mathématicien plutôt que comme ingénieur. Son parcours d'ingénieur est d'ailleurs orienté par sa volonté de poursuivre des recherches dans les mathématiques, sans toutefois pouvoir complètement s'affranchir de son corps d'origine. La preuve en est des nombreuses autorisations qu'il est obligé de demander et de justifier à chaque fois qu'il souhaite faire un « écart scientifique ». Considéré comme un ingénieur qui pourrait être doué mais qui délaisse quelque peu son travail, il est en revanche reconnu dans le corps professoral comme un enseignant de grande qualité et aura, sur la fin de sa carrière, de moins en moins de liens avec sa formation originelle. Ses recherches dans le domaine de la nomographie lui auront permis de se faire un nom parmi les ingénieurs-savants. Comme « créateur » de la nomographie, il aura été très actif dans la publication dans des revues scientifiques. Ses nominations en qualité de membre de multiples associations nous montre qu'il est reconnu à cette époque dans plusieurs pays d'Europe et même du Monde. Les rapports de la figure 7.14, donnés en 1899, rendent assez bien compte de manière synthétique des qualités de d'Ocagne dans ses trois domaines d'intervention.

75. Giuseppe Gianfranceschi (1875-1934) : jésuite, physicien, mathématicien italien, l'un des fondateurs du scoutisme catholique italien.

76. Konstantinos CHATZIS (2015). « Un ingénieur-savant tardif : le cas de Philbert Maurice d'Ocagne (1862-1938) ». *Séminaire d'histoire des mathématiques de l'IHP : Maurice d'Ocagne, questions historiques et historiographiques soulevées par ses archives*.

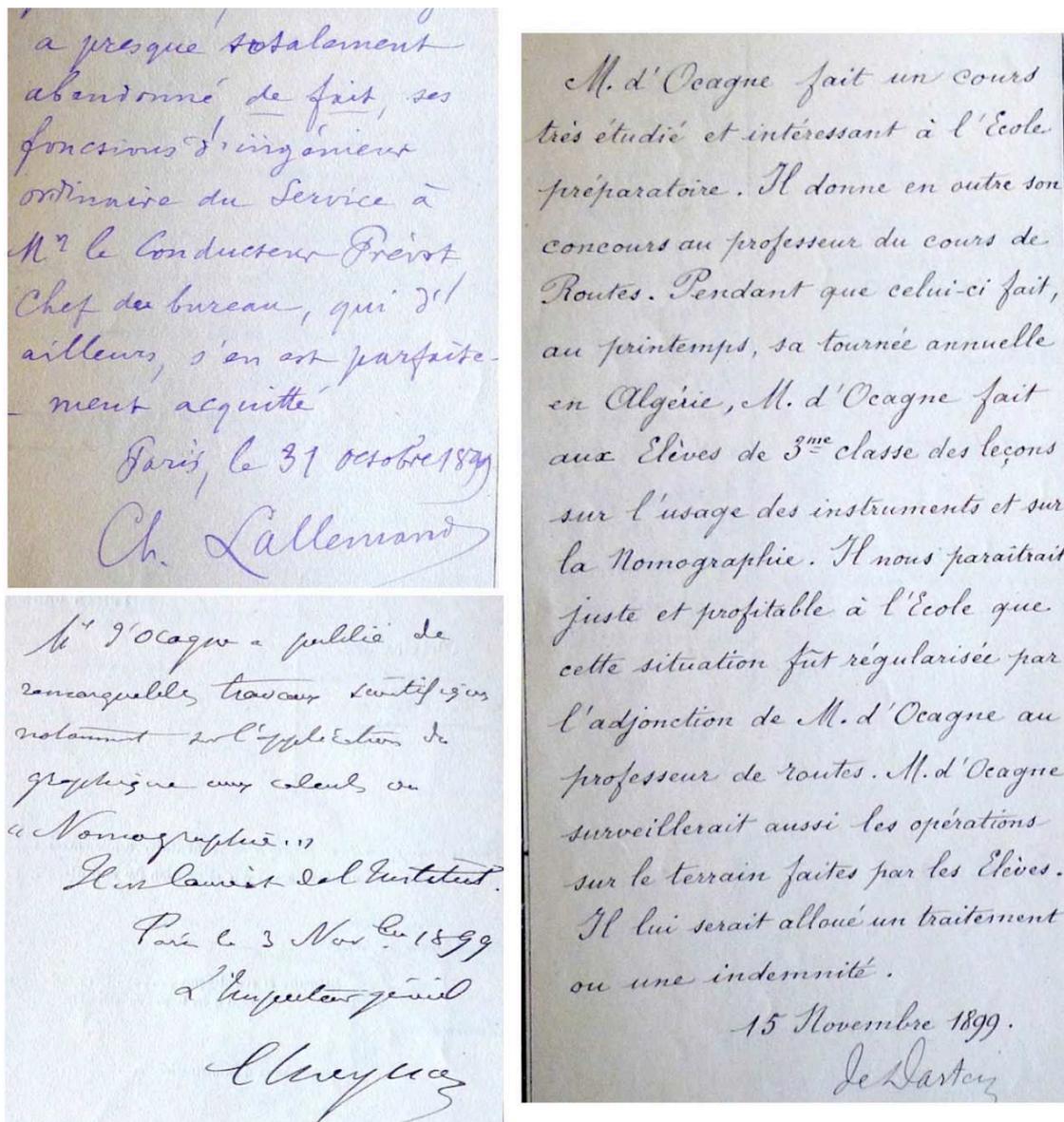


FIGURE 7.14 – Avis divergents selon les missions de d'Ocagne en 1899. Source : Archives nationales

Finalement, à travers ces éléments de biographie, nous pourrions caractériser d'Ocagne comme un homme tenace, qui sait où il veut aller et qui est déterminé à atteindre ses objectifs. Pour preuve, ses demandes régulières de mutation pour rentrer dans son fief natal de Paris, ses multiples demandes de poste de professeur à Polytechnique, son insistance pour entrer à l'Académie des sciences... il semblerait qu'il arrive toujours à ses fins, même si, pour cela, il est obligé parfois parfois de prendre des chemins détournés.

Étude de cas : le lien singulier avec son élève Farid Boulad Bey

Sommaire du présent chapitre

8.1 Farid Boulad Bey	305
8.2 Ses apports techniques à la nomographie	307
8.3 Un fervent défenseur de la nomographie et de d'Ocagne	309
8.4 Conclusion	317

Nous avons vu, précédemment, que d'Ocagne avait eu une relation privilégiée avec Farid Boulad Bey, avec notamment de nombreux échanges : au total, la correspondance Boulad-d'Ocagne des archives de l'ENPC s'élève à 222 lettres représentant plus de 1 000 pages entre 1906 et 1938 (voir fig. 8.1).

Nous trouvons dans le tome 4 des livres de souvenirs¹ de d'Ocagne une description d'une page qui témoigne d'une véritable affection envers Boulad. En voici quelques passages :

« C'est, en Égypte, mon excellent et fidèle disciple Farid Boulad Bey qui a été mon principal correspondant mathématique. Venu en France sachant à peine notre langue et ne possédant que des rudiments d'instruction mathématique, Farid Boulad, grâce à sa vive intelligence, à sa grande facilité d'assimilation et à sa rare puissance de travail, s'est, en moins d'un an,

1. Maurice d'OCAGNE (1935g). « Mes souvenirs, livre VII : Après-guerre et livre VIII : Vie scientifique ». T. 4, p. 233-234.

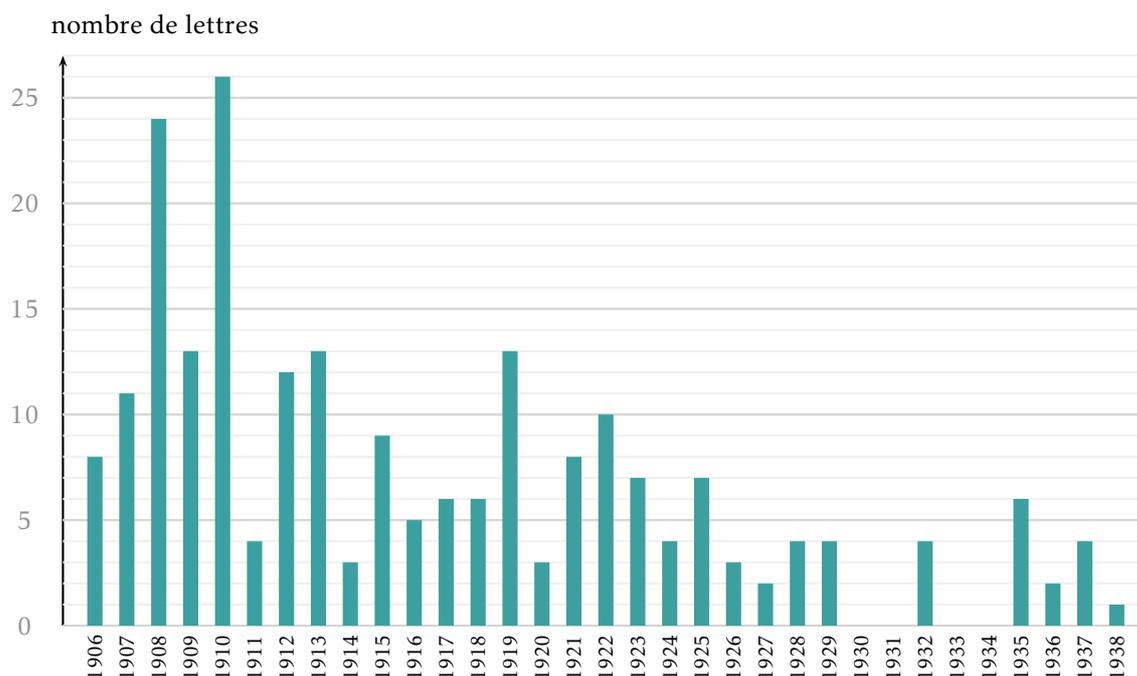


FIGURE 8.1 – Diagramme en bâtons du nombre de lettres de Boulad reçues par d'Ocagne en fonction des années

rendu apte à subir avec succès le concours d'admission à l'École des ponts et chaussées où je l'ai eu comme élève lors de mes débuts comme professeur à cette école, en 1894. Il a, du reste, pris, dès son entrée, la tête de sa promotion pour la garder pendant ses trois années d'études, et il est devenu ensuite un excellent ingénieur au service des Ponts des Chemins de fer de l'État égyptien [...]. Mais il ne s'est pas contenté d'appliquer, d'ailleurs avec la plus grande distinction, les méthodes qui lui ont été enseignées ; il les a encore perfectionnées, ou même il en a imaginé de nouvelles, se classant ainsi en bon rang parmi les théoriciens de la technique. [...] Mais je puis encore, en ce qui me concerne personnellement, lui rendre un autre témoignage : parmi les chercheurs qui, formés à mon école, se sont efforcés d'apporter leur pierre au développement de la nomographie, Farid Boulad est, et de beaucoup, un de ceux qui se sont les plus particulièrement distingués. En outre, plus que tout autre, il a multiplié à mon endroit les marques de la plus chaude gratitude pour les enseignements qu'il m'avait dus, s'indignant même, avec une vivacité dont je n'ai pu être que profondément touché, de l'attitude de certains auteurs qui ont fait montre à mon égard d'un oubli, volontaire ou non, assez inexplicable. [...]»

Dans cet extrait, trois thèmes sont évoqués par d'Ocagne : une première partie aborde la vie étudiante et professionnelle de Boulad, une seconde souligne l'apport de Boulad à la nomographie, et enfin, une dernière partie montre l'admiration mutuelle entre d'Ocagne et Boulad. Nous allons davantage expliciter ces trois thèmes en nous appuyant sur la correspondance que Boulad a entretenue avec d'Ocagne.

8.1 Farid Boulad Bey



FIGURE 8.2 – Photo de Farid Boulad Bey. Source : Maxime Boulad, descendant de Farid

La famille Boulad est une famille chrétienne d'origine syrienne, de confession grecque-catholique. Boulad vient de « Foulaz » qui signifie acier en arabe, et qui

a permis aux Boulad de fabriquer les lames de Damas de qualité supérieure. La branche de Farid émigre en Égypte à la fin du 19^e siècle après le massacre des chrétiens de Damas en 1860². Son père, Youssef Boulad, est inspecteur général des domaines du prince Hassan Pacha Hafez.

Farid Boulad naît dix ans après d'Ocagne, au Caire, en 1872. Tout comme son père, il entre à l'École d'agriculture de Gizeh. Assez rapidement, il découvre qu'il s'intéresse surtout aux mathématiques³ et devient bachelier ès sciences et ès lettres en 1889. Il obtient une bourse pour aller poursuivre ses études de France, notamment à l'École des ponts et chaussées où il rencontre d'Ocagne en tant que professeur. Il en ressort brillamment en 1898, son diplôme d'ingénieur en poche, en ayant terminé major de sa promotion trois années de suite alors qu'il y était entré sans connaître la langue.

Il retourne ensuite en Égypte, nommé ingénieur de la compagnie nationale des chemins de fer. Il est amené, dans son travail, à élaborer de nombreux projets concernant des ponts et des constructions métalliques importants : il étudie des questions de faisabilité, de contraintes, de résistance des matériaux, ce qui nécessite d'effectuer et vérifier de nombreux calculs complexes. Pour cela, il commence à travailler avec d'Ocagne sur les méthodes de calcul graphique pour lesquelles il développe de nouvelles approches.

Pour ses contributions, il reçoit du gouvernement égyptien le titre de Bey el Sallissa en 1912 et de Bey el Sanya, ou Sanieh en 1925, respectivement les troisième et deuxième niveaux de Bey, titres issus de l'empire Ottoman. Il est décoré de l'Ordre du Nil en 1932 pour ses services rendus pendant quarante ans aux chemins de fer égyptiens.

En plus de sa vie professionnelle, il publie des articles de nomographie en français et en arabe, et participe à de nombreux congrès internationaux. Il sera, à ce titre, décoré chevalier de la Légion d'honneur en 1922 et officier de la Légion d'honneur en 1936⁴. Boulad décède en 1947.

2. Julien BOULAD (2020). *Famille Boulad*. URL : <http://www.boulad.net> (visité le 24/10/2020).

3. Greg De YOUNG (2020). *Farid Youssef Boulad Bey*. URL : <https://www.icmihistory.unito.it/portrait/boulad.php> (visité le 24/10/2020).

4. Farid BOULAD BEY (21 oct. 1935b). *Demande de promotion au grade d'officier de la Légion d'honneur*. Deux lettres.

8.2 Ses apports techniques à la nomographie

Les premiers articles de Boulad concernent des tracés géométriques de paraboles de degré 3 et 4^{5,6} et la détermination géométrique des efforts pour des poutres et des ponts^{7,8}. C'est en 1906 que paraît son premier article lié directement à la nomographie à points alignés⁹, en même temps que commence sa longue et régulière correspondance avec d'Ocagne¹⁰. En tant qu'ingénieur des ponts et chaussées, la technique mise au point par d'Ocagne le passionne vivement et sa marque d'intérêt à son égard ne fait que conforter l'idée de travailler dessus, comme en témoigne une page de la correspondance de 1906¹¹ (voir fig. 8.3).

Ses premières contributions consistent alors à améliorer des points de détail lors de la construction des échelles géométriques dont d'Ocagne parle dans son *Calcul graphique et nomographie* et au début de son *Traité de nomographie*, ainsi que de donner un mode d'emploi des échelles curvilignes au tracé des courbes par la méthode des points alignés. Elles semblent néanmoins ne pas avoir fait l'objet de notes spécifiques et être restées à l'état de « brouillon », dont il donne la démonstration dans sa lettre du 25 avril 1906.

La même année, il développe plusieurs principes simples de résolution graphique des équations linéaires. Malheureusement, il apprend de d'Ocagne que l'un de ces principes a déjà été démontré par F.-J. Van den Berg. D'Ocagne prend néanmoins en compte sa méthode.

L'année suivante, Boulad publie dans les *Nouvelles annales de mathématiques* un article sur les polygones corrélatifs des funiculaires¹² dans lequel il n'omet pas de

5. Farid BOULAD BEY (1903). « Note sur un tracé géométrique des paraboles cubiques et ses applications aux lignes d'influence dans les poutres continues. » *Annales des ponts et chaussées*, p. 100-119.

6. Farid BOULAD BEY (1905a). « Mémoire sur un tracé graphique des paraboles du 4^e degré et ses applications aux lignes d'influence des arcs surbaissés et aux courbes des efforts tranchants maxima dans les poutres continues dus aux actions réunies de la charge permanente et de la surcharge uniforme à répartition variable. » *Annales des ponts et chaussées*, p. 165-203.

7. Farid BOULAD BEY (1904). « Nouvelle détermination géométrique des efforts dans les poutres droites à travées continues. » *Le génie civil*, p. 379-380.

8. Farid BOULAD BEY (1905b). « Nouveau procédé de calcul des efforts dans les ponts par la méthode des lignes d'influence. » *Bulletin des travaux publics*.

9. Farid BOULAD BEY (1906a). « Application de la méthode des points alignés au tracé des paraboles de degré quelconque. » *Annales des ponts et chaussées*.

10. En tout cas celles retrouvées dans les archives de l'ENPC, ce qui ne veut pas dire que ce corpus est exhaustif.

11. Farid BOULAD BEY (1906c). *Correspondance Boulad 1906*. Huit lettres, 25 avril 1906.

12. Farid BOULAD BEY (1907c). « Les polygones corrélatifs des funiculaires et leurs applica-

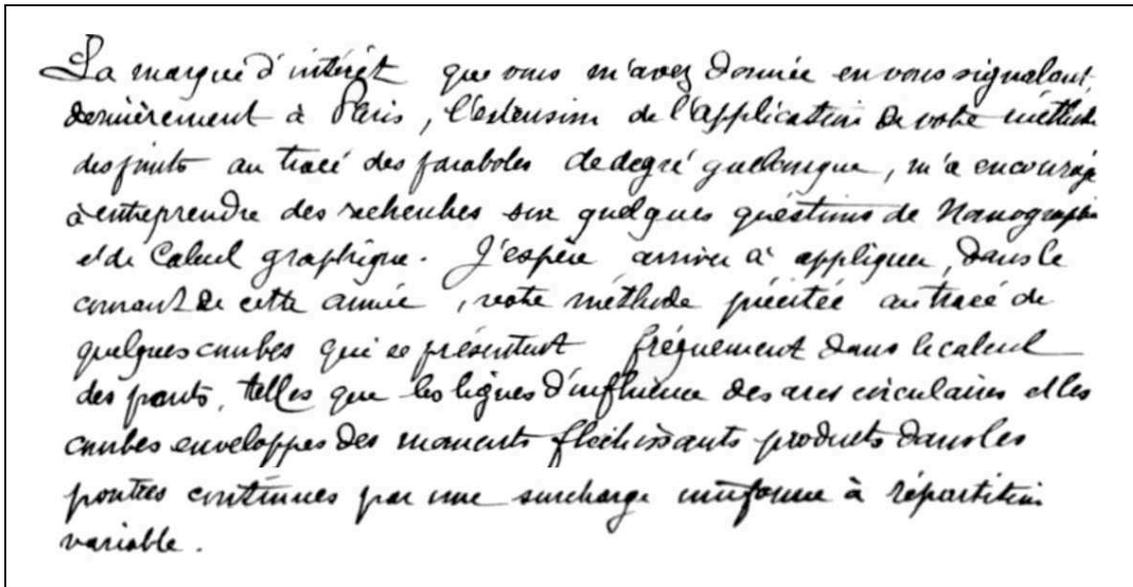


FIGURE 8.3 – Lettre de Boulad à d'Ocagne, envoyée le 25 avril 1906. Source : ENPC

citer d'Ocagne comme le fondateur de la méthode originelle. Cette note promet de simplifier la résolution de problèmes de résistance des matériaux de stabilité des constructions.

De 1909 à 1913, il développe la disjonction nomographique des équations à trois variables, aussi appelée « méthode des coefficients indéterminés », travaillée à partir de la notion de points critiques de d'Ocagne¹³. Il semble que ce soit sa plus grande avancée en terme de nomographie puisqu'il apporte à la notion de points critiques la démonstration que d'Ocagne n'avait pas pu établir.

À partir de 1915, il laisse de côté l'aspect mathématique de la nomographie pour se tourner davantage vers ses applications à des sujets de résistance des matériaux, en lien avec son travail aux chemins de fer. En effet, il est en charge de mettre en œuvre et de vérifier de nombreux calculs, voire d'examiner ou de créer des projets de construction de ponts en Égypte : des ponts fixes et tournants sur le Nil, des ponts sur des canaux, des ponts à tabliers¹⁴... Il s'intéresse également aux centres de courbure des trajectoires orthogonales d'une famille de courbes, d'après une suggestion de d'Ocagne¹⁵. Ce dernier l'appuie d'ailleurs auprès de

tions. » *Nouvelles annales de mathématiques*, p. 311-326.

13. Les points critiques sont les points communs à deux échelles.

14. Maxime BOULAD (2020). « Chemins de fer, service des ponts et travaux, ponts et routes : travaux de Farid Boulad ».

15. Farid BOULAD BEY (1915b). *Correspondance Boulad 1915*. Neuf lettres, 30 janvier 1915.

Gaston Darboux afin qu'il puisse publier une première note dans le *Bulletin des sciences mathématiques*¹⁶.

Dans un lettre de 1917, il apparaît que Boulad continue à faire connaître les travaux de d'Ocagne auprès des ingénieurs de France et de Belgique principalement, les ingénieurs égyptiens issus des écoles d'Angleterre ne parlant pas le français¹⁷. Finalement, en 1921, d'Ocagne lui confirme que la nouvelle édition de son *Traité de nomographie* va être augmentée en appendice de divers développements théoriques que Boulad a publiés de 1911 et 1913, y compris sa note sur les valeurs critiques¹⁸. Le reste de sa vie, Boulad continue à diffuser de la nomographie à partir d'articles ou de livres de d'Ocagne.

8.3 Un fervent défenseur de la nomographie en général, et de Maurice d'Ocagne en particulier

Outre ses apports directs à la technique de la nomographie, Boulad en est également un fervent défenseur. Il contribue très largement à la diffusion de cette doctrine dans le monde arabe et dans les pays anglo-saxons par des publications diverses de son cru ou par des traductions d'articles de d'Ocagne principalement. Dès ses premiers articles, en 1906, il commande pour son compte 300 exemplaires du tiré à part « Application des points alignés au tracé des paraboles de degré quelconque »¹⁹ et en fait parvenir 100 à d'Ocagne afin qu'il puisse les distribuer. À partir de 1907, il diffuse des comptes rendus des articles que d'Ocagne lui transmet en les traduisant afin de les publier dans les principaux bulletins et journaux arabes quotidiens du pays²⁰. L'année d'après, il dispense des conférences à l'Institut égyptien sur les méthodes graphiques découvertes depuis peu, à partir du livre *Le calcul simplifié par les procédés mécaniques et graphiques* et de l'article « La méthode graphique en mathématiques appliquées²¹ », tous deux écrits par d'Ocagne, ainsi que du *Traité de statique graphique* de Culmann. Il diffuse également la doctrine dans le journal arabe *Al-Moktataf*, la plus importante

16. Farid BOULAD BEY (1916b). « Sur la détermination du centre de courbure des trajectoires orthogonales d'une famille quelconque de courbes planes. » *Bulletin des sciences mathématiques*, p. 292-295.

17. Farid BOULAD BEY (1917b). *Correspondance Boulad 1917*. Six lettres, 23 août 1917.

18. Farid BOULAD BEY (1921b). *Correspondance Boulad 1921*. Huit lettres, 1^{er} mars 1921.

19. BOULAD BEY 1906a.

20. Farid BOULAD BEY (1907b). *Correspondance Boulad 1907*. Onze lettres, 12 novembre 1907.

21. Maurice d'OCAGNE (1906b). « La méthode graphique en mathématiques appliquées. » *La Revue du mois*. 1.

des revues scientifiques arabes, selon Boulad. Cela commence par une note dont la traduction, effectuée par Boulad dans un lettre du 20 janvier 1908²², est la suivante :

« Dans la réunion générale de la Société égyptienne des ingénieurs civils qui a eu lieu avant hier au Club des Écoles supérieures, M. Farid Boulad le distingué mathématicien a lu un long article que le savant mathématicien S.E. Ahmed Bey Kamal ancien sous directeur de l'École Polytechnique Khédiviale et professeur des cours de calcul différentiel et intégral et de résistance des matériaux. S.E. recommande et signale à tous les techniciens et notamment aux ingénieurs la publication récente d'un admirable ouvrage intitulé *Calcul graphique et nomographie* de M. Maurice d'Ocagne, le célèbre professeur à l'École des Ponts et Chaussées et à la Sorbonne à Paris. Cet ouvrage contient des méthodes auxiliaires qui permettent aux techniciens d'effectuer leurs calculs numériques par des procédés très simples graphiques et nomographiques qui permettent aux ingénieurs de réaliser incontestablement une grande économie de temps. Nous allons publier cet article dans la Revue des sciences Al-Moktataf. Nous avons eu l'ouvrage en question et il nous a été agréable de voir qu'il contient des procédés ingénieux imaginés par M. Farid Boulad. C'est un honneur que l'on ne fait qu'à des grands mathématiciens. »

À la suite de cette note, Ahmed Bey Kamal et l'un des deux directeurs de la revue, le docteur Sarruf, publient chacun une note et proposent à Boulad de rédiger un ouvrage plus complet d'une cinquantaine de pages intitulé *La nomographie de M. d'Ocagne*. Boulad précise alors qu'il va s'occuper de la diffusion de la nomographie dans tous les pays de l'Orient qui s'expriment en langue arabe. Il publie notamment l'article « Al-nomographia » dont il fait un tirage en 300 exemplaires pour les distribuer aux ingénieurs les plus distingués.

Il semblerait que toute cette débauche d'énergie porte ses fruits, puisque Boulad constate que quelques ingénieurs ont acheté le cours de *Calcul graphique et nomographie* de d'Ocagne et qu'ils s'y intéressent de plus en plus²³. Il continue sa propagande en 1909, à l'Institut égyptien et à l'université d'Égypte où il donne plusieurs conférences²⁴.

22. Farid BOULAD BEY (1908c). *Correspondance Boulad 1908*. Vingt-quatre lettres, 20 janvier 1908.

23. Ibid.

24. Farid BOULAD BEY (1909b). *Correspondance Boulad 1909*. Douze lettres, 1^{er} janvier 1909.

En 1913, après avoir conquis une partie des ingénieurs égyptiens, Boulad se résout à approfondir les mathématiques dans le but de s'établir dans les pays francophones comme la France, la Belgique et la Suisse²⁵. À partir des années 1920, il semblerait qu'il se soit fait un nom dans le domaine de la nomographie, et qu'il s'en fasse le relais international à partir de l'Égypte. Ignaz Goldziher lui fournit une liste de savants allemands qui s'occupent de nomographie et de calcul graphique, il s'agit de Runge, Willers, Weighardt, Luckey, Mehmke, Lauden et Rottre²⁶.

Boulad s'intéresse également aux livres de nomographie publiés à l'étranger et en fait part à d'Ocagne : il a en effet un avantage sur son maître car il semble très bien parler anglais, l'Égypte ayant été conquise par l'Empire Britannique en 1882 et rendue indépendante en 1922. Parmi ces livres, il fait venir d'Amérique le livre de John Bailey Peddle : *The construction of graphical charts*^{27, 28}, puis le *Design of diagrams for engineering formulas and the theory of nomography* de Laurence I. Hewes et Herbert L. Seward^{29, 30}. En 1925, il donne des leçons de nomographie en arabe³¹. En 1926, il est en relation avec des collègues russes, belges, allemands, anglais pour parler des abaques et de la doctrine de la nomographie. Il demande à traduire la troisième édition du *Calcul simplifié par les procédés mécaniques et graphiques* en arabe³².

Mis à la retraite en 1932, il consacre le reste de sa vie aux méthodes de calcul nomographiques³³ et en 1936, il prépare une notice³⁴ sur l'évolution de la doctrine de la nomographie pour l'Institut égyptien³⁴.

La singularité de la correspondance Boulad-d'Ocagne ne tient pas seulement au nombre d'échanges qu'ils ont eus pendant la première moitié du 20^e siècle. En effet, la lecture des lettres montre un très grand respect biunivoque entre les deux hommes. Même si les lettres qu'a envoyées d'Ocagne ne sont pas présentes dans la correspondance, les réponses de Boulad commencent toujours par une

25. Farid BOULAD BEY (1913b). *Correspondance Boulad 1913*. Treize lettres.

26. Farid BOULAD BEY (1920b). *Correspondance Boulad 1920*. Trois lettres, 10 avril 1920.

27. John Bailey PEDDLE (1910). *The construction of graphical charts*. New York, McGraw-Hill.

28. BOULAD BEY 1921b, 1^{er} mars 1921.

29. Herbert L. SEWARD et Laurence I. HEWES (1923). *Design of diagrams for engineering formulas and the theory of nomography*. New York, McGraw-Hill.

30. Farid BOULAD BEY (1926b). *Correspondance Boulad 1926*. Trois lettres, 17 novembre 1926.

31. Farid BOULAD BEY (1923b). *Correspondance Boulad 1923*. Sept lettres.

32. BOULAD BEY 1926b, 31 décembre 1926.

33. Farid BOULAD BEY (1932b). *Correspondance Boulad 1932*. Six lettres.

34. Farid BOULAD BEY (1936b). *Correspondance Boulad 1936*. Deux lettres, 8 novembre 1936.

demi page au moins de remerciements et de rappels de ce qu'il a pu lire dans la précédente lettre, ce qui permet au lecteur de suivre approximativement la conversation, si nous mettons de côté une écriture parfois très difficile à lire !

Dans les premiers temps, Boulad commence ses lettres en alternant « Cher professeur » et « Cher maître ». Mais très vite, « Très cher maître » devient la norme avec des envolées telles que « Mon très cher et honoré maître » (voir fig. 8.4).

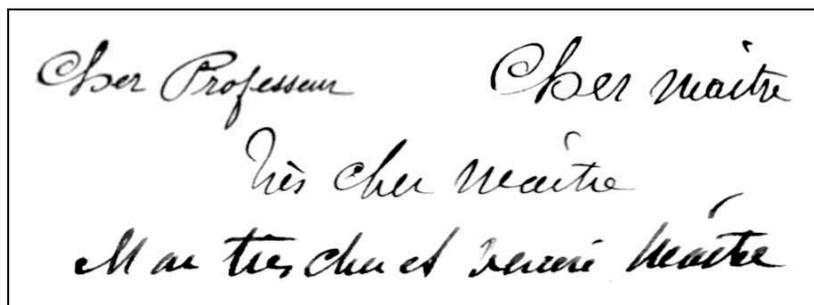


FIGURE 8.4 – Différentes formules de politesse de Boulad dans ses lettres adressées d’Ocagne

Boulad s’adresse à « son maître » avec beaucoup de respect et d’humilité. Certaines de ses lettres sont assez bouleversantes, comme en témoigne le morceau choisi de la figure 8.5, en date du 12 janvier 1910³⁵, à propos de ses apports sur la disjonction des variables.

Dans ses lettres adressées à d’Ocagne, Boulad parle de lui en tant que « votre élève ». D’ailleurs, d’Ocagne le lui rend bien et n’hésite pas à l’aider à publier ses articles, à lui obtenir des rendez-vous, ou encore à lui faire décrocher des décorations comme la croix de la Légion d’honneur française en 1922³⁶.

À la lecture des lettres, nous remarquons également une très grande complicité entre les deux hommes. Boulad exprime avec beaucoup de détails les péripéties de sa famille : ses maladies, les problèmes avec son frère l’avocat, son divorce, les soulèvements en Égypte, la mort de sa mère, la construction de son arbre généalogique... comme s’il se confiait à un proche. Mais son admiration va plus loin encore : il envoie à d’Ocagne et sa famille de nombreux présents, une tradition orientale de l’époque, comme ceux donnés en 1912 par exemple³⁷ (voir fig. 8.6); il agrandit son portrait, lui offre un chapeau sur mesure...

Enfin, son enthousiasme envers d’Ocagne est allé bien plus loin que des aides ou des confessions : il se pose en acteur principal, avec souvent une grande ar-

35. Farid BOULAD BEY (1910c). *Correspondance Boulad 1910*. Vingt-six lettres, 12 janvier 1910.

36. BOULAD BEY 1922b, 8 juin 1922.

37. Farid BOULAD BEY (1912b). *Correspondance Boulad 1912*. Douze lettres, 6 août 1912.

Mon très Cher Maître
 J'ai reçu votre estimée lettre du 9 et vous
 en remercie de tout cœur très sincèrement.
 Il est impossible de vous dire combien je suis
 profondément sensible aux bontés et aux aménités
 que vous me témoignez continuellement. Après que
 je commençai à lire votre lettre, j'eus senti
 un cœur qui se serrait en faisant jaillir
 jaillir de mes yeux des larmes brillantes
 tellement que je ne pouvais plus voir que continuellement
 à lire. Sur ma table et sur mes yeux, se
 trouvait une épine que je fus forcée d'enlever
 et refaire jusqu'à ce qu'elle eût été entièrement
 impossible d'arrêter mes larmes. En criant

FIGURE 8.5 – Lettre de Boulad à d'Ocagne, envoyée le 12 janvier 1910. Source : ENPC

deur, dans les conflits de paternité que d'Ocagne a eus avec Massau, Soreau et surtout Clark.

Pour rappel, John Clark (1864–1911) est un chercheur écossais ayant obtenu un poste en tant que professeur de mathématiques à l'École polytechnique des ingénieurs du Caire les onze dernières années de sa vie. Clark rencontre d'Ocagne pour la première fois en 1904 et lui confie qu'il fait des recherches sur la nomographie. En 1905, il confie à d'Ocagne les actes du congrès auquel il a participé à Cherbourg afin de les faire publier, ce qui ne sera jamais fait : tout au plus, d'Ocagne citera en trois lignes l'étude faite par Clark. En 1906, d'Ocagne lui demande de revoir le début de son mémoire où il fait un historique de la nomographie afin qu'il mette davantage en valeur les apports de d'Ocagne. Son mémoire

des points critiques. Puis, il a été cherché [sic] une copie de cette lettre et il a commencé à la lire. Je ne pouvais pas la discuter avec lui parce que je voyais qu'il voulait que je sois absolument de son avis et il s'emportait lorsque je soutenais la considération de vos points critiques. Je lui ai dit que je ne veux pas me mêler de ses correspondances avec vous, ainsi que je ne puis pas admettre que M. Fleury vienne me dire des choses injustes à votre sujet [...] Alors il m'a dit que je n'en savais rien au sujet de sa publication sur la nomographie et qu'il fallait que je lise d'abord Soreau puis lui et après vos publications. En l'entendant dire cela j'ai éclaté de rire et je lui ai dit carrément que lui était l'élève de M. Soreau et que ce dernier était votre élève et que ces deux ont appris la nomographie d'après votre grand traité. »

Plus tard, en février 1909⁴¹, il explique ce qu'il se serait passé à l'École polytechnique du Caire lors d'un cours de Clark auprès de ses élèves :

« " Je vais vous apprendre la théorie des abaques que j'ai inventée moi-même. Un professeur a trouvé un point et moi j'ai créé tout ", alors l'élève lui a dit : quel est ce professeur? N'est-ce pas c'est M. d'Ocagne qui a créé la Nomographie et qui a fait tout et vous vous n'avez rien fait à part quelques applications et développement de sa méthode des points alignés [...] Quelques élèves se sont moqués de M. Clark et les autres qui sont ignorants et nuls se sont imaginés que c'est Clark qui a inventé les abaques parce que son nom est cité partout dans votre livre. »

et il termine par « Je crois que M. Clark est un peu toqué et il est très excentrique d'aller dire de pareilles choses ». Il finit par rompre ses relations avec Clark à la fin de l'année 1909. Plus tard, à partir de 1917⁴², il apprend de la part d'Émile Fleury que ce serait lui qui aurait aidé Clark à écrire ses notes et son mémoire.

Une autre marque de confiance intervient en 1923 : à la fin de l'année 1922, Boulad reçoit le prix Montyon en mécanique⁴³ (voir fig. 8.7). À ce titre, il perçoit un chèque d'un montant de 700 Francs qu'il souhaite offrir à d'Ocagne. Dans sa lettre du 23 mai 1923⁴⁴, il lui propose d'utiliser cette somme pour écrire un mémoire à publier dans un bulletin français relatant l'histoire, la diffusion, l'emploi, la publication et l'enseignement de la nomographie. Cette note devrait faire

41. BOULAD BEY 1909b, 11 février 1909.

42. BOULAD BEY 1917b, 1^{er} février 1917.

43. BOULAD BEY 1922b, 15 novembre 1922.

44. BOULAD BEY 1923b, 23 mai 1923.



FIGURE 8.7 – Article du journal *La liberté* du 24 octobre 1922. Source : ENPC

ressortir le fait que c'est bien d'Ocagne qui est à l'origine de la création, du développement et de la propagande de cette nouvelle doctrine, et que les autres auteurs se prétendant être à l'origine n'ont fait que de s'inspirer de ses travaux. D'Ocagne refuse ce don direct, mais veut bien qu'il soit donné à l'association des anciens élèves de l'École des ponts et chaussées, en reconnaissance de l'enseignement que Boulad y a reçu⁴⁵. Il conclut par un paragraphe dans lequel il remercie d'Ocagne et qu'il pourra ainsi « montrer au monde » que la nomographie est bien son œuvre (voir fig. 8.8).

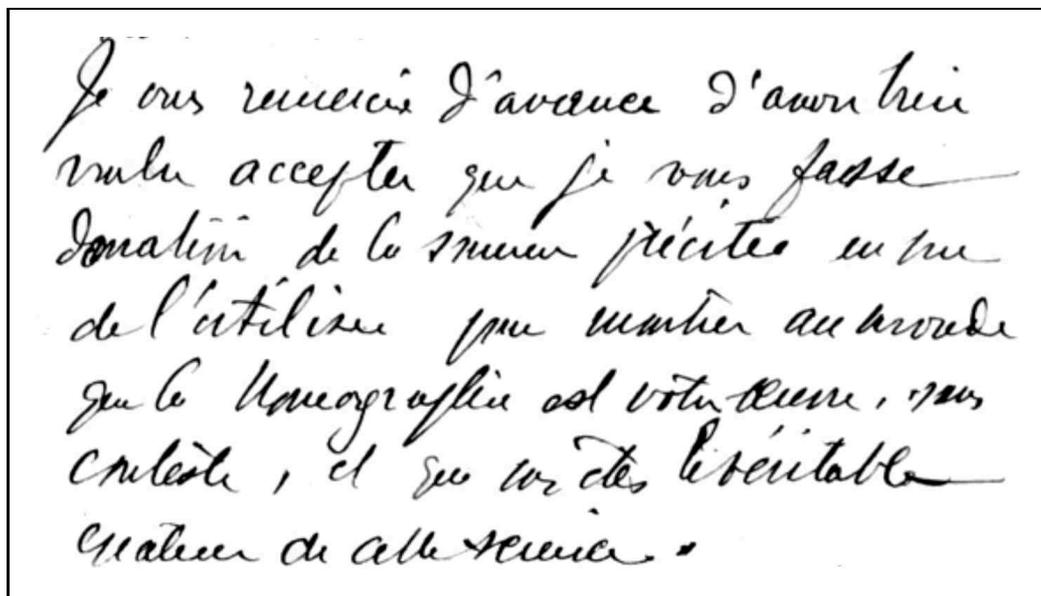


FIGURE 8.8 – Lettre de Boulad à d'Ocagne du 23 mai 1923. Source : ENPC

45. BOULAD BEY 1923b, 27 décembre 1923.

8.4 Conclusion

Cette étude de cas nous montre bien à quel point Boulad était voué à d'Ocagne et à sa doctrine. C'était un homme intelligent. Venu étudier en France à l'École des ponts et chaussées alors qu'il ne parlait pas la langue, il en est sorti brillamment major de sa promotion. C'est à cette occasion qu'il a rencontré d'Ocagne pour la première fois, alors qu'il était son professeur.

De retour dans son pays, l'Égypte, il s'est très vite emparé de la nomographie afin de l'utiliser dans son travail d'ingénieur de la compagnie nationale des chemins de fer. Pour cela, il a correspondu pendant près de trente ans avec d'Ocagne, devenant à ce titre un ami proche, si l'on considère ses échanges parfois assez intimes avec lui.

Il est très probable qu'il ait pu continuer sa route seul et diffuser la nomographie sans l'aide de d'Ocagne. Pourtant, il semble toujours être resté honnête et dévoué à d'Ocagne, le mettant en avant lors de ses cours, ses conférences ou ses articles, l'aidant à trouver des preuves mathématiques, ou encore à prendre son parti exclusif lors de conflits. Boulad s'est beaucoup intéressé à la nomographie et a largement contribué à sa circulation dans les journaux égyptien. Outre les livres et articles de d'Ocagne, il s'est inspiré d'œuvres étrangères, en particulier celles venant des pays anglo-saxons.

À la lumière de la correspondance, il serait tout à fait possible de développer davantage la vie de Boulad, mais ce n'est pas l'objet de cette thèse, et l'objectif ici était davantage de montrer l'exemple d'un auteur ayant collaboré toute sa vie avec d'Ocagne, sans rivalité et avec beaucoup de respect mutuel.

Conclusion générale

Nous voilà arrivés au bout de cette étude, dont l'objectif était double : apporter un nouveau regard sur la nomographie d'une part, et sur Maurice d'Ocagne d'autre part, en considérant principalement ses archives déposées à l'ENPC.

Concernant la nomographie, nous avons pu observer une évolution importante du concept de calcul graphique, grâce à un emploi de plus en plus fréquent de tables graphiques qui permettent, par quelques manipulations assez simples, de lire le résultat d'un calcul directement, en utilisant éventuellement une règle mobile ou non, un transparent, ou encore un simple fil. Initiés notamment par Pouchet, les abaques ont été une invention ingénieuse, permettant de transformer des tables numériques en tables graphiques, plus faciles à lire, et surtout plus compactes et moins coûteuses puisque, pour une même formule, une seule feuille de papier peut remplacer un recueil entier de tables. Ces abaques sont au départ constitués de réseaux de courbes, puis, il se sont considérablement simplifiés, à la faveur tout d'abord d'échelles permettant la transformation des réseaux de courbes en réseaux de droites grâce à l'anamorphose de Lalanne et Massau. Dans un second temps, la transformation dualistique proposée par d'Ocagne a permis de remplacer les droites par des points et les intersections par des alignements, créant ainsi la notion de nomogramme à points alignés. Cette dernière évolution constitue sans nul doute la plus aboutie. À partir de là, de nombreux domaines se sont emparés de cette science, appréciant le gain de temps et l'efficacité accrue apportés par le principe même de pouvoir effectuer des calculs par simple lecture sur un graphique.

L'étude de l'utilisation des abaques a révélé une circulation active de ce nouveau mode de calcul dans de nombreux domaines. Nous avons pu ainsi répertorier des thèmes apparaissant de manière récurrente dans les archives, liés aux contraintes et aux besoins d'une époque en pleine mutation industrielle. S'il fallait associer chacun des domaines étudiés à un aspect en particulier ayant favorisé

l'utilisation des abaques, nous pourrions faire les choix suivants : les problèmes de terrassement ont recours aux abaques pour l'aide qu'ils apportent dans les calculs des nombreux profils en long et en travers concernant les déblais et remblais ; la navigation exploite les nomogrammes principalement dans le but d'effectuer les calculs sur le triangle sphérique pour des problèmes de géolocalisation ; la balistique profite de la rapidité d'exécution des calculs qui mènent aux préparations aux tirs de canons ; enfin, les questions du transport des énergies, de la résistance des matériaux, de l'économie et de la médecine se résolvent grâce à des abaques modélisant des formules ou des constantes usuelles, quelles soient déterminées de manière mathématique ou empirique.

Cette étude est à lier avec celle de la circulation dans les journaux. En effet, ces domaines n'auraient pas pu exister sans transfert de connaissances. Que ce soit par des journaux spécialisés, scientifiques, techniques ou généralistes, nous avons pu observer une circulation relativement active en France et à l'étranger, due à la fois à des individualités et à des acteurs récurrents. Les publiants sont en effet de deux types : il y a ceux qui ont besoin d'effectuer des calculs dans leur domaine de prédilection, et qui découvrent à ce titre la nomographie, ou qui en avaient une connaissance antérieure et qui profitent de leur utilisation facile. Ils sont nombreux, et ils ont recours soit à des abaques prêts à l'emploi, soit ils tentent d'en construire eux-mêmes, ou encore ils demandent à d'Ocagne de leur en fournir. D'un autre côté, il y a des auteurs qui ont une bonne connaissance de la nomographie, qui emploient régulièrement des nomogrammes dans leur domaine et qui en profitent pour élargir leur champ de compétences en fonction des nécessités. C'est ainsi que, parmi les plus prolifiques, Fischer en Allemagne s'intéresse aux méthodes de construction des nomogrammes pour ensuite publier des articles sur la pression dans les tuyaux et l'écoulement dans les canaux, puis des articles de résistance de matériaux et enfin des publications sur le terrassement. En Italie, Pesci s'intéresse principalement à la navigation, et il utilise les nomogrammes dans de nombreux branches : le repérage, la distance en mer, le jaugeage des tonneaux, mais aussi la hauteur des avions et la balistique. En France et en Algérie, Potin est un touche-à-tout, avec de multiples publications sur le terrassement, les chemins de fer, la hauteur d'un avion, les lignes aériennes ou encore la constante d'Ambard...

Concernant maintenant Maurice d'Ocagne, nous avons pu apporter des éléments nouveaux à sa biographie. Nous avons vu son appétence, très tôt, pour les

mathématiques et les publications alors qu'il était encore au lycée. Sorti dans les meilleurs de sa promotion à Polytechnique, il rentrera de fait à l'École des ponts et chaussées pour une carrière d'ingénieur. Mais son esprit semble ailleurs, et dès ses premières missions d'ingénieur stagiaire, on lui reproche de ne pas d'investir suffisamment dans son métier en raison d'un fort attrait pour les questions mathématiques. Pourtant, il aura des moments de gloire dans cette carrière, notamment lorsque, dirigeant le bureau de nomographie, il sera félicité pour ses nombreuses contributions. Très tôt dans sa carrière d'ingénieur, il se destine au professorat, et, plus précisément, il ambitionne de devenir professeur de géométrie à Polytechnique. Pour cela, il n'hésite pas à accepter des postes de répétiteur dans d'autres domaines : d'abord en analyse, puis en astronomie et en géodésie. Il obtient, à partir de 1894 un poste de professeur à l'ENPC en géométrie descriptive, stéréotomie et cours de routes. Il donne également de temps en temps des cours libres de nomographie, de quoi lier ses deux passions utilement. Il accède finalement à son graal en 1912 en devenant professeur de géométrie à l'École polytechnique. Enfin, concernant sa carrière scientifique, ses nombreuses publications témoignent d'une grande maturité d'esprit, il semble s'adonner sans compter à la doctrine qu'il a construite, réussissant de ce fait à entrer à l'Académie des sciences, dans la division des membres libres. Nul doute qu'il aurait préféré l'être dans la section de mathématiques afin d'être reconnu comme mathématicien, mais cette élection aura tout de même été une consécration pour son travail. De manière plus personnelle, d'Ocagne est aussi attiré par les lettres et les salons mondains. En homme très organisé, il consigne de nombreux faits de vie dans des carnets, qu'ils soient personnels ou professionnels. Il archive scrupuleusement les articles et courriers qui lui parviennent. Nous avons également pu observer qu'il faisait preuve d'intransigeance envers les auteurs qui ne le citaient pas suffisamment dans leurs articles, n'hésitant pas à demander des notes de rappel ou des modifications. Mais c'est aussi un homme au grand cœur, qui n'hésite pas à aider les personnes faisant appel à lui, que ce soit pour la création ou l'envoi de nomogrammes, ou pour un soutien en vue d'une publication ou de l'obtention d'une distinction. Il semblait vouer une véritable passion à sa doctrine.

Finalement, l'étude des archives suivant les deux axes de manière indépendante permet néanmoins d'observer une certaine corrélation, l'un n'existant pas sans l'autre. Les apports de d'Ocagne à la nomographie sont nombreux. Tout d'abord, nous avons vu qu'il était à l'origine de cette doctrine en modifiant astucieusement les abaques existants, avec comme conséquence une simplification

de leur utilisation. Il a eu sans cesse la volonté de les améliorer, et surtout de les diffuser. Il aura consacré sa vie entière à sa doctrine. Inversement, la nomographie a également beaucoup apporté à d'Ocagne, dans une carrière de scientifique où il aura tout fait pour être reconnu comme tel, voire comme mathématicien. Cette science lui aura permis de se faire un nom, preuve en est de toutes les lettres reçues à cet égard et de tous les articles le citant. À ce titre, il aura reçu de multiples distinctions, et aura fait la connaissance d'un nombre conséquent de militaires, de professeurs et de mathématiciens de renommée.

Pour conclure, le décès de Maurice d'Ocagne survient le 23 septembre 1938 au Havre, et le physicien Maurice de Broglie, membre de l'Académie Française et de l'Académie des sciences, lui offrira un dernier discours émouvant lors de ses funérailles⁴⁶ :

« Son nom restera attaché à un corps de doctrine qui lui doit une grande partie de sa substance ; c'est la nomographie, qui comprend l'ensemble des modes de représentations graphiques avec leurs applications aux problèmes pratiques, science qui s'est révélée extrêmement importante dans presque tous les domaines. [...] »

M. D'Ocagne n'était pas seulement un grand mathématicien, un grand professeur et un ingénieur remarquable, la clarté de sa pensée, la beauté de l'expression qu'il savait lui donner, les qualités d'orateur qui le faisaient écouter partout venaient compléter la grande figure qu'il laissera derrière lui. Docteur honoris causa et membre d'un grand nombre de sociétés étrangères, ancien président de la Société Mathématique de France, membre de l'Académie des sciences depuis 1922, il était aussi conférencier, écrivain, vice-président du Cercle de l'Union artistique où il ne comptait que des sympathies. »

Cette étude nous a appris beaucoup sur la nomographie et Maurice d'Ocagne. Cependant, la grande variété des archives et leur abondance ne nous a pas permis d'en faire une étude exhaustive. En effet, j'ai fait le choix de traiter ces deux grands axes car il me paraissait important de ne pas les séparer complètement, tant ils sont corrélés, et tant la compréhension de l'un va avec la compréhension de l'autre. Des choix de thèmes à l'intérieur de ces axes ont donc dû être faits

46. Maurice de BROGLIE (1938). « Funérailles de Maurice d'Ocagne, à Paris le 26 septembre 1938. Discours de Maurice de Broglie ». *Institut de France, Académie des sciences*.

afin de balayer un large spectre, tout en soulevant un nombre de questions raisonnable.

Il reste de nombreux thèmes que nous pourrions aborder, en prolongement de ce mémoire. En créant les bases de données, j'ai pu repérer un certain nombre d'articles et de lettres abordant les deux éditions du *Traité de nomographie*. Celui-ci pourrait faire l'objet de recherches supplémentaires suivant trois pistes : premièrement, il serait intéressant d'observer les effets qu'ont eues les lettres de remerciement, les courriers proposant des modifications ou demandant des précisions. Ensuite, la comparaison des deux éditions de son traité (celle de 1899 et celle de 1921) pourrait mettre en valeur les évolutions opérées en 20 ans. Enfin, nous pourrions également examiner comment Soreau a publié son propre traité de nomographie, et ce qui l'a poussé à le faire. Une étude comparative des deux livres permettrait de nous en apprendre plus sur la philosophie avec laquelle les deux hommes les ont écrit, observer leurs différences et leurs similitudes.

Une autre future piste de recherche pourrait être celle des relations, parfois conflictuelles, que d'Ocagne a eues avec ses contemporains Soreau, Massau et Clark à propos de la paternité de certains résultats. Clark a déjà fait l'objet de recherches de la part Dominique Tournès⁴⁷. Quand à Soreau, il y a matière à analyser sa relation avec d'Ocagne dans les archives de l'ENPC, même si le nombre d'échanges n'est peut-être pas significatif et souffre probablement de manques, les deux compères, voire concurrents, n'ayant pas nécessairement échangé dans un but constructif. Nous pourrions également approfondir notre étude sur Boulad, afin de voir dans les détails ce qu'il a réellement apporté à la doctrine de d'Ocagne.

Enfin, il reste à effectuer un travail important sur les autres archives : celles de l'École polytechnique, tout d'abord, permettraient de compléter avantageusement la carrière d'enseignant de d'Ocagne, et peut-être celle de sa vie étudiante dans cette école. Les cours qu'il a dispensés là-bas nous éclaireraient davantage sur sa manière d'aborder la géométrie et la place qu'il accordait à la nomographie dans ses cours.

Une recherche minutieuse reste à engager pour trouver les archives du Conservatoire des arts et métiers, liées aux machines et aux instruments. Nous avons, à plusieurs reprises, fait mention des instruments, en évoquant le fait qu'ils ne

47. Dominique TOURNÈS (2015a). « Querelles de priorité autour de la nomographie ». *Maurice d'Ocagne (1862-1938) : questions historiques et historiographiques soulevées par ses archives*. Institut Henri-Poincaré.

constituaient pas un panel suffisamment exhaustif, et qu'ils ne concernaient pas directement la nomographie.

Enfin, les archives cédées au Service géographique de l'Armée doivent contenir des éléments importants sur le bureau de nomographie. Il est possible que les documents déposés là-bas soient même plus conséquents que ceux retrouvés à l'ENPC en ce qui concerne la partie inhérente aux activités de d'Ocagne durant la Grande Guerre.

En définitive, Maurice d'Ocagne est encore loin de nous avoir dévoilé tous ses secrets.

Bibliographie de la thèse

- ADAMS, Douglas P. (1950). *An index of nomograms*. Chapman & Hall.
- AISBERGER, Eugène (1926a). « Comment déterminer sans calcul la self-inductance d'une bobine ». *La radio*. 6, p. 192-193.
- ALEMBERT, Jean le Rond d' (1789). *Encyclopédie méthodique. Mathématiques*. Pankoucke.
- ANDRÉ, Capitaine (1914). *Cours d'artillerie. Instructions pratiques, 1re partie, artillerie de campagne*. École militaire de génie.
- APPELL, Paul (1887). « Mémoire sur les déblais et remblais des systèmes continus ou discontinus ». *Mémoires présentés par divers savants à l'Académie royale des sciences de l'Institut de France*.
- (1928). « Le problème géométrique des déblais et remblais ». *Mémorial des sciences mathématiques*.
- ARCHIVES NATIONALES (s. d.). « Dossier professionnel de Maurice d'Ocagne ».
- Arrêt sur... sciences nautiques et grandes découvertes* (2020). URL : <http://expositions.bnf.fr/marine/arret/04-2.htm> (visité le 18/10/2020).
- BACH, André (2010). « Serge Doessant, le général André, de l'Affaire Dreyfus à l'affaire des fiches ». *Revue historique des armées*. 261.
- BAES, Louis (1913a). « Abaques pour le calcul des poutres fléchies ». *Cours de stabilité des constructions*.
- (1926a). « Nomogrammes pour le calcul de la section transversale de poutres en béton armé sollicitées par flexion plane simple ». *Technique des travaux*, p. 47-53.
- BARTHÉLEMY, Dominique (1990). « Les noms de famille sont nés au Moyen Âge ». *L'histoire*. 130.
- BAZIN, Henry (1897). « Étude d'une nouvelle formule pour calculer le débit des canaux découverts ». *Annales des ponts et chaussées*, p. 20-70.
- BEGHIN, Maurice (1892a). « Abaque de la vitesse d'un train sur un profil donné ». *Annales des ponts et chaussées*. 4, p. 548-550.

- BEGHIN, Maurice (1892b). « Abaque de la vitesse d'un train sur un profil donné ». *Annales des ponts et chaussées*. 4, p. 548-550.
- BERNARD, Mathias (2007). *La guerre des droites de l'affaire Dreyfus à nos jours*. Odile Jacob.
- BLONDEL, André (1902a). « Calcul rapide des conducteurs aériens au moyen d'un abaque unique ». *Comptes rendus des travaux du congrès*.
- (1910). « Calcul rapide des conducteurs aériens au moyen d'un abaque unique ». *La lumière électrique*. 12, p. 419-427.
- (1912a). « Calcul à vue des lignes aériennes par l'emploi de nomogrammes à points alignés ». *La lumière électrique*. 8.
- BOISSEAU, P. (1925). « Nomogrammes donnant le taux d'intérêt réel des Bons et Obligations ». *La technique moderne*. 17, p. 409-410.
- BOULAD, Julien (2020). *Famille Boulad*. URL : <http://www.boulad.net> (visité le 24/10/2020).
- BOULAD, Maxime (2020). « Chemins de fer, service des ponts et travaux, ponts et routes : travaux de Farid Boulad ».
- BOULAD BEY, Farid (1903). « Note sur un tracé géométrique des paraboles cubiques et ses applications aux lignes d'influence dans les poutres continues. » *Annales des ponts et chaussées*.
- (1904). « Nouvelle détermination géométrique des efforts dans les poutres droites à travées continues. » *Le génie civil*.
- (1905a). « Mémoire sur un tracé graphique des paraboles du 4^e degré et ses applications aux lignes d'influence des arcs surbaissés et aux courbes des efforts tranchants maxima dans les poutres continues dus aux actions réunies de la charge permanente et de la surcharge uniforme à répartition variable. » *Annales des ponts et chaussées*.
- (1905b). « Nouveau procédé de calcul des efforts dans les ponts par la méthode des lignes d'influence. » *Bulletin des travaux publics*.
- (1906a). « Application de la méthode des points alignés au tracé des paraboles de degré quelconque. » *Annales des ponts et chaussées*.
- (1907c). « Les polygones corrélatifs des funiculaires et leurs applications. » *Nouvelles annales de mathématiques*, p. 311-326.
- (1911b). « Application de la notion des valeurs critiques à la disjonction des variables dans les équations d'ordre nomographique supérieur. » *Bulletin de la Société mathématique de France*, p. 105-129.

- (1912d). « Sur les équations à quatre variables d'ordre nomographique supérieur. » *Bulletin de la Société mathématique de France*, p. 383-392.
- (1916b). « Sur la détermination du centre de courbure des trajectoires orthogonales d'une famille quelconque de courbes planes. » *Bulletin des sciences mathématiques*, p. 292-295.
- BOURGET, Justin (1878). *Journal de mathématiques élémentaires à l'usage des candidats aux écoles du gouvernement et des aspirants au baccalauréat ès sciences*. 2. Delagrave.
- BOURGET, Justin et Joseph KÆHLER (1879). *Journal de mathématiques élémentaires à l'usage des candidats aux écoles du gouvernement et des aspirants au baccalauréat ès sciences*. 3. Delagrave.
- (1880). *Journal de mathématiques élémentaires à l'usage des candidats aux écoles du gouvernement et des aspirants au baccalauréat ès sciences*. 4. Delagrave.
- BOUVIER, Adolphe (1900a). « Comparaison entre les éclairages usuels à éclairage égal par la méthode graphique ». *Compte rendu du congrès international de l'industrie du gaz*, p. 814-825.
- BRIKAS, E. (1935b). « Sur quelques applications de la nomographie aux calculs de la biochimie ». *Comptes rendus de l'Académie d'Athènes*.
- BROGLIE, Maurice de (1938). « Funérailles de Maurice d'Ocagne, à Paris le 26 septembre 1938. Discours de Maurice de Broglie ». *Institut de France, Académie des sciences*.
- Bulletin de la Société mathématique de France* (1893). 31.
- Carnet de l'ingénieur : recueil de tables, de formules et de renseignements usuels et pratiques sur les sciences appliquées à l'industrie* (1865). Lacroix.
- CHALLÉAT, Jules (1935). *L'Artillerie de terre en France pendant un siècle. Histoire technique (1816-1919), tome 2*. Charles-Lavauzelles.
- CHANCEL, A. (1894a). *Étude et graphique de la formule de jauge*.
- CHASLES, Michel (1870). *Rapport sur les progrès de la géométrie*. Imprimerie nationale de France.
- CHATZIS, Konstantinos (2015). « Un ingénieur-savant tardif : le cas de Philbert Maurice d'Ocagne (1862-1938) ». *Séminaire d'histoire des mathématiques de l'IHP : Maurice d'Ocagne, questions historiques et historiographiques soulevées par ses archives*.
- CHENEVIER, Paul-Nicolas (1884a). *Memento graphique du constructeur*.
- CHÉRY, J. (1877a). *Pratique de la résistance des matériaux dans les constructions*.

- CHIRON, Étienne (1926). « Présentation ». *La Radio : publication mensuelle des amateurs de TSF*. 1.
- CIRMATH, *circulation des mathématiques dans et par les journaux : histoire, territoires et publics* (2020). URL : <http://CIRMATH.hypotheses.org/> (visité le 13/08/2020).
- « Cirmath, circulation des mathématiques dans et par les journaux : histoire, territoires et publics » (2019). Compte rendu de fin de projet.
- CLARK, John (1907c). « Théorie générale des abaques d'alignement de tout ordre. » *Revue de mécanique*.
- COEURÉ, Sophie (2013). *La mémoire spoliée : les archives des Français, butin de guerre nazi puis soviétique, de 1940 à nos jours*. Nouvelle édition revue et actualisée. Payot et Rivages.
- Compagnie des quatre canaux* (2020). URL : https://fr.wikipedia.org/wiki/Compagnie_des_quatre_canaux (visité le 23/11/2020).
- CONSTAN, Paul (1906). *Tables graphiques d'azimut*. Guyon & Gauthier-Villars.
- COUSINERY, Edouard (1839). *Calcul par le trait, ses éléments et ses applications*. Carilian-Gœury et V^r Dalmont.
- COUTANT, Ernest-Charles (1889). *Le collège Chaptal. Son origine, caractère de son enseignement, son organisation générale, ses résultats*. Hennuyer A.
- CULMANN, Karl (1864). *Die graphische Statik*. Meyer und Zeller.
- DARIÈS, Georges (1897a). « Application de la nomographie au calcul des conduites d'eau ». *Nouvelles annales de la construction*. 4, p. 113-118.
- DARNIS, Pierre Bos (1843). *Histoire des chemins de fer*. 2^e éd. Paris, Administration et rédaction du journal des connaissances utiles.
- DAVAINE, Emmanuel-Napoléon (1849). « Note explicative sur la construction et l'emploi d'un tableau graphique servant à calculer les surfaces de déblai et de remblai et les largeurs des profils ». *Annales des ponts et chaussées*. 17, p. 356-362.
- DE GUICHE (1917a). « Le problème de l'avion militaire ».
- DEBAUVE, Alphonse (1875). *Manuel de l'ingénieur des ponts et chaussées*. 16e fascicule - Traité des eaux, distribution des eaux. Dunod.
- DELIX, Pierre (1888). *La candidate*. Ollendorf, Paris.
- DESCARTES, René (1637). *Discours de la méthode pour bien conduire sa raison & chercher la vérité dans les sciences plus la Dioptrique, les Météores et la Géométrie qui sont des essais de cette méthode*. Imprimerie de Ian Maire, p. 309-310.

- DESPIERRES, Gerasime Bonnaire (1886). *Histoire du point d'Alençon*. Librairie Renouard, H. Laurens, Alençon.
- DOERFLER, Ron et al. (2012). *Calculating Curves. The Mathematicc, History, and Aesthetic Appeal of T.H. Gronwall's Nomographic Work*. Docent Press.
- DUPIN, Charles (1822). *Applications de géométrie et de mécanique, à la marine, aux ponts et chaussées, etc.* Paris, Bachelier, successeur de M^{me} V^e Courcier.
- EVESHAM, Harold Ainsley (1992). *The History and Development of Nomography*. Docent Press.
- FAVÉ, Louis (1894a). « Éphémérides graphiques donnant les coordonnées des astres pour les usages de la navigation ». *Annales hydrographiques*.
- FAVÉ, Luis et Charles ROLLET DE L'ISLE (1892). « Abaque pour la détermination du point à la mer ». *Annales hydrographiques*.
- FISCHER, Alexander (1927a). « Über ein neues allgemeines Verfahren zum Entwerfen von graphischen Rechentafeln, insbesondere von Fluchtlinientafeln (I) ». *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik*. 7.
- (1930f). « Graphische Rechentafeln für die Langsche Formel zur Berechnung des Druckhöhenverlustes in Rohrleitungen ». *Die Wasserwirtschaft*. 7-22-31-34, p. 119-110, 468-469, 661-662, 708-709.
- FRANCE, Bibliothèque nationale de (2020). *Astrolabe arabe construit par Ahmed-Ben-Khalaf pour Djafar, fils de Moktafi Billah, né en 294 de l'Hégire, mort en 377 (905-987 de notre ère)*. URL : <https://catalogue.bnf.fr/ark:/12148/cb406735649> (visité le 18/10/2020).
- FRANCE, Royaume de (1842). « Loi relative à l'établissement de grandes lignes de chemins de fer ». *Bulletin des lois de la République française*.
- FROIDEVAUX, J. (1935a). « Exemple d'application au tir du canon de 75 avec l'obus explosif charge normale fusée courte ». *Bulletin mensuel des officiers de réserve d'artillerie de la région de Paris*. 101, p. 74-77.
- FÜRLE, Hermann (1902a). « Rechenblatt für photographische zwecke ». *Jahresbericht der Neunten Realschule zu Berlin*.
- GALOIN, Alain (2020). *Le salon de la princesse Mathilde, Histoire par l'image*. URL : <http://www.histoire-image.org/fr/etudes/salon-princesse-mathilde> (visité le 23/10/2020).
- GAUJA, Pierre (1917). « Prix Bordin, 1884-1885 ». *Les fondations de l'académie des sciences 1881-1915*.
- (1934). *L'Académie des sciences de l'Institut de France*. Gauthier-villars.

- GHYS, Étienne (2012). *Gaspard Monge, le mémoire sur les déblais et remblais*. URL : <http://images.math.cnrs.fr/Gaspard-Monge,1094.html> (visité le 18/10/2020).
- GRAND QUARTIER GÉNÉRAL DES ARMÉES DU NORD ET DU NORD-EST (1921). *Carnet de graphiques pour le canon de 75*. 2^e éd.
- HENDERSON, Lawrence (1924a). « Blood as a psychochemical system ». *The Journal of Biological Chemistry*. 59, p. 379-431.
- HENSSGE, Claus (1988). « Death time estimation in case work. I. The rectal temperature time of death nomogram ». *Forensic Science International*. 38, p. 209-236.
- HERBERT, Bell (1916a). « Note on captain Weir's azimuth diagram and its anticipation of a spherical triangle nomogram ». *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*. 36, p. 192-198.
- HUGUES, Edward-Georges (1847). *Tables donnant en mètres cubes les volumes des terrassements dans les déblais et remblais des chemins de fer, canaux, routes, etc.* Paris, librairie scientifique-industrielle.
- I.R.E.M., Université Paris Nord - (2000). « L'astrolabe au carrefour des savoirs ».
- IGN (2014). « Les cartes de la guerre ». *IGN Magazine*. n.74.
- INCONNU (1917a). *Canon de 75 M^{le} 1897. Tables graphiques de corrections de tir*.
- JOITEL, A. (1922b). « Nomogrammes pour les calculs mécaniques des lignes aériennes de transmission d'énergie électrique (II) ». *Revue générale de l'électricité*. 12, p. 5-14.
- (1922d). « Note sur les calculs mécaniques des lignes aériennes de transmission d'énergie électrique (I) ». *Revue générale de l'électricité*. 11, p. 949-957.
- KAMBER, F. (1928a). « Le calcul du taux de rendement des obligations remboursables à une date déterminée ». *Bulletin de l'Association des actuaires suisses*. 23, p. 41-55.
- KASPRZYK-ISTIN, Marie-Cécile (2018). « De la navigation maritime à la navigation aérienne : transferts de méthodes mathématiques et de connaissances en France dans la première moitié du XX^e siècle ». Thèse de doct. Université Bretagne Loire.
- KRAÏTCHIK, Maurice (1914). « Le tokomètre Kraïtchik ».
- (1918). « Sur quelques applications de la nomographie ».
- (1920a). « Les tables graphiques financières ».
- LA RÉDACTION (1877). « Introduction ». *Mathématiques élémentaires*.
- LAFAY, A. (1895a). « Abaques relatifs au tir de siège ». *Revue d'artillerie*.

- LALANNE, Léon (1839). *Tables nouvelles pour abrégé divers calculs relatifs aux projets de routes principalement les calculs des terrassements et des plans parcellaires*. Paris, Imprimerie royale.
- (1846). *Mémoire sur les tables graphiques et sur la géométrie anamorphique, appliquées à diverses questions qui de rattachent à l'art de l'ingénieur*. Carilian-Gœury et V^r Dalmont.
- (1850). « Détermination des surfaces de déblai et de remblai et des longueurs de profils, pour la rédaction des projets de route ». *Annales des ponts et chaussées*. 19, p. 133-170.
- (1880a). « Méthodes graphiques pour l'expression des lois empiriques ou mathématiques à trois variables ». *Exposition universelle à Melbourne. France. Notices sur les dessins, modèles et ouvrages relatifs aux services des ponts et chaussées, des mines, des bâtiments civils et palais nationaux*.
- LALLEMAND, Charles (1885c). *Les abaques hexagonaux, nouvelle méthode générale de calcul graphique; avec de nombreux exemples d'application*. Autologie & imprimerie J. Marchadier & C^{ie}.
- LANAVE, Louis (1891b). « Notice sur les tableaux graphiques et sur leurs applications (I) ». *Revue pratique des travaux publics*. 6, p. 124-136.
- (1891d). « Notice sur les tableaux graphiques et sur leurs applications (II) ». *Revue pratique des travaux publics*. 7, p. 148-164.
- LASKA, W. (1905). « Zur anwendung der nomographie in der vermessungskunde ». *Zeitschrift für Vermessungswesen*. 35.
- LE BRUN, Raymon (1886c). « Mémoire sur l'application des règles logarithmiques au calcul des terrassements ». *Mémoires de la Société des ingénieurs civils de France*. 2, p. 152-218.
- LEBREC, Léon (1906a). *Béton armé - Méthode rapide de vérification des sections fléchies*.
- LEBRUN, Albert (27 juin 1940). « Décret portant suppression du service géographique de l'armée et création de l'Institut Géographique National ». *République française*.
- LELARGE, H. (1906a). « Méthodes téléphotographiques ». *Revue du génie militaire*. 32, 193-230 et 293-324.
- LÉVY, Maurice (1874). *La statique graphique et ses applications aux constructions*. Gauthier-Villars.
- Ligue de la patrie française (2020). URL : https://fr.wikipedia.org/wiki/Ligue_de_la_patrie_fran%C3%A7aise (visité le 23/11/2020).

- LOBET, Jean (1845). *Des chemins de fer en France, ou traité des principes appliqués à leur tracé, à leur construction et à leur exploitation*. 2^e éd. Paris, Parent-Desbarres.
- LUCKEY, Paul (1923b). « Zur älteren Geschichte der Nomographie ». *Unterrichtsblätter für Mathematik und Naturwissenschaften*.
- MANDL, Julius (1893a). « Diagramm für frei aufliegende hölzerne balken und gewalzte eisenträger ». *Mitteilungen über Gegenstände des Artillerie und Geniewesens*.
- MARCO SAINT-HILAIRE, Adolphe (1875). « Calcul du point observé ». *Revue maritime et coloniale*, p. 341-376.
- MEHMKE, Rudolph (1898b). « Über die mathematische Bestimmung der Helligkeit in Räumen mit Tagesbeleuchtung, insbesondere Gemäldesälen mit Deckenlicht ». *Zeitschrift für Mathematik und Physik*. 43, p. 43-57.
- (1902b). « Numerisches Rechnen ». *Encyclopädie der mathematischen Wissenschaften*, p. 938-1079.
- MEHMKE, Rudolph et Maurice d'OCAGNE (1909). « Calculs numériques ». *Encyclopédie des sciences mathématiques pures et appliquées*, p. 196-452.
- MEHMKE, Rudolph et Maurice d'OCAGNE (1908). « Calculs numériques ». *Encyclopédie des sciences mathématiques pures et appliquées*. 1.
- MINISTÈRE DE L'ARMEMENT ET DES FABRICATIONS DE GUERRE (1917). *Notes sur la préparation et le réglage des tirs*.
- MINISTÈRE DE L'ARMEMENT ET DES FABRICATIONS DE GUERRE (1917). *Annexe 1 aux tables de tir du canon de 75 Mle 1897. Tables de tir sommaires et abaques pour le calcul de la variation globale de portée correspondant aux conditions du tir du moment*.
- MINISTÈRE DE LA CULTURE ET DE LA COMMUNICATION (2020). *Dreyfus Réhabilité*. URL : <http://www.dreyfus.culture.fr> (visité le 23/10/2020).
- MINISTÈRE DE LA GUERRE (1916). *Instruction provisoire de tir. Canon de 75 mm contre objectifs aériens*.
- MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS (1906). « Circulaire du 20 octobre 1906, concernant les instructions relatives à l'emploi du béton armé ».
- MIRAMOND DE LAROQUETTE, François (1913). « Nouveau procédé de découverte des corps étrangers ». *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*. 157.
- MONGE, Gaspard (1783). « Mémoire sur la théorie des déblais et des remblais ». *Histoire de l'Académie royale des sciences*.

- MOUNIER, J. (1920a). *Les graphiques du patron donnant une solution immédiate approchée de tous les problèmes de Banque, Intérêts, Escompte, Prix de vente, Placements*.
- MOUTHON, François-Ignace (1907). « Couliesses du nationalisme. Les dessous d'une ligue. Syveton et Napoléon IV ». *Le matin*.
- MUYDEN, Aloys van (1884a). « Abaque logarithmique pour le calcul des conduites d'eau sous pression ». *Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes*.
- NYSTRÖM, E. (1931a). « Über die Anwendung nomographischer Methoden in der sphärischen Trigonometrie ». *Commentationes Physico-Mathematicae*. 15.
- OCAGNE, Maurice d' (1877). « École spéciale militaire. Concours de 1877, composition de mathématiques ». *Journal de mathématiques élémentaires*.
- (1885). *Coordonnées parallèles et axiales. Méthode de transformation géométrique et procédé nouveau de calcul graphique*. Gauthier-Villars.
- (1891a). *Nomographie. Les calculs usuels effectués au moyen des abaques*. Gauthier-Villars.
- (1892b). « Le calcul sans opérations. La nomographie ». *Revue des questions scientifiques*.
- (1893b). « Les abaques de remblai et de déblai construits au moyen de la méthode des points isoplèthes ». *Annales des ponts et chaussées*. 8, p. 467-479.
- (1894b). « Abaque général de la trigonométrie sphérique ». *Bulletin astronomique*. 11, p. 5-16.
- (1894e). *Le calcul simplifié par les procédés mécaniques et graphiques. Conférences faites au Conservatoire national des arts et métiers les 26 février, 5 et 19 mars 1893*. 1^{re} éd. Gauthier-Villars.
- (1896c). *Application générale de la nomographie au calcul des profils de remblai et déblai, avec une instruction pratique pour la construction et le mode d'emploi des abaques à points isoplèthes*. Dunod et Vicq.
- (1896d). *Cours de géométrie descriptive et de géométrie infinitésimale*. Gauthier-Villars.
- (1896e). *Cours de géométrie descriptive et de géométrie infinitésimale*. Gauthier-Villars.
- (1898a). « Abaque de la nouvelle formule de M. Bazin relative aux canaux découverts ». *Annales des ponts et chaussées*, p. 304-314.
- (1898h). « Sur quelques applications pratiques de la méthode des points cotes ». *Revue générale des sciences pures et appliquées*. 9.

- OCAGNE, Maurice d' (1899b). « Le dossier de l'enquête de la cour de cassation. Déposition de M. d'Ocagne ». *Le figaro* 101.
- (1899d). *Traité de nomographie. Théorie des abaques. Applications pratiques*. 1^{re} éd. Gauthier-Villars.
- (1900f). « Sur les divers modes d'application de la méthode graphique à l'art du calcul. Calcul graphique et nomographique ». *Deuxième congrès international des mathématiciens*.
- (1902d). « Sur la résolution nomographique du triangle de position pour une latitude donnée ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 135, p. 728-730.
- (1904a). *Leçons sur la topométrie et la cubature des terrasses. Comprenant des notions sommaires de nomographie, professées à l'École des ponts et chaussées*. 1^{re} éd. Gauthier-Villars.
- (1904b). *Leçons sur la topométrie et la cubature des terrasses. Comprenant des notions sommaires de nomographie, professées à l'École des ponts et chaussées*. Gauthier-Villars.
- (1904c). *Les instruments de précision en France. Conférence faite au Conservatoire des arts et métiers le 15 mars 1903*. 1^{re} éd. Gauthier-Villars.
- (1904d). « Sur la résolution nomographique des triangles sphériques ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 138, p. 70-73.
- (1904f). « Sur la résolution nomographique générale des triangles sphériques ». *Bulletin de la Société mathématique de France*. 32, p. 196-203.
- (1905b). *Le calcul simplifié par les procédés mécaniques et graphiques. Histoire et description des instruments et machines à calculer, tables, abaques et nomogrammes*. 2^e éd. Gauthier-Villars.
- (1905c). « Sur la méthode graphique des points alignés ». *Comptes rendus de l'Association française pour l'avancement des sciences*, p. 1-8.
- (1906b). « La méthode graphique en mathématiques appliquées. » *La Revue du mois*. 1.
- (1908). *Calcul graphique et nomographie*. 1^{re} éd. Dion.
- (1910c). *Instruction sur l'usage de la règle à calcul*. Gauthier-Villars.
- (1910d). *Leçons sur la topométrie et la cubature des terrasses*. 2^e éd. Gauthier-Villars.
- (1910e). *Notions élémentaires sur la probabilité des erreurs*. Gauthier-Villars.

- (1913a). « Sur l'application générale de la méthode des points alignés aux problèmes qui se ramènent à des résolutions de triangles sphériques ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 156, p. 1593-1596.
- (1914a). *Calcul graphique et nomographie*. 2^e éd. Dion.
- (1917c). *Cours de géométrie pure et appliquée de l'École polytechnique*. 1. Gauthier-Villars.
- (1917d). « Deux conférences sur la nomographie (II) ». *L'enseignement mathématique*. 19.
- (1918b). *Cours de géométrie pure et appliquée de l'École polytechnique*. 2. Gauthier-Villars.
- (1919b). *Principes usuels de nomographie avec application à divers problèmes concernant l'artillerie et l'aéronautique*.
- (1920). *Principes usuels de nomographie. Avec applications à divers problèmes concernant l'artillerie et l'aviation*. Gauthier-Villars.
- (1921b). *Extraits de documents appartenant aux archives de la section de nomographie dirigée pendant la guerre par le lieutenant colonel d'Ocagne, professeur à l'école polytechnique*. Manuscrit.
- (1921d). *Traité de nomographie. Étude générale de la représentation graphique cotée des équations à un nombre quelconque de variables. Applications pratiques*. 2^e éd. Gauthier-Villars.
- (1922b). *Notions sommaires de géométrie projective : à l'usage des candidats à l'École polytechnique*. Gauthier-Villars.
- (1922f). *Vue d'ensemble sur les machines à calculer*. Gauthier-Villars.
- (1924a). *Calcul graphique et nomographie*. 3^e éd. Dion.
- (1924b). *Cours de géométrie pure et appliquée de l'École polytechnique*. 3. Gauthier-Villars.
- (1925b). *Esquisse d'ensemble de la nomographie*. Gauthier-Villars.
- (1928a). « Jules Verne raconté par le fils d'un de ses amis. Sa vie - Son rôle scientifique ». *La revue hebdomadaire : romans, histoire, voyages*.
- (1928b). *Le calcul simplifié par les procédés mécaniques et graphiques. Esquisse générale comprenant : calcul mécanique, calcul graphique, calcul graphométrique, calcul nomographique, calcul nomomécanique*. 3^e éd. Gauthier-Villars.
- (1928c). « Les archives nomographiques de l'École des Ponts et Chaussées ». *Revue générale des sciences pures et appliquées*. 39, p. 625-626.
- (1928d). *Souvenirs et causeries : hors des sentiers d'Euclide*. Plon.

- OCAGNE, Maurice d' (1928e). *Souvenirs et causeries : hors des sentiers d'Euclide*. Plon.
- (1930). *Hommes et choses de sciences*. 1^{re} série. Vuibert.
- (1932a). *Hommes et choses de sciences*. 2^e série. Vuibert.
- (1935a). « Bibliographie des travaux et des publications sur l'histoire des sciences ». *Journal de l'École polytechnique*. 2, p. 223-235.
- (1935b). *Hommes et choses de sciences*. 3^e série. Vuibert.
- (1935c). « Mes souvenirs, livre I : Souvenirs de famille et livre II : Souvenirs de jeunesse ». T. 1.
- (1935d). « Mes souvenirs, livre I : Souvenirs de famille et livre II : Souvenirs de jeunesse ».
- (1935e). « Mes souvenirs, livre III : Province et livre IV : Paris ». T. 2.
- (1935f). « Mes souvenirs, livre V : Souvenirs de voyages d'avant-guerre et livre VI : Souvenirs des années de la guerre ». T. 3.
- (1935g). « Mes souvenirs, livre VII : Après-guerre et livre VIII : Vie scientifique ». T. 4.
- (1955). *Histoire abrégée des sciences mathématiques. Ouvrage recueilli et achevé par René Dugas*. Vuibert.
- (s. d.). « Applications de la méthode nomographique de M. d'Ocagne ».
- (1899). *Traité de nomographie. Théorie des abaques. Applications pratiques*. 1^{re} éd. Gauthier-Villars.
- OCAGNE, Mortimer d' (1873). *Les grandes écoles de France*. J. Hetzel et c^{ie}.
- PARTI SOCIALISTE FRANÇAIS (1891). « La débacle de la Seine ». *Le petit journal*, p. 6.
- PAULIN, Honoré (1889a). « Nouvelle méthode graphique pour le calcul des surfaces de profil en travers ». *Portefeuille de la société des conducteurs des ponts et chaussées et des gardes-mines*. 8.
- (1889c). « Règle pour le calcul des surfaces des profils en travers ». *Portefeuille de la société des conducteurs des ponts et chaussées et des gardes-mines*. 5, p. 133-145.
- PEDDLE, John Bailey (1910). *The construction of graphical charts*. New York, McGraw-Hill.
- PERRET, Eugène (1904b). « Sur quelques applications de la nomographie à l'astronomie nautique ». *Annales hydrographiques*, p. 170-199.

- (1905e). « Sur l'application de la nomographie aux principales tables nautiques ». *Comptes rendus de l'Association française pour l'avancement des sciences*.
- PESCI, Giuseppe (1897d). « Sul calcolo delle distanze in mare ». *Rivista marittima*.
- (1897f). « Sul metodi per cambiare il rilevamento tra di una formazione semplice ». *Rivista marittima*.
- (1899b). « Cenni di nomografia con molte applicazioni alla balistica. Parte prima ». *Rivista marittima*.
- (1900a). « Cenni di nomografia con molte applicazioni alla balistica. Parte seconda ». *Rivista marittima*.
- (1900c). « Costruzione elementare di due abbachi trigonometrici ». *Supplemento al periodico di matematica*. 6-7.
- (1909a). « Cenni sulla risoluzione del triangolo di posizione senza calcoli trigonometrici ». *Rivista marittima*. 42, p. 317-328.
- (1910b). « Sulla risoluzione del triangolo sferici ». *Supplemento al periodico di matematica*. 6.
- (1911a). « Metodo grafico per determinare l'altezza degli aeroplani ». *Rivista tecnica di aeronautica*. 3.
- POTIN, Louis (1911a). « Calcul de la hauteur atteinte par un aéroplane ». *La technique moderne*.
- (1911g). « Solutions nomographiques de questions relatives aux chemins de fer ». *Annales des ponts et chaussées*. 3, p. 697-710.
- (1911i). « Vérification et régularisation du tracé des courbes des voies de chemin de fer ».
- (1912b). « Calcul rapide des lignes aériennes au point de vue mécanique ». *La technique moderne*. 23, p. 166-173, 197-206, 230-237.
- (1928a). « Calcul à vue de la constante d'Ambard ». *Bulletin général de thérapeutique*. 179, p. 158-160.
- POUCHET, Louis-Ézéchiél (1795). *Arithmétique linéaire, ou Nouvelle méthode abrégée de calculer, que l'on peut pratiquer sans savoir lire ni écrire*. Guedra.
- (1797). *Métrologie terrestre ou tables des nouveaux poids, mesures et monnaies de France*. Guilbert & Herment.
- PRINET, Max (1909). « La maison de Faudoas (Gascogne, Maine et Normandie), par l'abbé Ambroise Ledru ». *Bibliothèque de l'École des chartes*. 70, p. 562-564.
- PROVOST, André (1930a). « Note sur les primes aux bonnes pesées pour le paquetage des scaferlatis ». *Mémorial des manufactures de l'état*. 6, p. 423-455.

- PUJOL, R. (1909). *Routes : cours de construction - Officiers-élèves du Génie et de l'artillerie coloniale, 3 leçons*. Lithographie de l'École d'application de l'artillerie et du Génie.
- QUIQUET, A. (1897a). « Sur trois modes de réduction graphique des assurances mixtes aux assurances en cas de décès ». *Bulletin de l'Institut des actuaires français*. 29.
- RADAU, Rodolphe (1886). « Sur quelques applications des méthodes graphiques ». *Bulletin astronomique*, p. 62-65.
- (1894b). « Variétés : Maurice d'Ocagne - Le calcul simplifié par les procédés mécaniques et graphiques ». *Bulletin astronomique*. 11.
- RIDET, Jaques (1913). « Nomogrammes de M.J. Eichhorn pour les propriétés de la vapeur ». *La technique moderne*.
- RONNEAUX (1917a). *Annexe 1 aux tables de tir du canon de 75 Mle 1897. Tables de tir sommaires et abaques pour le calcul de la variation globale de portée correspondant aux conditions du tir du moment*.
- ROULLET, Henry (1929a). « Les abaques à points alignés dans le domaine de l'hydraulique ». *Annales des ponts et chaussées*. 4, p. 62-77.
- RUHLMANN, Jean (1994). *Histoire de l'Europe au XX^e siècle, 1900-1918*. Éditions complexe.
- SAINT-GERMAIN, Albert de (1886). « Étude sur le problème des déblais et des remblais ». *Mémoires de l'Académie nationale des sciences, arts et belles-lettres de Caen*.
- SERVICE GÉOGRAPHIQUE DE L'ARMÉE (1936). *Rapport sur les travaux exécutés du 1^{er} août 1914 au 31 décembre 1919 : historique du service géographique de l'armée pendant la guerre*. Service géographique de l'armée.
- SEWARD, Herbert L. et Laurence I. HEWES (1923). *Design of diagrams for engineering formulas and the theory of nomography*. New York, McGraw-Hill.
- SIEGLER, Ernest (1881). « Note sur un procédé rapide de détermination des surfaces de profils en travers ». *Annales des ponts et chaussées*. 1, p. 98-107.
- SITE DE LA COMMUNE D'OCCAGNES (2020). *Histoire et patrimoine*. URL : <https://www.occagnes.fr/histoire-patrimoine> (visité le 23/10/2020).
- SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE DE PARIS et André THOMAS (1990). *La Société philomathique de Paris et deux siècles d'histoire de la science en France : colloque du bi-centenaire de la Société philomathique de Paris*. Presses universitaires de France.
- SOREAU, Rodolphe (1907a). « Représentation du fonctionnement théorique des gazogènes au coke ». *Mémoires et compte rendu des travaux de la Société des ingénieurs civils de France*. 88, p. 692-700.

- SOUS-SECRETARIAT D'ÉTAT DES INVENTIONS (1917a). *Bon à tirer pour les canons de 120 et de 75*.
- (1917b). *Notes sur la préparation et le réglage des tirs*.
- SUMNER, Thomas (1851). *A new and accurate method of finding a ship's position at sea, by projection on mercator's chart*. T. Groom, Boston.
- TONGAS, Philippe (1937a). « Étude théorique de la marche d'un train. Résolution graphique du cas de la traction avec moteurs à vitesse constante à l'aide d'un nomogramme à points alignés ». *Revue générale de l'électricité*. 41, p. 109-114.
- TOURNÈS, Dominique (2000). « Pour une histoire du calcul graphique ». *Revue d'histoire des mathématiques*, p. 127-161.
- (2011). « What is a numerical table? Milestones for a historical research project ». *Oberwolfach Reports*, p. 643-645.
- (2015a). « Querelles de priorité autour de la nomographie ». *Maurice d'Ocagne (1862-1938) : questions historiques et historiographiques soulevées par ses archives*. Institut Henri-Poincaré.
- (2015b). « Querelles de priorité autour de la nomographie ». *Maurice d'Ocagne (1862-1938) : questions historiques et historiographiques soulevées par ses archives*. Institut Henri-Poincaré.
- VAES, Franciscus Johannes (1897b). « Studie over trekkracht van locomotieven en weerstand van treinen ». *De ingenieur*. 15-16, p. 169-176, 185-188.
- (1898c). « Vervolg van de studie over trekkracht van locomotieven en weerstand van treinen ». *De ingenieur*. 29.
- (1903c). « Rekenplaten voor Ophoogingen en Afgravingen ». *De ingenieur*. 20.
- (1904b). « Technische rekenplaten ». *Vergadering van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs*.
- VERINE, Henri (1997). « Interdisciplinarité ou transdisciplinarité? Le cas d'une méthode de calcul graphique : la nomographie et sa terminologie ». *Bibliothèque des cahiers de l'Institut de linguistique de Louvain*.
- VILLE DE PARIS (1933). « Réception, à l'hôtel de ville, Professeur Maurice d'Ocagne, à l'occasion de son jubilé ». *Supplément au Bulletin municipal officiel de la ville de Paris, du 14 juillet 1933*. n.161.
- VITRUVIUS POLLIO, Marcus (63). *Les dix Livres d'architecture de Vitruve, corrigez et traduits Nouvellement en François, avec des notes et des figures*. Jean Baptiste Coignard.

VOGLER, Christian August (1877). *Anleitung zum entwerfen graphischer tafeln und zu deren Gebrauch beim Schnellrechnen sowie beim Schnellquotiren mit Aneroid und Tachymete*. Ernst & Korn.

WIKIPÉDIA (2020). *Maurice d'Ocagne*. URL : http://fr.wikipedia.org/wiki/Maurice_d%27Ocagne (visité le 13/10/2020).

WILLOTTE, Henri (1880a). « Note sur la détermination à l'aide de tableaux graphiques des surfaces des profils de terrassements ». *Annales des ponts et chaussées*. 2.

YOUNG, Greg De (2020). *Farid Youssef Boulad Bey*. URL : <https://www.icmihistory.unito.it/portrait/boulad.php> (visité le 24/10/2020).

ZOLA, Émile (1898). « J'accuse...! Lettre au président de la république ». *L'Aurore*.

Correspondance utilisée dans la thèse

BLONDEL, André (25 nov. 1912b). *Demande de droit de réponse de Blondel sur un article de Potin*. Une lettre.

BOUJU, Capitaine (1^{er} oct. 1917). *Demande et Remerciements pour les abaques du 75 et du 155, proposition de formation*. Deux lettres.

BOULAD BEY, Farid (1906c). *Correspondance Boulad 1906*. Huit lettres.

— (1907b). *Correspondance Boulad 1907*. Onze lettres.

— (1908c). *Correspondance Boulad 1908*. Vingt-quatre lettres.

— (1909b). *Correspondance Boulad 1909*. Douze lettres.

— (1910c). *Correspondance Boulad 1910*. Vingt-six lettres.

— (1912b). *Correspondance Boulad 1912*. Douze lettres.

— (1913b). *Correspondance Boulad 1913*. Treize lettres.

— (1915b). *Correspondance Boulad 1915*. Neuf lettres.

— (1917b). *Correspondance Boulad 1917*. Six lettres.

— (1919b). *Correspondance Boulad 1919*. Treize lettres.

— (1920b). *Correspondance Boulad 1920*. Trois lettres.

— (1921b). *Correspondance Boulad 1921*. Huit lettres.

— (1922b). *Correspondance Boulad 1922*. Dix lettres.

— (1923b). *Correspondance Boulad 1923*. Sept lettres.

— (1925b). *Correspondance Boulad 1925*. Sept lettres.

— (1926b). *Correspondance Boulad 1926*. Trois lettres.

— (1928b). *Correspondance Boulad 1928*. Quatre lettres.

— (1932b). *Correspondance Boulad 1932*. Six lettres.

— (21 oct. 1935b). *Demande de promotion au grade d'officier de la Légion d'honneur*. Deux lettres.

- BOULAD BEY, Farid (1936b). *Correspondance Boulad 1936*. Deux lettres.
- BUISSY, Lieutenant-commandant (30 sept. 1917). *Compte rendu de l'emploi des tables graphiques de correction de tir pour le canon de 75*.
- CAU, Marcel (17 déc. 1917a). *Proposition d'amélioration d'abaques par des éléments relatifs à l'observation unilatérale ou bilatérale des tirs*. Une lettre.
- CHAVANE, Capitaine (21 juin 1917). *Demande de 75 abaques pour le canon de 75 à donner en main propre*. Une lettre.
- EICHHORN, Melker Johan (1^{er} oct. 1901a). *Publications outre-Atlantique*. Deux lettres.
- (3 mai 1919b). *Machine permettant d'imprimer des tables*. Une lettre.
- (21 mai 1921a). *Analyseur harmonique*. Une lettre.
- FETTER, Général (21 fév. 1917). *Demande de 200 nomogrammes*. Une lettre.
- GIORDANO (29 mars 1917). *Lettre du délégué italien au comité interalliés des inventions pour la guerre à Maurice d'Ocagne au sujet de l'utilisation des nomogrammes dans l'artillerie italienne*. Deux lettres.
- GOLDSCHMIDT, Capitaine R. (14 fév. 1917). *Lettre du chef du service des Inventions de l'armée belge pour l'établissement de nomogrammes pour leur armée*.
- HERR, Commandant (2 déc. 1921). *Addition à la notice sur les travaux de M. d'Ocagne, lettre adressée par le général Herr à monsieur le général Bourgeois, membre de l'Académie des sciences*. Trois lettres.
- HERR, Général de division (14 mai 1918). *Commande de 100 nomogrammes pour le canon de 155 GPF et le 280*. Une lettre.
- ICRE, Commandant (9 oct. 1916). *Échanges entre le commandant Icre et Maurice d'Ocagne au sujet de la rapidité de ses nomogrammes*. Trois lettres.
- JONESCO, J. (1^{er} mai 1908). *Don d'articles publiés dans le Bulletin de la Société polytechnique de Roumanie*. Une lettre.
- KRAÏTCHIK, Maurice (29 mai 1917). *Sur quelques applications de la nomographie, modifications demandées par d'Ocagne*. Deux lettres.
- LAGET, Capitaine (5 mars 1917). *Rapport de M. Laget sur les tables graphiques de corrections de tirs*. Deux lettres.
- LANAVE, Louis (18 jan. 1892a). *Correspondance sur une application graphique des terrassements*. Une lettre.
- LE BRUN, Raymon (14 juin 1886a). *Correspondance à propos de son mémoire sur une règle logarithmique pour le terrassement*. Une lettre.
- LUCKEY, Paul (16 avr. 1924e). *Histoire de la nomographie*. Une lettre.

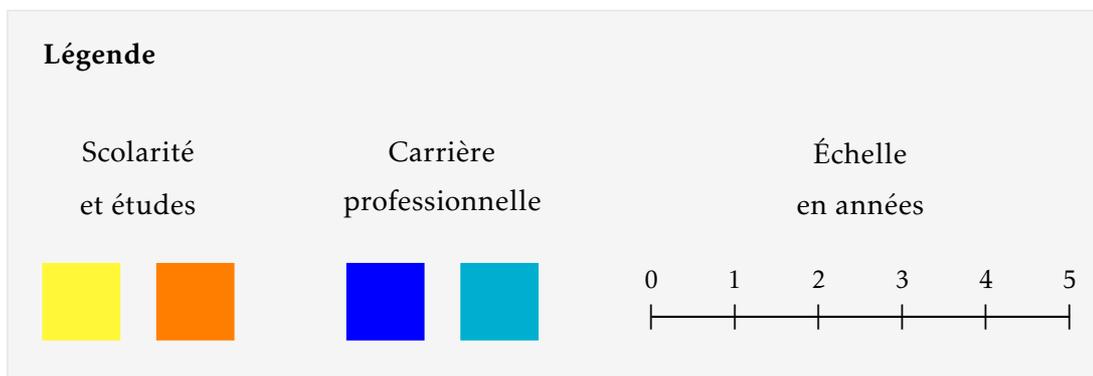
- MACHIELS, Capitaine (14 août 1917). *Remerciements pour l'obtention de carnets de nomogrammes, propositions d'améliorations*. Une lettre.
- MARGOULIS, Wladimir (1^{er} oct. 1922b). *Création d'un Bureau d'Études Nomographiques*. Une lettre.
- MARX, M.o.d. (20 oct. 1918). *Demande d'abaques pour le canon de 120 long*. Une lettre.
- MEHMKE, Rudolph (4 avr. 1894a). *Résolution d'une équation de degré 5*. Une lettre.
- (17 oct. 1896a). *Publication de nomographie dans un journal allemand*. Deux lettres.
- MICHEL, Lieutenant (9 mai 1917). *Demande d'abaques pour le canon de 145 et de 155*. Une lettre.
- MILLOT, Stanislas (16 avr. 1908a). *Un premier nomogramme de tactique navale*. Deux lettres.
- (25 déc. 1912a). *Don de sept abaques construits par Millot*. Une lettre.
- (26 oct. 1912g). *Problèmes d'emploi Millot*. Une lettre.
- (13 avr. 1922b). *Note à l'Académie des sciences et anecdote*. Une lettre.
- (4 déc. 1922d). *Traité de toiture et probabilités*. Deux lettres.
- MISSEREY (29 avr. 1917). *Extrait d'une lettre adressée le 29 avril 1917, au lieutenant colonel d'Ocagne, par le capitaine Misserey Commandant le 1er groupe du 61e régiment d'artillerie*. Une lettre.
- MULSANT, Lieutenant-colonel (21 jan. 1917). *Demande d'abaques pour le canon de 145 et de 155, nouveaux canons devant arriver sur le front*. Une lettre.
- NOIREL, Lieutenant-Colonel (11 fév. 1917). *Demande d'abaques pour le canon de 155 long Schneider*. Une lettre.
- NORMAN, Henry (1^{er} juin 1917b). *Lettre du Major Sir Henry Norman à Maurice d'Ocagne au sujet de l'utilisation des nomogrammes pendant la guerre*.
- OCAGNE, Maurice d' (24 sept. 1907b). *Lettre de d'Ocagne en réponse à Clark*. Une lettre.
- (16 mai 1918c). *État des albums de tables graphiques corrections de tir au service des armées*. Une lettre.
- (24 mars 1927b). *Lettre d'abandon du fonds d'archives concernant la nomographie de Maurice d'Ocagne à l'École des ponts et chaussées*. Une lettre.
- PESCI, Giuseppe (avr. 1897b). *Publication de nomographie en Italie*. Une lettre.
- (1904b). *Divers : remerciements, traité italien, Azimuts de Perret*. Trois lettres.

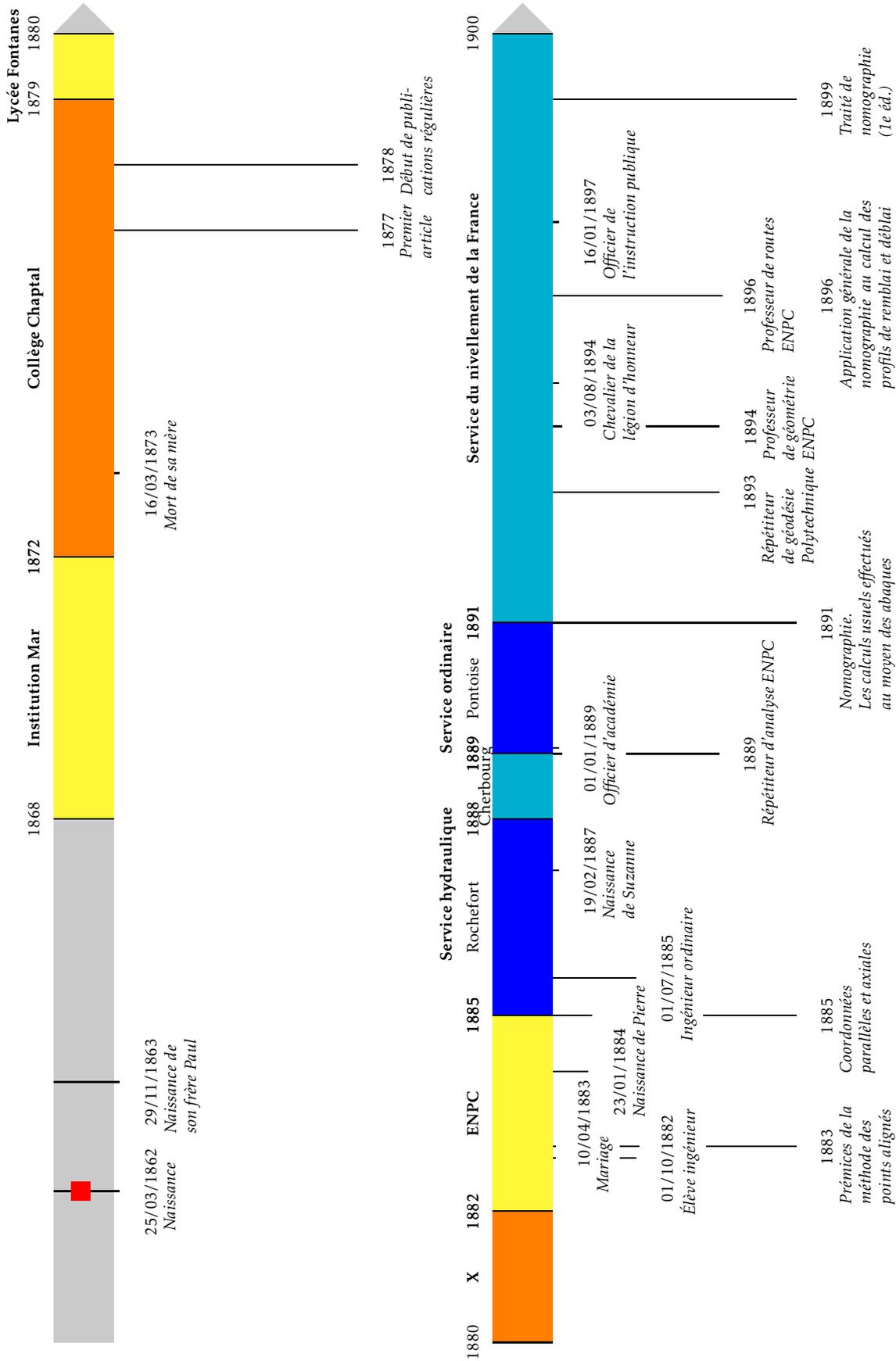
- PESCI, Giuseppe (8 nov. 1908b). *Note historique sur les tables de Luyando*. Une lettre.
- POTIN, Louis (1912c). *Correspondances Potin 1912*. Sept lettres.
- ROBIN, Paul (2 jan. 1894). *Demande de solution générale de l'abaque sphérique*. Deux lettres.
- ROULLET, Henry (17 nov. 1928a). *Proposition d'abaque pour la formule de Bazin dans le domaine agricole*. Une lettre.
- SERVICE DE GUERRE DU PERSONNEL DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE (juill. 1919). *Note sur les services militaires et scientifiques rendus pendant la guerre par M. Maurice d'Ocagne*.
- VAES, Franciscus Johannes (24 déc. 1901a). *Correspondance concernant les réticences au sujet des abaques à points alignés*. Une lettre.
- (1901b). *Courrier à d'Ocagne concernant les réticences au sujet des abaques à points alignés*. Une lettre.
- VAES, Franciscus Johannes (8 août 1899). *Note sur le traité de nomographie dans des revues hollandaises*. Deux lettres.

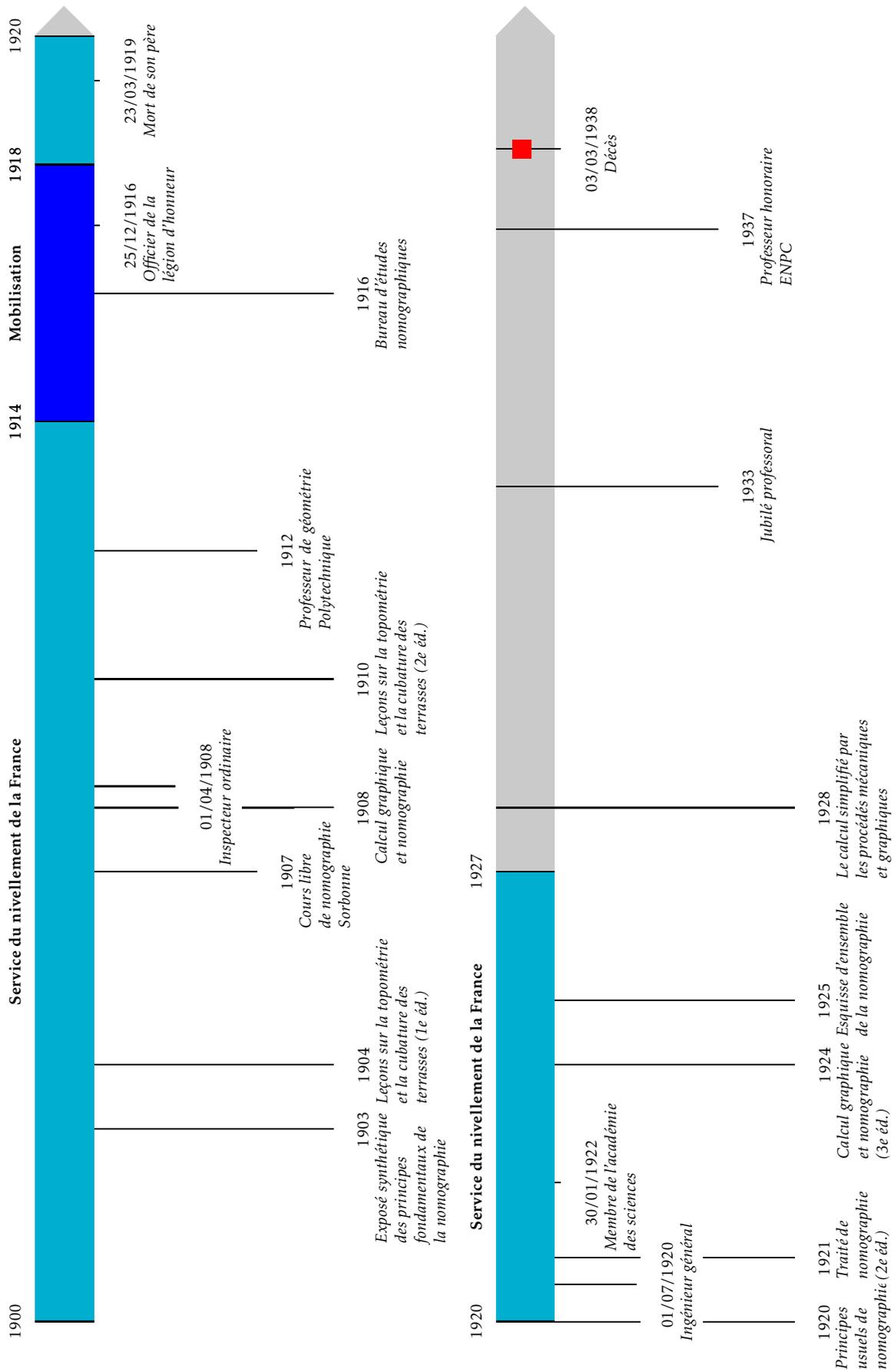
Frise chronologique de la vie de Maurice d'Ocagne

La frise donnée en pages suivantes résume la vie de Maurice d'Ocagne suivant quatre thèmes mentionnés de haut en bas à partir de la frise chronologique.

- Vie personnelle - Les éléments importants de la vie de d'Ocagne concernant sa famille proche ainsi que les distinctions académiques qu'il a reçues.
- Carrière d'ingénieur - Son évolution par ses changements de grade dans le corps des ingénieurs.
- Carrière professorale - Les différents postes qu'il a occupés en tant qu'enseignant, les écoles où il a enseigné ainsi que les cours dispensés.
- Livres publiés - Sa bibliographie dans le domaine du calcul graphique en général, et de la nomographie en particulier.







Annexe **B**

Contenu des archives de l'École des ponts et chaussées

Dans cette annexe sont listés la totalité des documents et articles qui composent du fonds d'archives nomographiques de l'ENPC, ainsi que ses correspondances nomographiques.

Articles et documents des archives

- ABÉLÈS, Lucien (1930b). « Abaque pour le calcul des fonctions circulaires et hyperboliques de variables complexes ». *Revue générale de l'électricité*. 28, p. 515-526.
- (1930c). « Nomogramme de trigonométrie complexe ».
- AISBERGER, Eugène (1926b). « Comment déterminer sans calcul la self-inductance d'une bobine ». *La radio*. 6, p. 192-193.
- AKAR, A.L. (1930). « Nomogrammes et abaques à intersections orthogonales ».
- ALLIAUME, M. (1923a). « Application de la nomographie aux calculs d'étalonnage des instruments de mesure ». *Annales de la Société scientifique de Bruxelles*, p. 241-245.
- (1923b). « Sur la résolution nomographique des systèmes d'équations ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 176, p. 232-234.
- (1929). « Biographie Goedseels ». *Revue des questions scientifiques*. 16, p. 69-85.
- ANTHONY, Charles (1902). *Hydrolic calculator based on John Manning's formula*. Anglais.
- APPHL (1920). « Rapport sur la candidature de Maurice d'Ocagne à l'Académie ». Rapport.
- ARRILLAGA, Manuel M. (1909). « Representacion grafica de los movimientos de trenes en una estacion ». *Congreso científico de Zaragoza*.
- ARTUR, J.F. (1852). « Théorie et construction d'un vernier applicable à toute ligne droite ou courbe divisée en parties inégales. » *Société d'encouragement pour l'industrie nationale*.
- BAES, Louis (1913b). « Abaques pour le calcul des poutres fléchies ». *Cours de stabilité des constructions*.
- (1926b). « Nomogrammes pour le calcul de la section transversale de poutres en béton armé sollicitées par flexion plane simple ». *Technique des travaux*, p. 47-53.
- BARRÉ, E. (1923). « étude sur l'établissement des chambres de mine », p. 1-34.

- BATAILLER, H. (1907). « Contribution à la recherche des fonctions empiriques - Application de la méthode des points alignés ». *Revue d'artillerie*. 69, p. 185-203.
- BAUME PLUVINEL, A. de la (1908). « La détermination du point en ballon ». *L'Aéro-phile*. 16, p. 158-161.
- BEAUREPAIRE, R. de (1907b). *Graphs and abacuses principles and applications*. Joseph's College Press, p. 1-62.
- BEGHIN, Maurice (1892d). « Note sur une nouvelle classe d'abaques ». *Le génie civil*. 22, p. 124-125.
- BELHAGUE (1898). « études sur la construction d'une route de Tananarive à Moramanga par la Mandraka ». *Revue du génie militaire*. 16, p. 193-226.
- BERTRAND, Léopold (1895). *Description et usage d'un abaque pour destiné à faciliter la solution des problèmes relatifs à la distribution des eaux*. Berger-Levrault et Cie.
- (1898). « Abaque pour le calcul des aires des murs de soutènement ». *Revue du génie militaire*. 16, p. 227-230.
- BIRO, Elemér (1930). « Hasznalati utasitas a meretezo tablazatokhoz ».
- BLONDEL, André (1902b). « Calcul rapide des conducteurs aériens au moyen d'un abaque unique ». *Comptes rendus des travaux du congrès*.
- BOCCARDI, Giovanni (1900). « Di alcuni diagrammi astronomici ». *Memorie della Società degli spettroscopisti italiani*. 29.
- BOISSEAU, Paul (1925). « Nomogrammes donnant le taux d'intérêt réel des Bons et Obligations ». *La technique moderne*. 17, p. 409-410.
- BOTHEZAT, Georges de (1919). *The general theory of blade screws*. Rapp. tech. 29. National Advisor Committee for Aeronautics.
- BOULAD BEY, Farid (1908a). « Al nomographia ai hal-el-massael el-hessabieh mal gabriek bel-gadamel ». *Al-Moksataf*.
- (1909d). « Sur l'introduction du principe de dualité et de la méthode nomographique des points alignés dans le domaine de la statique graphique ». *Bulletin de l'Institut égyptien*. 3, p. 162-174.
- (1909e). « Un procédé de calcul graphique des déterminants ». *Comptes rendus de l'Association française pour l'avancement des sciences*. Lille, p. 95-100.
- (1910a). « Application de l'homologie à la transformation des nomogrammes à points alignés ». *Comptes rendus de l'Association française pour l'avancement des sciences*. Toulouse, p. 32-39.

- (1910d). « Sur la disjonction des variables des équations nomographiques rationnelles d'ordre supérieur ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 150, p. 379-382.
 - (1911a). « Application de la notion des valeurs critiques à la disjonction des variables dans les équations d'ordre nomographique supérieur ». *Bulletin de la Société mathématique de France*. 39, p. 105-129.
 - (1912c). « Extension de la notion des valeurs critiques aux équations à quatre variables d'ordre nomographique supérieur ». *Compte rendu du congrès international des mathématiciens*. 2, p. 295-299.
 - (1912e). « Sur les équations à quatre variables d'ordre supérieur ». *Bulletin de la Société mathématique de France*. 40, p. 383-392.
 - (1913c). « Disjonction des variables dans les équations représentables par des nomogrammes à alignement ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 156.
 - (1913d). « Sur la disjonction des variables dans les équations représentables par des nomogrammes à points alignés ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 156, p. 865-868.
 - (1929a). « Aspects historiques des méthodes graphiques employées dans la résistance des matériaux et la stabilité des constructions ». Société royale des ingénieurs de l'Institut d'Égypte.
 - (1936c). « Sur les formes canoniques des équations d'ordre nomographique 6 et 5 représentables par des nomogrammes à échelles symétriques ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 203, p. 150-152.
 - (1936d). « Sur les formes des équations à 3 variables représentables par des abaques coniques à simple alignement ». *Compte rendu du congrès international des mathématiciens*, p. 168.
 - (1936e). « Sur les formes générales des équations d'ordre nomographique 6 et 5 représentables par des nomogrammes coniques ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 202, p. 2120-2122.
- BOUVIER, Adolphe (1900b). « Comparaison entre les éclairages usuels à éclairage égal par la méthode graphique ». *Compte rendu du congrès international de l'industrie du gaz*. Paris, p. 814-825.
- BRACKE, A. (1913). « La hauteur d'un cerf-volant ». *La conquête de l'air*. 24, p. 382-385.
- BRICAS, Maurice (1927a). « Calcul des constructions continues au moyen d'abaques (I) ». *Le constructeur de ciment armé*. 95, p. 141-145.
- (1927b). « Calcul des constructions continues au moyen d'abaques (II) ». *Le constructeur de ciment armé*. 96, p. 168-171.

- BRICAS, Maurice (1927c). « Calcul des constructions continues au moyen d'abaques (III) ». *Le constructeur de ciment armé*. 97, p. 191-195.
- (1927d). « Calcul des constructions continues au moyen d'abaques (IV) ». *Le constructeur de ciment armé*. 98, p. 210-214.
- (1927e). « Calcul des constructions continues au moyen d'abaques (V) ». *Le constructeur de ciment armé*. 99, p. 234-237.
- BRİKAS, E. (1935a). « Applications de la nomographie aux calculs biochimiques (titre en grec) ». *Comptes rendus de l'Académie d'Athènes*.
- CALLOU, L. (1906). « Note au sujet d'un procédé de calcul rapide des résultats d'essais du bâtiment ». Note dactylographiée.
- CAMUS, G. (1908). « Formules donnant la puissance d'un moteur d'automobile ». *Bulletin technologique*. 3, p. 3-14.
- CHALMARÈS, G. (1910). « Règle à calcul gigantesque pour le pari mutuel ». *La nature*, p. 49-51.
- CHANCEL, A. (1894b). *Étude et graphique de la formule de jauge*. France : Français, p. 1-27.
- CHAPAS, G. (1925a). « Abaque pour la réduction aux conditions normales des volumes gazeux en analyse chimique ». *Chimie et industrie*. 14.
- (1925b). « Réduction graphique aux conditions normales des volumes gazeux en analyse chimique ». *Chimie et industrie*. 14.
- CHARPENTIER, Ch. (1915). *Règle à calculs circulaire Ch. Charpentier*. Instrument.
- CHENEVIER, Paul-Nicolas (1884b). *Memento graphique du constructeur*. Nomographie. Charles Laurent.
- CHÉRY, J. (1877b). *Pratique de la résistance des matériaux dans les constructions*. France : Français.
- CHRÉTIEN, Henri (1907). « Nouvel abaque du problème de Képler ». *Comptes rendus de l'Association française pour l'avancement des sciences*.
- CLARK, John (1906d). « Résumé sur la théorie des abaques de tout ordre ». Nomographie. Document manuscrit.
- (1907b). « Théorie générale des abaques d'alignement de tout ordre ». *Revue de mécanique*.
- COLLIGNON, Édouard (1880). « Tableau graphique des heures du lever et du coucher du soleil ». *Exposition universelle à Melbourne*. 39.
- CONSTANT, Paul (1906). *Tables graphiques d'azimut*. Guyon et Gauthier-Villars.

- COUPAN, G. (1921). « Abaque pour la détermination rapide de la puissance d'un moteur à quatre temps à essence ». *Bulletin de la Société des agriculteurs de France*.
- COURBIS (1917). « étude sur les corrections journalières à apporter au tir de l'obus explosif de 75 mm ». Document dactylographié.
- CRÉPIN, André (1913). « Calendrier perpétuel nomographique ». *La nature*, p. 122-123.
- DAGUE, Amédée (1905a). « Abaques de la fatigue des jantes de volants sous l'action de la force centrifuge ». *Bulletin technologique*. 11, p. 1090-1096.
- (1905b). « Emploi des abaques logarithmiques pour le contrôle de la vitesse de coupe des machines-outils ». *Bulletin technologique*. 7, p. 768-782.
- DARIÈS, Georges (1897b). « Application de la nomographie au calcul des conduites d'eau ». *Nouvelles annales de la construction*. 4, p. 113-118.
- (1903). « Cubature des terrasses. Tableaux graphiques pour le calcul des profils en travers ». *L'ingénieur-constructeur de travaux publics*. 4, p. 113-124.
- DE GUICHE (1917b). « Le problème de l'avion militaire ». Document dactylographié.
- DELORT, J. (1913). « Note sur le lignomètre ». *Mémorial de l'officier du génie*. 27.
- DEVAUX, Pierre (1935). « Maurice Ocagne, créateur de la nomographie ». *La nature*, p. 294-299.
- DEVILLE, E. (1906). « Abacus of the altitude and azimuth of the pole star ». *Proceedings and Transactions of the Royal Society of Canada*. 17, p. 3-12.
- DIDIER, A. (1926). *Essai sur le calcul graphique des conduites d'eau des canalisations d'égouts*. Oran.
- DIETERLEN (1921). « Lois numériques de la transmission de la chaleur entre les fluides dans les échangeurs industriels ». *Chaleur et industrie*. 19, p. 736-746.
- DODIN, André (1923). *Abaque à calculs Dodin*.
- DORAND, P. (1916). « Comparaison de deux moteurs d'avion ».
- DUMAS, G. (1906). « Note relative aux abaques à alignement ». *Bulletin technique de la Suisse Romande*. 20-21, p. 229-232, 241-246.
- (1907a). « Résolution, par voie nomographique, des équations linéaires simultanées (I) ». *Bulletin technique de la Suisse Romande*. 19, p. 221-225.
- (1907b). « Résolution, par voie nomographique, des équations linéaires simultanées (II) ». *Bulletin technique de la Suisse Romande*. 20, p. 233-235.

- DUMAS, G. (1919). « Note sur les abaques de terrassement employés à l'établissement du projet de canal de navigation latéral au Rhône ».
- DUMOUTIER, Henri (1928). « Calcul d'une section rectangulaire de béton armé ». *La technique des travaux*. 2, p. 135-147.
- (1929). « Stabilité des pieux verticaux fondés dans un terrain sans cohésion ». *La technique des travaux*. 4, p. 243-255.
- DUSSEL (1930). *Le nouveau cercle à calculer AL-RO*.
- EICHHORN, Melker Johan (1911). « Nomogram for the properties of steam ». *The Swedish Engineers' Society of Chicago*. 3.
- (1913b). « Pressure drop in alternating current lines ». *Electrical Review and Western Electrician*. 6, p. 106-108.
- (1918a). « Nomogram for the properties of compressed air ». *National Engineer*, p. 304-308.
- (1918b). « The solubility of Ammonia ». *Ice and Refrigeration*. 55.
- (1919a). « List of publications of M.J. Eichhorn on the subject of nomograph ». états-Unis.
- ELBE, Michael (1884). *Graphische trigonometrie oder Lösung des Aufgaben des sphärischen und der ebenen Trogonometrie durch Astronomische Netz*. Verlag von Rudolph Roth.
- FAVÉ, Louis (1894b). « éphémérides graphiques donnant les coordonnées des astres pour les usages de la navigation ». *Annales hydrographiques*, p. 1-8.
- FAVÉ, Louis et Charles ROLLET DE L'ISLE (1892). « Abaque pour la détermination du point à la mer ». *Annales hydrographiques*, p. 5-24.
- FERET, R. (1924a). « Addition de matières pulvérulentes aux liants hydrauliques ». *Revue des matériaux de construction et de travaux publics*. 183-184, p. 5-7.
- FISCHER, Alexander (1927b). « Über ein neues allgemeines Verfahren zum Entwerfen von graphischen Rechentafeln, insbesondere von Fluchtlinientafeln (I) ». *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik*. 7.
- (1928a). « Graphische Rechentafel für den Profilradius von gleichschenkligen Trapezquerschnitten ». *Zeitschrift des österreichischen Ingenieur und Architekten Vereines*. 17-18, p. 160-161.
- (1928b). « Verfahren zum entwerfen von graphischen rechentafeln (II)I ». *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik*. 8, p. 309-335.

- (1929). « Über ein neues allgemeines Verfahren zum Entwerfen von graphischen Rechentafeln (Nomogrammen), insbesondere von Fluchtlinientafeln (IV) ». *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik*. 9, p. 402-419.
- (1930a). « Allgemeines Verfahren zum Entwerfen von graphischen Rechentafeln, insbesondere von Fluchtlinientafeln ». *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*. 74, p. 1515-1516.
- (1930b). « graphische rechentafel für die berechnung der wandstärke von rohren mit innerem überdruck ». *Maschinenbau*. 9, p. 554-555.
- (1930c). « Graphische Rechentafel für die Berechnung der Wassergeschwindigkeit in Kanälen und Flüssen ». *Wasserkraft und Wasserwirtschaft*. 36, p. 740-741.
- (1930d). « Graphische Rechentafel für die Berechnung von Rohrgewichten ». *Maschinenbau*. 9, p. 518.
- (1930e). « Graphische Rechentafel für die Formel von Wex ». *Wasserkraft und Wasserwirtschaft*. 11, p. 124-125.
- (1930g). « Graphische Rechentafeln für die Langsche Formel zur Berechnung des Druckhöhenverlustes in Rohrleitungen (I) ». *Die Wasserwirtschaft*. 7, p. 119-110.
- (1930h). « Graphische Rechentafeln für die Langsche Formel zur Berechnung des Druckhöhenverlustes in Rohrleitungen (II) ». *Die Wasserwirtschaft*. 22, p. 468-469.
- (1930i). « Graphische Rechentafeln für die Langsche Formel zur Berechnung des Druckhöhenverlustes in Rohrleitungen (III) ». *Die Wasserwirtschaft*. 31, p. 661-662.
- (1930j). « Graphische Rechentafeln für die Langsche Formel zur Berechnung des Druckhöhenverlustes in Rohrleitungen (IV) ». *Die Wasserwirtschaft*. 34, p. 708-709.
- (1930k). « Rechenbild zur Berechnung des Profilradius von gleichschenkligen Trapezquerschnitten ». *Wasserkraft und Wasserwirtschaft*. 23, p. 302.
- (1930l). « Über einige nach einem neuen allgemeinen Verfahren entworfene graphische Rechentafeln (II) ». *Zeitschrift des österreichischen Ingenieur und Architekten Vereines*. 51-52, p. 432-434.
- (1932). « Über eine anwendung des nomographisch-graphischen rechnens auf eine aufgabe aus der technishen schwingungslehre ». *HDI Mitteilungen*. 14, p. 303-304.

FLEURY, Émile (1907). « Calcul des reports de la bourse de Paris ».

- FROIDEVAUX, J. (1935b). « Exemple d'application au tir du canon de 75 avec l'obus explosif charge normale fusée courte ». *Bulletin mensuel des officiers de réserve d'artillerie de la région de Paris*. 101, p. 74-77.
- FULLER, George (1897). « A calculating slide rule », p. 1-15.
- FÜRLE, Hermann (1899). « Zur theorie der rechenschieber ». *Wissenschaftliche Beilage zum Jahresbericht der neunten Realschule zu Berlin*. 125.
- (1902b). « Rechenblatt fur photographische zwecke ».
- (1902c). « Rechenblätter von Dr Hermann Fürle ». *Rapport annuel de la Real-Schule*.
- (1903). « Über einige Rechenblätter ». *Sitzungsberichte der Berliner mathematischen Gesellschaft*. 24, p. 26-28.
- (1910). « ein rechenblatt zur auflosung der gleichung vierten grades mit hilfe des zirkels ». *Wissenschaftliche Beilage zum Jahresbericht der neunten Realschule zu Berlin*. 9.
- GABEL, A. (1934). « Le tokomètre du Dr. B. H. de Jongh ». *Het Verzekerings-Archief*. 15, p. 44-57.
- GARNIER, M. (1918). « Nomogramme de balistique intérieure ».
- GAUD, Fernand (1898). « Communication de M. Fernand Gaud sur le calcul des canalisations ». *Bulletin officiel de la Société technique de l'acétylène*. 15, p. 133-138.
- (1915). « Problèmes à résoudre au moyen des pertes de charge ».
- GERCEVANOFF, Nikolai (1926). « Théorie et pratique des nomogrammes (titre en Russe) ».
- GLOGOLEFF, Nil (1935). « Recueil de Note/articles nomographiques rédigées en Russe ». *L'enseignement mathématique*. 5-6, p. 384-394.
- GOEDSEELS, Pierre (1898a). « Les procédés pour simplifier les calculs ».
- (1898b). « Sur les abaqes à points cotés pour équations à trois et à quatre variables ». *Bulletin de la Société scientifique de Bruxelles*.
- (1898c). « Un nouveau genre d'abaque ». *Bulletin de la Société scientifique de Bruxelles*.
- GORRIERI, Domenico (1896). « Calcolo delle sezioni resitenti per le travi assoggettate a sollecitazione ». *Collegio degli ingegneri ed archiletti in Bologna*.
- GREBEL, A. (1907). « Abaques pour le calcul des conduites de gaz, d'air et d'eau ». *Le génie civil*, p. 407-409.

- GRISON, H. (1891). « Pratique du calcul des planchers », p. 1-16.
- GRONWALL, Thomas Hakon (1903). « Sur les équations entre trois variables représentables par des nomogrammes à points alignés ». *Journal de mathématiques pures et appliquées*. 8, p. 59-102.
- HAK, J. (1921). « Über eine neue art von rechentafeln ». *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik*. 1, p. 154-157.
- (1922a). « Bemerkungen über eine besondere art von rechentafeln ». *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik*. 6, p. 469-472.
- (1922b). « Zur bestimmung der koeffizienten von erwärmungs und abkühlungskurven ». *Elektrotechnik und Maschinenbau*. 47, p. 545-546.
- (1923b). « Quelques applications d'un type de nomogramme à échelles rectilignes ». *Annales des ponts et chaussées*. 4, p. 375-386.
- HALDEN, J. (1910). « Le cercle Halden ».
- HAMMER, E. (1906). « Graphische tachymetertafel für alte kreisteilung ».
- HANSSON, Halvor (1922b). « Sur un procédé nouveau de multiplication des échelles fonctionnelles ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*.
- HAPONOWICZ, Norbert (1913a). « Eine graphische hydraulische tafel ». *Zeitschrift des österreichischen Ingenieur und Architekten Vereines*. 26.
- (1913b). « Wykreslna tablica hydrauliczna ».
- HEBBELYNCK (1899). « Discours de Monseigneur Hebbelynck le jour de l'ouverture des cours de l'université de Louvain », p. 14-42.
- HENDERSON, Lawrence (1924b). « Blood as a psysicochemical system ». *The Journal of Biological Chemistry*. 59, p. 379-431.
- (1931). « Sur une étude nomographique de l'étude du sang ».
- HERBERT, Bell (1916b). « Note on captain Weir's azimuth diagram and its anticipation of a spherical triangle nomogram ». *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*. 36, p. 192-198.
- HERRGOTT, C. (1902). « Notice sur la règle à calculs rectiligne, sans curseur à deux réglettes adjacentes », p. 1-10.
- HERZEN, Edouard (1911). « Abaque des tensions de vapeur d'une solution aqueuse ammoniacale ». *Bulletin mensuel des officiers de réserve d'artillerie de la région de Paris*. 25, p. 154-157.
- HEZLET, R. (1910). « The graphic representation of formulae ». *The Journal of the Royal Artillery*. 36, p. 457-470.

- HEZLET, R.K. (1913). « Nomography or the graphic representation of formulae ».
- HILBERT, David (1900). « Problèmes mathématiques : solutions de l'équation du septième degré ».
- INCONNU (1882). « Essai de plaque de blindage à la Spezzia ». *L'ingénieur*, p. 441-449.
- (1899). « Observations au sujet du traité de nomographie (I) ».
- (1902). « La nomographie dans l'enseignement supérieur ». *L'enseignement mathématique*, p. 295-296.
- (1907). « Le livre d'or : nouvelles ». *Le livre d'or des sciences et de l'industrie française*, p. 7.
- (1910). « Nomographie », p. 1-11.
- (1916a). *Instruction provisoire de tir. Canon de 75 mm contre objectifs aériens*. 1. Ministère de la guerre.
- (1916b). « Règle à calcul pour les corrections atmosphériques du canon de 75 mm. »
- (1917b). « Instruction pour l'emploi des nomogrammes relatifs au calcul des avions et des hélices ».
- (1918). « Carnet de graphiques pour le canon de 75 ».
- (1922). « Carnet de graphiques pour le canon de 155 court Schneider ».
- (1925a). « Cours de nomographie à l'Institut de mathématiques par Fréchet ».
- (1925b). « Nuevo circulo de calculo ».
- (1931). « Abaques pour le calcul des conduites de vapeur d'eau ». *La source froide*, p. 65-72.
- IONESCU, I. (1900). « Nomografia sau teoria tablourilor grafice ». *Buletinul Societății Politecnice*.
- JOITEL, A. (1922a). « Nomogrammes pour les calculs mécaniques des lignes aériennes de transmission d'énergie électrique (I) ». *Revue générale de l'électricité*. 11, p. 949-957.
- (1922c). « Nomogrammes pour les calculs mécaniques des lignes aériennes de transmission d'énergie électrique (II) ». *Revue générale de l'électricité*. 12, p. 5-14.
- JUILLOTOZ (1936). « Note/article sur la représentation par graphique d'équations à 4 variables de la forme $f_1f_2+f_2f_3+f_3f_1+f_4=0$ ».

- KAMBER, F. (1928b). « Le calcul du taux de rendement des obligations remboursables à une date déterminée ». *Bulletin de l'Association des actuaires suisses*. 23, p. 41-55.
- KAUFMANN, August-Robert (1923). « Appareils Kaufmann ».
- KAWRAISKI, W. (1910). « Nomogramme pour déterminer la latitude géographique par la hauteur d'un astre proche du méridien (titre en Russe) ». *Omd. omm. H36 P.A.O.* 7.
- KELLOGG, O.D. (1914). « Nomograms with points in alignment ». *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik*. 63, p. 159-173.
- KOSSAWA, R. (1934). « Tables graphiques concernant les prismes (en Japonais) ». *Tokyo Electric Review*, p. 19-22.
- KRAITCHIK, Maurice (1914). « Le tokomètre Kraitchik ».
- (1918a). « Calendrier perpétuel ».
- (1918b). « Sur quelques applications de la nomographie ».
- (1920). « Les tables graphiques financières ».
- KRAUSS, Fritz (1922). « Die nomographie oder fluchtlinienkunst ».
- KRETSCHMER, Walter (1924). « Über Wanderkurvenblätter ». *Deutschen Uhrmacher-Zeitung*. 36, p. 567.
- (1925a). « Beitrag zur Verwendung der Nomographie in der Eisenbetonrechnung ». *Beton und Eisen*. 24.
- (1925b). « Ueber Wanderkurvenblätter ». *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik*. 5, p. 182-184.
- KRULL, Fritz (1907). « Nomogramme pour le calcul des ressorts hélicoïdaux cylindriques ». *Le génie civil*. 1, p. 394-395.
- LAFAY, A. (1895b). « Abaques relatifs au tir de siège ». *Revue d'artillerie*, p. 65-79.
- (1899a). « Abaques relatifs à la réflexion vitrée ». *Journal de physique théorique et appliquée*. 8, p. 96-102.
- (1901). « Sur la représentation nomographique des formules à trois variables par le procédé des règles à tiroirs ». *Revue d'artillerie*. 58, p. 455-466.
- (1902). « Sur la représentation approchée des équations à trois variables ». *Le génie civil*. 40, 298 et 299.
- LAGOUT, Édouard (1883). « Takitechnie - Règle de Gunter ».
- LAISANT, Charles (1899). « La grande encyclopédie - Nomographie ». *la grande encyclopédie*. 24, p. 1192-1195.

- LALANNE, Léon (1880b). « Méthodes graphiques pour l'expression des lois empiriques ou mathématiques à trois variables ». *Exposition universelle à Melbourne*. 38, p. 350-419.
- LALLEMAND, Charles (1885a). « Abaques hexagonaux ».
- (1885b). « Les abaques hexagonaux, nouvelle méthode générale de calcul graphique », p. 1-122.
- (1922). « Sur la genèse et l'état actuel de la science des abaques ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 174, p. 82-88.
- LANAVE, Louis (1891a). « Note sur les tableaux graphiques et sur leurs applications (III) ». *Revue pratique des travaux publics*. 12, p. 301-312.
- (1891c). « Notice sur les tableaux graphiques et sur leurs applications (I) ». *Revue pratique des travaux publics*. 6, p. 124-136.
- (1891e). « Notice sur les tableaux graphiques et sur leurs applications (II) ». *Revue pratique des travaux publics*. 7, p. 148-164.
- LANGENSKJOLD, N (1900). « Sur l'application des courbes de anamorphose illustrant la relation entre les données de prise de vue principale (titre en Russe) ». 21.
- LARMINAT, Étienne de (1907). « Topographie pratique de reconnaissance et d'exploitation ».
- LAROQUETTE, Miramond de (1913). « Agrandissement et déviation des images radiographiques ». *Bulletin officiel de la Société française d'électrothérapie et de radiologie*, p. 5-11.
- LASKA, Vaclav (1905). « Zur anwendung der nomographie in der vermessungskunde ». *Zeitschrift für Vermessungswesen*. 35.
- (1906). « Theorie des karteneinganges ». *Zeitschrift für Vermessungswesen*. 5.
- LASKA, Vaclav et Francidrek ULKOWSKI (1907). « Sur la nomographie ». *Zeitschrift für Mathematik und Physik*. 54, p. 364-381.
- LÁSKI, Dra W. (1906). « O dwóch nomogramach tachymetrycznych ». *Czasopismo Techniczne*. 24, p. 217-220.
- (1938). « Construction et emploi du conjugateur nomographique ». *Revue des troupes coloniales*. 249, p. 351-363.
- LE BRUN, Raymon (1886). « Mémoire sur l'application des règles logarithmiques au calcul des terrassements ». *Mémoires de la Société des ingénieurs civils de France*. 2, p. 152-218.

- LEBREC, Léon (1906b). « Béton armé - Méthode rapide de vérification des sections fléchies ».
- LELARGE, H. (1906b). « Méthodes téléphotographiques ». *Revue du génie militaire*. (date approximative), 193-230 et 293-324.
- LUCKEY, Paul (1918). « Nomogramme für den Zustand der Luft ». *Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht*. 31, p. 177-181.
- (1920). « Graphische Rechentafel für den Zustand von Gasen ». *Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht*. 33, p. 128-131.
- (1922). « Sonnenkompass und ortszeitsucher ». *Sirius*, p. 60-61.
- (1923a). « Nomographische Darstellungsmöglichkeiten ». *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik*. 3, p. 44-59.
- (1923c). « Zur älteren Geschichte der Nomographie ». *Unterrichtsblätter für Mathematik und Naturwissenschaften*. 5 et 6, p. 54-59.
- (1924b). « Die Verstreckung und die nomographische Ordnung ». *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik*. 4, p. 61-80.
- (1924d). « Grundlagen der nomographie ». *Maschinenbau*. 17, p. 603.
- (1925a). « Die Flächenschieber oder zweidimensionalen ebenen Rechenschieber ». *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik*. 5, p. 254-262.
- (1925b). « Nomogramme für die Oberfläche des Quaders ». *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik*. 5, p. 262-267.
- (1926). « Nomogramme für kapitaltilgungen ». *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik*. 6, p. 327-329.
- (1927a). « Das analemma von Ptolemäus ». *Astronomische Nachrichten*. 230, p. 17-46.
- (1927b). « Ueber graphische rechentafeln mit einer frei beweglichen leiter ». *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik*. 7, p. 155-158.
- (1927c). « Zur geschichte der nomographie ». *Zeitschrift für mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht*, p. 455-466.
- LUKÁCS, Eugen (1930). « Anwendung der mehrdimensionalen darstellenden Geometrie auf Nomographie ». *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik*. 10, p. 501-508.
- (1932). « Über zwei theoretische fragen der nomographie ». *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik*. 12, p. 244-251.

- MANDL, Julius (1893b). « Diagramm für frei aufliegende hölzerne balken und gewalzte eisenträger ». *Mitteilungen über Gegenstände des Artillerie und Geniewesens*.
- MARGOULIS, Vladimir (1922). « Les abaques à transparent orienté ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 174, p. 1684-1686.
- (1923). « Sur la théorie générale de la représentation des équations au moyen d'éléments mobiles ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 176, p. 824-826.
- MARQUET, Eugène (1919). « Tables à calculer à l'usage des techniciens et des étudiants ».
- MASSAU, Junius (1907). « Sur la représentation des équations entières de degrés quelconques ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*.
- MAZEROLLE, L. (1906). « Note sur la forme du profil en travers des chaussées ».
- МЕЙМКЕ, Rudolph (1893b). « Courts articles sur le calcul graphique dans une revue allemande ». *Katalog mathematischer und mathematisch-physikalischer Modelle und, Apparate und Instrumente*.
- (1896c). « Über einen apparat zur auflösung numerischer gleichungen mit vier oder fünf gliedern ». *Zeitschrift für Mathematik und Physik*. 6, p. 338-340.
- (1897). « Beispiele graphischer tafeln, mit bemerkungen über die methode der fluchtrechten punkte ». *Zeitschrift für Mathematik und Physik*. 44, p. 56-65.
- (1898c). « Über die mathematische Bestimmung der Helligkeit in Räumen mit Tagesbeleuchtung, insbesondere Gemäldesälen mit Deckenlicht ». *Zeitschrift für Mathematik und Physik*. 43, p. 43-57.
- (1902a). « If. numerisches rechnen ». *Encyklopädie der mathematischen Wissenschaften*, p. 938-1079.
- MERINO, Miguel (1904). « Programa de premios para el concurso del ano 1904 ».
- MERTEN, A. (1910). « Sur un mode de décomposition des équations définissant une fonction de plus de deux variables indépendantes ». *Annales de la Société scientifique de Bruxelles*.
- MILLOT, Stanislas (1907). « Notice sur deux abaques pour problèmes de tactique navale ». *Revue maritime*. 175, p. 269-289.
- (1910b). « Guide de poche pour l'emploi de la règle à calcul fournissant instantanément 328 procédés pour résoudre 172 formules ».
- (1912c). « Les abaques ou nomogrammes ». *Le journal général de l'Algérie et de la Tunisie*. 2942.

- (1912d). « Les procédés usuels de calcul ». *Le journal général de l'Algérie et de la Tunisie*. 2925.
- (1912e). « Les procédés usuels de calcul ». *Le journal général de l'Algérie et de la Tunisie*. 2940.
- (1913b). « Calculs pratiques relatifs aux puits artésiens (I) ». *Le journal général de l'Algérie et de la Tunisie*. 2948.
- (1913c). « Calculs pratiques relatifs aux puits artésiens (II) ». *Le journal général de l'Algérie et de la Tunisie*. 2946.
- (1914a). « Les mouvements de poids lourds - Abaque pour le calcul de b ». *Les mouvements de poids lourds*, p. 27-30.
- (1919). « Calculs pratiques relatifs aux puits artésiens ».
- (1930). « Règle pour alignements nomographiques », p. 36-38.
- MINNAERT, E. (1921a). « Note sur la représentation des équations linéaires par rapport à quatre variables ». *Annales de l'Association des ingénieurs sortis des écoles spéciales de Gand*. 11.
- MÖBLENBRUCK, H. (1904). « Tabelle universelle pour tours à fileter ».
- MOOSHAKE, Rudolp (1937). « Anwendung der Nomographie in Rohrwälzwerken ». *Stahl und Eisen*. 57, p. 649-656.
- MORTON, W.B. (1916). « An application of nomography to a case of discontinuous motion of a liquid ». *Philosophical Magazine*. 31, p. 130-138.
- MOUNIER, J. (1920b). « Les graphiques du patron donnant une solution immédiate approchée de tous les problèmes de Banque, Intérêts, Escompte, Prix de vente, Placements ».
- MUYDEN, Aloys van (1884b). « Abaque logarithmique pour le calcul des conduites d'eau sous pression ». *Bulletin des ingénieurs et des architectes*.
- (1910). « Sur un mode de décomposition des équations définissant une fonction de plus de deux variables indépendantes ». *Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes*.
- NEKRASSOFF, V.A. (1930). « Nomography in applications of statistics ». *The Bell System Technical Journal*. 8.
- NIJLAND, A.A. (1891). « Logarithmische Coördinaten ». *Nieuw Archief voor Wetkunde*. 19, p. 35-66.
- NUNEZ, Garcia (1000). « Escalas de transportadores - systema garcia nunez ».
- NYSTRÖM, E. (1931b). « Über die Anwendung nomographischer Methoden in der sphärischen Trigonometrie ». *Commentationes Physico-Mathematicae*. 15.

- NYSTRÖM, Evert Johannes (1935a). « Nomografiska metoder i den använda matematiken ». *Societas scientiarum fennica - Arsko*. 8.
- (1935b). « Praktische Auswertung von elliptischen Integralen dritter Gattung ». *Commentationes Physico-Mathematicae*. 8.
- (1937). « Nomogramme zue konstruktion von kettenlinien ». *Commentationes Physico-Mathematicae*. 9.
- OCAGNE, Maurice d' (1884). « Procédé nouveau de calcul graphique ». *Annales des ponts et chaussées*, p. 531-540.
- (1890a). « Abaques pour les calculs de terrassements ».
- (1890b). « Méthode de Nomographie fondée sur l'emploi des coordonnées parallèles ». *Le génie civil*. 17, p. 343-344.
- (1891b). *Nomographie. Les calculs usuels effectués au moyen des abaques*. Gauthier-Villars et fils, Paris.
- (1891c). « Représentation graphique des lois à un nombre quelconque de variables ». *Revue générale des sciences pures et appliquées*. 18, p. 604-608.
- (1892a). « Le calcul sans opérations - La nomographie ». *Revue des questions scientifiques*, p. 48-83.
- (1893a). « Complément à la méthode nomographie récemment décrite, en vue de l'introduction d'une variable de plus ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 117, p. 277-278.
- (1893c). « Les abaques de remblai et de déblai construits au moyen de la méthode des points isoplèthes ». *Annales des ponts et chaussées*. 8, p. 467-479.
- (1893d). « Problème d'algèbre relatif à la nomographie ». *Nouvelles annales de mathématiques*. 12, p. 469-476.
- (1893e). « Sur les équations représentables par trois systèmes rectilignes de points isoplèthes ». *Compte rendu du congrès international des mathématiciens*, p. 258-271.
- (1893f). « Sur une méthode nomographique applicable à des équations pouvant contenir jusqu'à dix variables ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 117, p. 216-219.
- (1893g). « Vier verschiedene Abacus von Maurice Ocagne, M. » *Katalog mathematischer und physikalischer Modelle und Apparate und Instrumente*. 3, p. 162-163.
- (1894a). « Abaque en points isoplèthes de l'équation de Képler ». *Bulletin de la Société mathématique de France*. 22, p. 197-204.

- (1894c). « Abaque général de la trigonométrie sphérique ». *Bulletin astronomique*. 11, p. 5-16.
- (1894d). « Conférences sur la nomographie ».
- (1896a). « Abaque de l'équation des marées diurnes et semi-diurnes ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 122, p. 298-300.
- (1896b). « Application générale de la nomographie au calcul des profils de remblai et déblai ».
- (1896f). « Sur l'emploi des systèmes réguliers de points cotés dans la représentation des équations ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 123, p. 1254-1255.
- (1896g). « Sur la représentation nomographique des équations du second degré à trois variables ». *Bulletin de la Société mathématique de France*. 24, p. 81-84.
- (1896h). « Sur la représentation par des droites et par des cercles des équations du second degré à trois variables ». *Bulletin de la Société physico-mathématique de Kasan*. 6.
- (1896i). « Sur les équations représentables par trois linéaires de points cotés ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 123, p. 988-990.
- (1897a). « Application de la méthode des points cotés ». *Le génie civil*. 32, p. 14.
- (1897b). « Liste d'articles sur la nomographie technique ».
- (1897c). « Théorie des équations représentables par trois systèmes linéaires de points cotés ». *Acta Mathematica*. 21, p. 301-329.
- (1898b). « Abaque de la nouvelle formule de M. Bazin relative aux canaux découverts ». *Annales des ponts et chaussées*, p. 304-314.
- (1898c). « Application de la méthode nomographique la plus générale résultant de la superposition de deux plans aux équations à trois ou quatre variables ». *Bulletin de la Société mathématique de France*. 26, p. 16-43.
- (1898d). « Rapport sur les abaques à transversale quelconque ». *Bulletin de la Société scientifique de Bruxelles*.
- (1898e). « Sur la méthode nomographique la plus générale résultant de la position relative de deux plans superposés. » *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 126, p. 397-399.
- (1898f). « Sur les questions de mathématiques pures que soulève l'étude de la Nomographie à points alignés ». *Bulletin des sciences mathématiques*. 22.

- OCAGNE, Maurice d' (1898g). « Sur les types les plus généraux d'équations représentables par trois systèmes de cercles ou de droites cotés ». *Zeitschrift für Mathematik und Physik*. 43, p. 269-276.
- (1898i). « Sur quelques applications pratiques de la méthode des points cotés ». *Revue générale des sciences pures et appliquées*. 9, p. 116-119.
- (1899a). « Envoi de traités de nomographie ».
- (1899c). « Traité de nomographie (MO) ».
- (1900a). « La nomographie dans l'enseignement ». *L'enseignement mathématique*. 3, p. 207-210.
- (1900b). « Préface de Maurice Ocagne, M. à un ouvrage de Margoulis ».
- (1900c). « Sur l'application de la nomographie à la prédication des occultations d'étoiles par la Lune ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 131, p. 554-556.
- (1900d). « Sur la résolution nomographique de l'équation du septième degré ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 131, p. 522-524.
- (1900e). « Sur les divers modes d'application de la méthode graphique à l'art du calcul ». *Compte rendu du congrès international des mathématiciens*, p. 419-424.
- (1900g). « Sur quelques principes élémentaires de nomographie ». *Bulletin des sciences mathématiques*. 24.
- (1900h). « Sur quelques principes élémentaires de nomographie », p. 286-304.
- (1901). « Sobre algunos principios elementales de nomografia ». *La Naturaleza*. 12, p. 363-390.
- (1902a). « Sopra alcuni principi elementari di nomografia ». *Periodico di matematica per l'insegnamento secondario*. 4, p. 247-262.
- (1902b). « sur la pénétration de la nomographie dans l'enseignement des écoles techniques ». *Bulletin des sciences mathématiques*. 26, p. 80-82.
- (1902c). « Sur la résolution nomographique des équations algébriques ». *Nouvelles annales de mathématiques*. 2, p. 49-57.
- (1902e). « Sur la résolution nomographique du triangle de position pour une latitude donnée ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 135, p. 728-730.
- (1902f). « Sur quelques travaux récents relatifs à la nomographie ». *Nouvelles annales de mathématiques*. 26, p. 67-79.
- (1903a). « Bibliographie des points cotés ».

- (1903b). « Coup d'oeil sur la théorie la plus générale de la nomographie ». *Comptes rendus de l'Association française pour l'avancement des sciences*.
- (1903c). « Exposé synthétique des principes fondamentaux de la nomographie ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 8.
- (1903d). « Sur une classification nouvelle des modes de représentations nomographiques des équations à un nombre quelconque de variables ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 136, p. 33-35.
- (1903e). « Uber einige elementare grundgedanken der nomographie ». *Archiv der mathematik und physik*, p. 70-84.
- (1904e). « Sur la résolution nomographique des triangles sphériques ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 138, p. 70-73.
- (1904g). « Sur la résolution nomographique générale des triangles sphériques ». *Bulletin de la Société mathématique de France*. 32, p. 196-203.
- (1905a). « Conférences sur la nomographie ».
- (1905d). « Sur la méthode graphique des points alignés ». *Comptes rendus de l'Association française pour l'avancement des sciences*.
- (1906a). « Condition d'une équation pour être représentable par un nomogramme ».
- (1906c). « Nomogrammes de remblais et déblais ».
- (1906e). « Sur un théorème de J. Clark ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 142, p. 988-990.
- (1907a). « Les progrès récents de la méthode nomographique des points alignés ». *Revue générale des sciences pures et appliquées*. 10, p. 392-395.
- (1907d). « Sur la représentation d'ordre nomographique 3 la plus générale par un nomogramme conique ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 144, p. 895-898.
- (1907e). « Sur la représentation des équations d'ordre nomographique 4 à 3 et 4 variables ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 144, p. 1027-1029.
- (1907f). « Sur la représentation par points alignés de l'équation d'ordre nomographique 3 la plus générale ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 144, p. 190-192.
- (1907g). « Sur les équations d'ordre nomographique 3 et 4 ». *Bulletin de la Société mathématique de France*. 35, p. 173-195.
- (1909). « Sur la représentation nomographique des équations à quatre variables ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 148, p. 1244-1247.

- OCAGNE, Maurice d' (1910a). « Abaque de l'équation $z^3+nz^2+pz+q=0$ ».
- (1910b). « Applications de la méthode nomographique de M. d'Ocagne ». Liste. France.
 - (1910f). « Sur le tracé pratique de certaines courbes transcendentes utilisables dans la construction des ponts ». *Annales des ponts et chaussées*. 46, p. 114-128.
 - (1910g). « Sur les applications techniques de la méthode nomographique des points alignés ».
 - (1911a). « Application de la méthode des points alignés au calcul des poutres en béton armé ». *Annales des ponts et chaussées*, p. 432-435.
 - (1911b). « Construction du nomogramme représentatif du mouvement varié d'un navire donné entre des vitesses données ». *Bulletin de l'Association technique maritime*.
 - (1911c). « Détermination nomographique du chemin parcouru par un navire en cours de mouvement varié ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 152, p. 506-511.
 - (1912). « Sur la réduction des équations à trois variables aux formes canoniques que comporte la méthode des points alignés ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 155, p. 1140-1141.
 - (1913b). « Sur l'application générale de la méthode des points alignés aux problèmes qui se ramènent à des résolutions de triangles sphériques ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 156, p. 1593-1596.
 - (1914b). « Sur le tracé pratique de certaines courbes transcendentes ». *Annales des ponts et chaussées*. 19, p. 160-162.
 - (1916). « Deux conférences sur la nomographie (I) ». *L'enseignement mathématique*. 18.
 - (1917b). « Composition de nomographie ».
 - (1917e). « Deux conférences sur la nomographie (II) ». *L'enseignement mathématique*. 19.
 - (1917f). « Exercices corrigés de nomographie ».
 - (1918a). « Cours de géométrie - Nomographie », p. 268-314.
 - (1919a). « Note sur la construction des tables graphiques de tir », p. 18.
 - (1919c). « Principes usuels de nomographie avec application à divers problèmes concernant l'artillerie et l'aéronautique ».
 - (1921c). « Liste des envois de nomogrammes pendant la guerre ».

- (1922a). « Coup d'oeil sur les principes fondamentaux de la nomographie ». *Revue générale des sciences pures et appliquées*, p. 3-12.
 - (1922c). « Sur l'examen comparatif de diverses méthodes nomographiques ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 174, p. 355-356.
 - (1922d). « Sur la réduction de la quatrième dimension à une représentation plane ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 174, p. 146-149.
 - (1922e). « Sur les nomogrammes à transparent orienté ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 174, p. 1664-1670.
 - (1923). « Sur les équations à quatre variables représentables à la fois par simple et par double alignement ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 176, p. 1273-1278.
 - (1925a). « Esquisse d'ensemble de la nomographie ». *Mémorial des sciences mathématiques*. 4, p. 1-68.
 - (1925c). « Sur les procédés de simplification du calcul dérivés de la mécanique et de la géométrie », p. 353-375.
 - (1926). « Sur la classification d'ensemble de tous les procédés dérivés de la géométrie mécanique ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 182, p. 191-194.
 - (1931). « Origine et état présent de la nomographie ». *Barometro economico*.
 - (1932b). « La nomographie ». *Barometro economico*. 34, p. 66-67.
 - (1932c). « Liste d'auteurs de nomographie ».
 - (1937a). « Calcul graphique ». *Larousse mensuel illustré*. 370, p. 859-861.
 - (1937b). « Les variétés de l'art du calcul ». *Larousse mensuel illustré*. 366, p. 757-760.
 - (1938). « Calcul nomographique ». *Larousse mensuel illustré*. 372, p. 29-32.
- OCAGNE, Maurice d' (1917). « Construction du nomogramme de corrections atmosphériques ».
- OLLERO, D. (1903). « Nomografia balistica ».
- PAGÉZY, E. (1916). « Note sur l'observation latérale ».
- PALM, Franz Wilhelm (1931a). « Geometrische untersuchung von graphischen tafeln zur auflosung der vol.lstandigen kubischen gleichungen ». *Sitzungsberichten der Akademie der Wissenschaften in Wien*. 140, p. 521-543.

- PALM, Franz Wilhelm (1931b). « Über die nomographische auflösung der gleichungen vierten, fünften und sechsten grades und die den gleichungen zugeordneten regelflächen ». *Sitzungsberichten der Akademie der Wissenschaften in Wien*. 140, p. 453-479.
- PASQUIER, Ern (1899b). « De la nomographie et de la nécessité de l'introduire dans l'enseignement ». *L'enseignement mathématique*. 5, p. 350-357.
- PASTERNAK, P. (1927). « Die graphische Berechnung des kontinuierlichen Trägers auf elastisch drehbaren Stützen nach räumlichen Massenschwerpunktverfahren ». *Der Bauingenieur*. 47, p. 869-873.
- PAULIN, Honoré (1889b). « Nouvelle méthode graphique pour le calcul des surfaces de profil en travers ». *Portefeuille de la Société des conducteurs des ponts et chaussées et des gardes-mines*. 8.
- (1889d). « Règle pour le calcul des surfaces des profils en travers ». *Portefeuille de la Société des conducteurs des ponts et chaussées et des gardes-mines*. 5, p. 133-145.
- PERRET, Eugène (1904c). « Sur quelques applications de la nomographie à l'astronomie nautique ». *Annales hydrographiques*, p. 170-199.
- (1905a). « Le calcul simplifié ».
- (1905b). « Nomogrammes à points alignés pour la préparation des observations circommériennes à l'astrolabe à prisme ». *Annales hydrographiques*.
- (1905d). « Note sur la construction d'un nomogramme à points alignés pour le calcul de l'équation des hauteurs correspondantes du soleil ». *Revue maritime*. 165, p. 48-54.
- (1905f). « Sur l'application de la nomographie aux principales tables nautiques ». *Comptes rendus de l'Association française pour l'avancement des sciences*. Cherbourg.
- PERRODIL, Gros de (1885). « Théorie de la règle logarithmique », p. 1-30.
- PESCI, Giuseppe (1896). « Sulla costruzione della curva di ricerca ». *Rivista marittima*, p. 5-8.
- (1897e). « Sul calcolo delle distanze in mare ». *Rivista marittima*, p. 5-8.
- (1897g). « Sul metodi per cambiare il rilevamento tra di una formazione semplice ». *Rivista marittima*.
- (1898a). « Abbaco per il calcolo della latitudine mediante un altezza circummeridiana ». *Rivista marittima*.
- (1898b). « Quarto contributo alla cinematica navale ». *Rivista marittima*, p. 5-8.

- (1899a). « Application de la nomographie au jaugeage des tonneaux ». *Le génie civil*. 35, p. 41.
- (1899c). « Cenni di nomografia con molte applicazioni alla balistica. Parte prima ». *Rivista marittima*.
- (1899e). « Sul calcolo delle distanze in mare ». *Rivista marittima*.
- (1900b). « Cenni di nomografia con molte applicazioni alla balistica. Parte seconda ». *Rivista marittima*.
- (1900d). « Costruzione elementare di due abbachi trigonometrici ». *Supplemento al periodico di matematica*. 6-7.
- (1900e). « Su di un regolo calcolatore della differenza fra l'altezza meridiana e circummeridiana di un astro ». *La corrispondenza*. 11.
- (1901). « Cenni di nomografia ». *Manuale del tiro*.
- (1903b). « Pubblicazioni dell'autore Pesci ».
- (1904a). « Alcune recensioni del trattato elementare di trigonometria piana e sferica ». *Supplemento al bollettino mensile della libreria gusto*.
- (1905b). « Sobre nomografia elemental ». *Revista trimestrial de matematicas*. 5, p. 138-161.
- (1906b). « Sulle operazioni fra numeri decimali approssimati ». *Periodico di matematica per l'insegnamento secondario*. 19-20.
- (1907). « Sull'usoe sulle tavole del valori naturali delle funzioni trigonometriche ». *Periodico di matematica per l'insegnamento secondario*. 21.
- (1908a). « Las tablas gráficas de Luyando ». *Anales de la facultad de ciencias de Zaragoza*, p. 153-160, 233-240.
- (1909b). « Cenni sulla risoluzione del triangolo di posizione senza calcoli trigonometrici ». *Rivista marittima*. 42, p. 317-328.
- (1910a). « A nomogram for compass deviations, with an elementary exposition on the two parallel scale nomograms ». *United States Naval Institute proceedings*, p. 1043-1058.
- (1910c). « Sulla risoluzione del triangolo sferici ». *Supplemento al periodico di matematica*. 6.
- (1911b). « Metodo grafico per determinare l'altezza degli aeroplani ». *Rivista tecnica di aeronautica*. 3.
- (1924a). « Abbachi psicrometrici e barometrici (I) ». *Bollettino della Societa meteorologica italiana*. 7-9.

- PESCI, Giuseppe (1924b). « Abbachi psicrometrici e barometrici (II) ». *Bollettino della Societa meteorologica italiana*. 10-12.
- PIGAL, L.A.P. (1851). « Calcul des terrassements - Abrégé au moyen de la règle logarithmique ».
- PILLET, J.-J. (1908). « Sur les procédés de photosculture imaginés par M. Cardin ». *Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale*, p. 5-23.
- POIRCUITTE, S^t (1919). « Théorie du bombardement aérien ». *Bulletin de la section technique de l'aéronautique militaire*, p. 1-19.
- POTIN, Louis (1911b). « Calcul de la hauteur atteinte par un aéroplane ». *La technique moderne*, p. 96-97.
- (1911d). « Nomogramme du moment d'inertie du rectangle ». *Revue de mécanique*, p. 245-247.
- (1911e). « Nouvelle formule des salaires et application au cas de l'entretien des voies de chemins de fer ». *La technique moderne*. 3, p. 488-489.
- (1911f). « Résolution nomographique des triangles rectilignes ». *L'ingénieur-constructeur de travaux publics*. 7, p. 329-337.
- (1911h). « Solutions nomographiques de questions relatives aux chemins de fer ». *Annales des ponts et chaussées*. 3, p. 697-710.
- (1911j). « Vérification et régularisation du tracé des courbes des voies de chemin de fer ».
- (1912a). « Calcul à vue des lignes aériennes par l'emploi de nomogrammes à points alignés ». *La technique moderne*. 8.
- (1916b). « Nomogrammes de balistique extérieure ».
- (1926b). « Sur une application de la nomographie au calcul des capitaux constitutifs des rentes ». *Bulletin de l'Institut des actuaires français*. 127, p. 144-155.
- (1928b). « Calcul à vue de la constante d'Ambard ». *Bulletin général de thérapeutique*. 179, p. 158-160.
- (1928d). « Remarques sur l'utilisation des graphiques logarithmiques ». *Revue générale des sciences pures et appliquées*. 39, p. 575-576.
- POUECH, Paul (1900). « Nouveau cercle à calculs ».
- POULAIN, A. (1894). « Le papier logarithmique ». *Cosmos*.
- PROELL, R. (1906). « zur theorie der linientafeln ».
- PROVOST, Anadré (1937). « Sur la construction des arcs de fin de trajectoires et la résolution du problème des coups fusants hauts ». *Revue d'artillerie*. 120.

- PROVOST, André (1930b). « Note sur les primes aux bonnes pesées pour le paquetage des scaferlatis ». *Mémorial des manufactures de l'état*. 6, p. 423-455.
- QUIQUET, A. (1893). « Note sur la détermination graphique de l'âge moyen d'une assurance sur deux têtes ». *Bulletin de l'Institut des actuaires français*. 13, p. 90-95.
- (1897b). « Sur trois modes de réduction graphique des assurances mixtes aux assurances en cas de décès ». *Bulletin de l'Institut des actuaires français*. 29.
- RADAU, Rodolphe (1894a). « Résumé des moyens de calcul numérique ». *Bulletin astronomique*.
- RADLER DE AQUINO, Francisco (1906). « Limites de coincidência da recta Marcq St Hilaire com a curva de posição correspondente ». *Revista marítima Brasileira*, p. 41-55.
- (1908). « Nomograms for deducing altitude and azimuth and for identification and fishing course and distance in great circle sailing ». *United States Naval Institute Proceedings*. 34, p. 633.
- RAM, Lala Ganga (1886). « Calculating scales for engineers, architects, builders and contractors ».
- RATEAU (1897). « Abaque des consommations théoriques d'une machine à vapeur ». *Annales des mines*. 11, p. 242-250.
- RAVIZÉ, H. (1928). « Le calcul des pièces fléchies et comprimées en béton armé ». *Le génie civil*. 93, p. 135-138.
- RICARDO, Gaspar (1918). « Solução do problema da tracção e do material, por meio de abacos a triplo alinhamento ». *Boletim do Instituto de Engenharia*. 2, p. 75-83.
- RICCI, Giuliano (1900). « La nomografia ». *Rivista d'artiglieria e genio*. 3-4, p. 1-99.
- RIDET, Jacques (1913). « Nomogramme de M.J.Eichhorn pour les propriétés de la vapeur ». *La technique moderne*. 12, 440 et 441.
- RIEGER, J. (1919). « Abaky zelbetu - 25 presnych grafickych tabulek ».
- RONNEAUX (1917b). *Annexe 1 aux tables de tir du canon de 75 Mle 1897. Tables de tir sommaires et abaques pour le calcul de la variation globale de portée correspondant aux conditions du tir du moment*. Nomographie. France : Français.
- ROSAMBERT, Ch. (1902). « De l'influence des cendres et de l'humidité sur la valeur métallurgique des cokes de hauts-fourneaux ». *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, p. 3-22.
- ROUCHÉ, Eugène (1900). « Résumé du traité de nomographie de 1899 ». *Nouvelles annales de mathématiques*. 19, p. 85-90.

- ROULLET, Henry (1929b). « Les abaques à points alignés dans le domaine de l'hydraulique ». *Annales des ponts et chaussées*. 4, p. 62-77.
- ROULLEUX, Maurice (1927). « Heat transfer alignment charts ». *Chemical and Metallurgical Engineering*. 34.
- RUDOLPH, Emil et Siegmund SAIRTES (1913). « Nomographische bestimmung des epizentrums ». *Petermann's geographische Mitteilungen*. 59, p. 249-252.
- RUNGE, Carlo (1912). « The mathematical training of the physicist in the university ». *Compte rendu du congrès international des mathématiciens*. Cambridge.
- RYBNER, Joergen (1930). « Nomograms. A summary of their theory and a description of their use for complex hyperbolic functions and for conversion between rectangular and polar coordinates ». *General Electric Review*, p. 164-179.
- SANDEN, V. (1924). « Graphischer rentabilitätsvergleich für Frachtschiffe ». *Werft Reederei Hafen*. 5, p. 256-258.
- SAVARIT, C.M. (1934). « Le cinquantenaire des abaques ». *L'écho de Paris*, p. 4.
- SCHILLILG, Friedrich (1900). « Über die nomographie von M. Ocagne, M. »
- SCHOOFS, G. (1910). « Théorie élémentaire des abaques à transversales ». *Annales des travaux publics de Belgique*.
- SCHREIBER, Paul (1924). « Die anwendbarkeit der flächennomographie ». *Maschinenbau*. 17, p. 604.
- SECTION TECHNIQUE D'ARTILLERIE (1918). « Balistique intérieure - Formules de Gossot-Liouville ».
- SEILIGER, Myrin (1924). « Geradlinige fluchttafel für wasserdampf ». *Maschinenbau*. 11, p. 362-364.
- SEILIGER, Myron (1924a). « Geradlinige fluchttafeln für gase und dampfluftgemische ». *Maschinenbau*. 17, p. 601-603.
- SERVICES DE GUERRE DU PERSONNEL DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE (1919). « Services militaires et scientifiques de Maurice d'Ocagne pendant la guerre ».
- SILLARD, J. (1934). « Note sur un type de profilomètre ». *Revue du génie militaire*. 73, p. 272-292.
- SIVADE, André (1907). « Prisme-abaque donnant les corrections du tir sur objectifs aériens ».
- SOREAU, Rodolphe (1900b). « Nomographie et ses application à l'art de l'ingénieur ». *Le moniteur industriel*, p. 166.
- (1906b). « Nouveaux abaques - La capacité et la valence en nomographie ». *Mémoires de la Société des ingénieurs civils de France*. 86.

- (1906c). « Nouveaux types d'abaques - Application des procédés nomographiques à la recherche des formules de lois ». *Mémoires de la Société des ingénieurs civils de France*. 94, p. 126-128.
 - (1907b). « Représentation du fonctionnement théorique des gazogènes au coke ». *Mémoires et compte rendu des travaux de la Société des ingénieurs civils de France*. 88, p. 692-700.
 - (1912a). « Abaque de la formule de Bach pour l'épaisseur des tôles des foyers cylindriques ». *Revue de mécanique*. 30, p. 267-271.
 - (1912c). « Généralisation de la construction de Massau et abaque pour résoudre les équations de la forme $z^a + n^z b + p^z c + q = 0$ ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 154, p. 686-688.
 - (1912d). « Réduction de $F_{123}=0$ à la forme $f_1 f_3 + f_2 g_3 + h_3 = 0$ ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 155, p. 1065-1067.
 - (1912e). « Résolution graphique de l'équation trinôme à exposants quelconque ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 154, 811 et 812.
 - (1912f). « Sur l'équation à 4 variables d'ordre nomographique 4 ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 154, p. 573-576.
 - (1914). « L'anamorphose ou l'ordre nomographique ». *Mémoires de la Société des ingénieurs civils de France*. 102.
 - (1915). « De l'anamorphose circulaire ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 160, p. 506-508.
 - (1916). « Anamorphose d'une surface topographique ». *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 163, p. 386-388.
 - (1918). « Abaque général pour l'étude des distributions de vapeur ». *Mémoires et compte rendu des travaux de la Société des ingénieurs civils de France*. 107, p. 551-557.
- SOUS-SECRÉTAIRE D'ÉTAT DES INVENTIONS (1917). « Notes sur la préparation et le réglage des tirs ».
- SOUS-SECRÉTAIRE D'ÉTAT DES INVENTIONS, M. le (1917). « Table graphique donnant suivant les conditions atmosphériques l'angle de tir relatif à l'obus explosif de 75 ».
- STABILINI, Giulio (1906a). « Sull'impiego degli abachi grafici all risoluzione del compenso tra lo sterro ed il riportoafici ».
- (1906b). « Sull'impiego degli abachi grafici alla risoluzione del compenso tra lo sterro ed il riporto ».

- STERR, Van der (1912). « Calculation of the reduction $c = h^2/2L$ ». *Journal of the Institute of Land Surveyors of the Transvaal*. 3, p. 146-147.
- SUTTOR, Charles-Eugène (1900). « Cours de nomographie ».
- TANIMURA, T. (1926). « Nomographic calculations of the elastic strength of hooped or wire guns ». *Journal of the Faculty of Engineering, Tokyo*. 17.
- TELFER, E.V. (1923). « Graphical trim calculation and a trim nomogram ». *Transactions of the Royal Institution of Naval Architects*. 65.
- THACHER, E. (1884). « Thacher's calculating instrument or cylindrical slide-rule ».
- TONGAS, Philippe (1930a). « Nomogramme pour trouver la puissance d'une locomotive ».
- (1930b). « Note sur la construction d'un nomogramme permettant de résoudre les problèmes de transformation adiabatique de la vapeur ».
- (1936). « Une détermination graphique du volume spécifique et de la chaleur totale de la vapeur d'eau surchauffée ». *Revue générale des chemins de fer*.
- (1937b). « étude théorique de la marche d'un train. Résolution graphique du cas de la traction avec moteurs à vitesse constante à l'aide d'un nomogramme à points alignés ». *Revue générale de l'électricité*. 41, p. 109-114.
- TOUMANSKI (1934). « Les efforts de suspension dans les ponts suspendus munis de poutres de rigidité ».
- ULKOWSKI, Francidrek (1904). « Wykłady nomografii ».
- (1905a). « O nomografii ». *Czasopismo Techniczne*.
- (1905b). « Tablica do obliczenia diwigarons stropo i balkonono ».
- (1905c). « Tablica wykreslna do obliczania dzwigarow dla stropow i balkonow ». *Czasopismo Techniczne*. 11.
- VAES, Franciscus Johannes (1894). « diagrammen voor freeswerktuigen ». *Rapport annuel de l'Union des Pays-Bas d'experts mécaniques et la construction navale*. Haarlem.
- (1895). « Vereenvoudigd rechtlijnig diagram voor de tandradoverbrenging ».
- (1897c). « Studie over trekkracht van locomotieven en weerstand van treinen ». *De Ingenieur*. 15 et 16, p. 169-176, 185-188.
- (1897d). « Tabellen en diagrammen voor freeswerktuigen ». *Rapport annuel de l'Union des Pays-Bas d'experts mécaniques et la construction navale*. Haarlem.
- (1898a). « Demonstratie van instrumenten voor het bepalen van de tandraden ».

- (1898b). « Drie Rekeninstrumenten ». *De Ingenieur*. 32.
- (1898d). « Vervolg van de studie over trekkracht van locomotieven en weers-
tand van treinen ». *De Ingenieur*. 29.
- (1900b). « Traité de nomographie I ». *Marineblad*. 2, p. 482-522.
- (1900c). « Traité de nomographie II ». *Marineblad*. 3, p. 345-376.
- (1903a). « Berekeningen uitvoerbaar met de rekenliniaal ». *De ingenieur*. 7,
p. 107-113.
- (1903b). « Eenige hulpmiddelen voor het rekenen ». *De Ingenieur*. 6, p. 88-94.
- (1903d). « Rekenplaten voor Ophoogingen en Afgravingen ». *De Ingenieur*. 20.
- (1904a). « Technische rekenplaten ». *De Vergadering van het Koninklijk Instituut
van Ingenieurs Vakafdeelin voor Werktuigen Scheepsbouw*.
- (1904c). « Technishe rekenplaten ».
- (1910). « Applications techniques de la nomographie ».
- (1935). « Détermination nomographique des éclaircissements verticaux et hori-
zontaux dans les voies publiques ». *Revue générale de l'électricité*. 38.
- VANDERVIN, Henri (1892). « Graphique des vitesses et des débits d'un cours d'eau ». *Annales des travaux publics de Belgique*. 1.
- VILLEMARQUÉ, E. de la (1927). « Les méthodes graphiques en astronomie. Appli-
cation au tour de l'équateur ». *Annales de l'observatoire astronomique de Zo-Se*.
14.
- (1933). « Calcul numérique de transformations linéaires par la méthode des
bandes mobiles », p. 1-23.
- (1935b). « Abaques transparents, tournants, à marques mobiles. » *Bulletin de
l'université d'Aurore*. 29.
- VINCENT, J.H. (1898). « On the use of logarithmic coordinates ».
- VOISIN (1876). « Notes sur les expériences de tir qui ont été faites à la Spezzia -
Canon de 100 ». 24.
- VÖLLM, E. (1933). « Ueber fluchtlinientafeln von beziehungen nomographisch
dritter une vierter ordnung ». *Commentarii mathematici helvetici*. 6, p. 118-128.
- VRANIC, Vladimi (1929). « O grafikom rjesavanju jednadzbe treega stepena », p. 998-
1002.
- VRANIC, Vladimir (1930b). « Nomogramm der allgemeinen gleichung dritten grades ». *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik*. 10, p. 623-625.

WARBURG, Erik J. (1927). « A nomogram for haematological use ». *Journal of Internal Medicine*. 66, p. 187-188.

WILLIS, Edouard J. (1933). « The willis graphical solution for altitude ».

WILLOTTE, Henri (1880b). « Note sur la détermination à l'aide de tableaux graphiques des surfaces des profils de terrassements ». *Annales des ponts et chaussées*. 2, p. 303-311.

WOLFF (1903). « Wolff's diagrams for egyptian engineers ».

WÜRTH-MICHA (1905). « Règle à tiroirs pour calculer les distributions de la vapeur ». *Bulletin de la Société des élèves sortis de l'école industrielle de Liège*. 6.

Correspondance des archives

- ABÉLÈS, Lucien (1930a). *Abaque de trigonométrie complète*. Trois lettres.
- ADLER, August (1906). *Graphischer rechnen écrit par Adler*. Une lettre.
- AKAR, André Lazard (1929). *Un nouveau nomogramme et dictionnaire*. Deux lettres.
- ALLIAUME, M. (1922). *À propos du conflit avec Soreau*. Trois lettres.
- ALLIX, E. (1898). *Demande de livre et avis*. Une lettre.
- ANDRÉ, Louis (1894). *Remerciements pour des livres*. Deux lettres.
- ANGLAIS, Ministère (1919). *Remerciements pour une lecture*. Une lettre.
- ANTHOINE (1917). *Demande d'abaques*. Une lettre.
- ARAGO, F. (1907). *Collection d'applications*. Deux lettres.
- ARMEMENT, Ministère de l' (1917). *Décision du rattachement du service au sous-secrétariat des inventions*. Une lettre.
- ARNOUX, Gabriel (1892). *Demande de lecture d'un mémoire à la SMF*. Une lettre.
- ARTILLERIE, Inspecteur général de l' (1921). *Rapport sur l'utilisation des nomogrammes pendant la guerre*. Une lettre.
- AUBRY, Ch. (1913). *Excuses pour avoir oublié de citer Maurice d'Ocagne*. Une lettre.
- AUDEMARD, Louis (1897). *Échanges sur un instrument mécanique*. Trois lettres.
- AUPETIT, A. (1922). *Justification de reproches et livre*. Une lettre.
- AURIEL (1917). *Remerciements pour des abaques pour l'artillerie lourde*. Une lettre.
- BALOGH, Arthur (1936). *Proposition de congrès international de nomographie (I)*. Onze lettres.
- BANAL, Maxime (1896). *Échanges au sujet d'une ellipse*. Une lettre.
- BARANGER, A. (1917). *Remerciements pour des abaques pour la préparation de tirs*. Une lettre.
- BARRELLE (1917). *Remerciements pour des abaques*. Une lettre.

- BARRIOL (1898). *Échanges sur les réglottes de Genaille*. Deux lettres.
- BARY, G. (1918). *Remerciements pour les abaques du 75 et modifications*. Une lettre.
- BATAILLER, H. (1906a). *Balistique des armes portatives*. Une lettre.
- (1906b). *Fonctions empiriques*. Trois lettres.
- BATZ, Antoine de (1908). *Demande d'un exemplaire de nomographie*. Trois lettres.
- BAUME, A. de la (1908). *Abaque du point en ballon*. Une lettre.
- (1909). *Abaque du point en ballon*. Une lettre.
- (1935). *Demande de volume*. Une lettre.
- BAZAINE, A (1895). *Échanges sur des abaques doubles*. Trois lettres.
- BEAUNE (1917). *Apprentissage des abaques aux stagiaires*. Deux lettres.
- BEAUREPAIRE, R. de (1907a). *Adaptation de la nomographie et questions*. Une lettre.
- (1908). *Demande de construction d'un abaque en étoile*. Une lettre.
- BECHMANN, G. (1885). *Renseignements sur un abaque de débit des tuyaux de conduite*. Deux lettres.
- BEGHIN, Maurice (1892c). *Abaque donnant la vitesse d'un train sur un profil donné*. Trois lettres.
- BÉNET, Gabriel (1930). *Demande d'un entretien*. Une lettre.
- BÉNÉTATOS, G. (1928). *Demande de nomogrammes du commerce*. Une lettre.
- BERNARD, P. (1917). *Demande d'abaques du 75*. Une lettre.
- BERTRAND (1903). *Abaque de Pesci, triangle, divers*. Une lettre.
- BIGRANT (1903). *Demande d'entretien à propos de nomogrammes d'astronomie*. Une lettre.
- BILLY, de (1897). *Date de conférence à Bruxelles*. Une lettre.
- BLONDEL, A. (1912). *Demande de droit de réponse de Blondel sur un article de Potin*. Une lettre.
- BLUM, Georges (1917). *Remerciements et demande d'abaques relatifs aux corrections atmosphériques*. Deux lettres.
- BOISSEAU, Paul (1924). *Demande d'entretien à propos de calculs financiers*. Une lettre.
- BONNIN (1924). *Remerciements et demande de papier logarithmique*. Deux lettres.
- BORRATRO, Fietro (1885). *Lien de réciprocité d'Ocagne-Lalanne*. Une lettre.

- (1892). *Échanges sur une communication en Italie sur la nomographie*. Trois lettres.
- BOTHEZAT, Georges (1919). *Problème d'hélices*. Une lettre.
- (1924). *Théorie moderne sur l'aile*. Une lettre.
- BOUGÉ, André (1922). *Remerciements pour des cours*. Une lettre.
- BOUJU (1917). *Demande et Remerciements pour les abaque du 75 et du 155*. Deux lettres.
- BOULAD BEY, Farid (1906b). *Correspondance Boulad 1906*. Huit lettres.
- (1906d). *Méthode des points alignés et coup d'oeil sur la théorie la plus générale de la nomographie*. Huit lettres.
- (1907a). *Correspondance Boulad 1907*. Onze lettres.
- (1908b). *Correspondance Boulad 1908*. Vingt-quatre lettres.
- (1909a). *Correspondance Boulad 1909*. Douze lettres.
- (1909c). *Remarques primitives aux nouveaux théorèmes sur les moments fléchissants maximum dans une poutre de pont*. Une lettre.
- (1910b). *Correspondance Boulad 1910*. Vingt-six lettres.
- (1911c). *Correspondance Boulad 1911*. Quatre lettres.
- (1912a). *Correspondance Boulad 1912*. Douze lettres.
- (1913a). *Correspondance Boulad 1913*. Treize lettres.
- (1914). *Correspondance Boulad 1914*. Trois lettres.
- (1915a). *Correspondance Boulad 1915*. Neuf lettres.
- (1916a). *Correspondance Boulad 1916*. Cinq lettres.
- (1917a). *Correspondance Boulad 1917*. Six lettres.
- (1918). *Correspondance Boulad 1918*. Six lettres.
- (1919a). *Correspondance Boulad 1919*. Treize lettres.
- (1920a). *Correspondance Boulad 1920*. Trois lettres.
- (1921a). *Correspondance Boulad 1921*. Huit lettres.
- (1922a). *Correspondance Boulad 1922*. Dix lettres.
- (1923a). *Correspondance Boulad 1923*. Sept lettres.
- (1924). *Correspondance Boulad 1924*. Quatre lettres.

- BOULAD BEY, Farid (1925a). *Correspondance Boulad 1925*. Sept lettres.
- (1926a). *Correspondance Boulad 1926*. Trois lettres.
- (1927). *Correspondance Boulad 1927*. Deux lettres.
- (1928a). *Correspondance Boulad 1928*. Quatre lettres.
- (1929b). *Correspondance Boulad 1929*. Quatre lettres.
- (1932a). *Correspondance Boulad 1932*. Quatre lettres.
- (1935a). *Demande de promotion au grade d'officier de la Légion d'honneur pour Farid Boulad*. Six lettres.
- (1936a). *Correspondance Boulad 1936*. Deux lettres.
- (1937a). *Correspondance Boulad 1937*. Une lettre.
- (1937b). *Correspondance Boulad 1937*. Trois lettres.
- (1938). *Correspondance Boulad 1938*. Une lettre.
- BOULANGER, A. (1902). *Fonctions elliptiques*. Une lettre.
- BOURGEOIS (1916). *Demande d'abaques pour les triangles sphériques*. Une lettre.
- BOURGIN, A. (1925). *Nomogramme triangulaire*. Une lettre.
- BOURGOGNE (1917). *Demande d'abaque du 75*. Une lettre.
- BOUTILLIER (1896). *Demande de tables graphiques à destination des ingénieurs*. Une lettre.
- BOUTTEVILLE (1904). *Demande d'un abaque particulier*. Une lettre.
- BOUVIER, Ad. (1900). *Demande de réunion de deux abaques*. Une lettre.
- BRANGES, H. de (1917). *Rapport sur les tables graphiques de corrections de tir*. Deux lettres.
- BRÄNLER (1896). *À propos de application générale de la nomographie*. Une lettre.
- BREDOUW, F.E. (1933). *Règle circulaire*. Deux lettres.
- BREGLIA, Ernest (1892). *Traduction des calculs usuels en italien*. Deux lettres.
- BRICARD, Raoul (1925). *Compte rendu remanié en référence à Soreau*. Une lettre.
- BRICAS, Maurice (1920). *Envoi du constructeur de ciment armé*. Une lettre.
- BRILLOUME (s. d.). *Abaque sur l'équation générale du troisième degré*. Une lettre.
- BRITANICA, Encyclopedia (1927). *Lettres de l'encyclopaedia Britannica pour un article de nomographie d'Ocagne*. Huit lettres.

- BRUISSEY, P. (1918). *Lettre entre services*. Une lettre.
- BUISSY (1917). *Compte rendu de l'emploi des tables graphiques de correction de tir pour canon de 75*. Une lettre.
- BUPS, C.V. (1897). *Slide rule*. Une lettre.
- BURKE (1911). *Demande de documents sur les nomogrammes à points alignés*. Une lettre.
- BURMESTER, L (1891). *Compte rendu en Allemagne d'un ouvrage de Maurice d'Ocagne*. Deux lettres.
- BUSSET, P. (1912). *Détermination graphique des sections d'armatures d'une poutre en ciment armé*. Une lettre.
- CAMPMAS (1918). *Utilisation des abaques pour un type de canon différent (155)*. Une lettre.
- CARDIACOS, Georges (1920). *Demande d'abaque à points alignés pour des débits*. Une lettre.
- CARPENTIER, J. (1896). *Abaque d'une lentille selon son diamètre, son épaisseur et le rayon*. Une lettre.
- CARTON, Jean (1923). *Proposition d'un abaque pour la taille*. Une lettre.
- CAU, Marcel (1917b). *Remerciements pour les abaques du 75 et modifications*. Une lettre.
- CAUFOURIER (1911). *Demande d'abaque de déblai et remblai*. Une lettre.
- CHALLÉAT (1917). *Remerciements pour des nomogrammes*. Une lettre.
- (1919). *Autorisation à publier un document*. Une lettre.
- CHANCHAT, L. (1902). *Envoi du livre de Ronca*. Trois lettres.
- CHAPMAN, Henry (1891). *Lecture à l' institution of civil ingenieers d'un volume de Maurice d'Ocagne*. Une lettre.
- CHARBONNIER, P. (1906). *Remerciements multiples*. Trois lettres.
- CHARTIER (1917). *Demande d'abaques pour le 155 et 75*. Une lettre.
- CHAVANE (1917). *Demande d'abaques pour le 75 et remerciements*. Une lettre.
- CHENERIER, Paul Nicolas (1895). *Construction d'abaques pour la construction*. Une lettre.
- CHEYSSON (1891). *Nomographie (difficile à lire)*. Trois lettres.
- CHISCY, E. (1891). *Exemple de table graphique faite avec la théorie de Lalanne*. Une lettre.

- CHISCY, E. (1892). *Demande d'abaque à points doublement isoplèthes*. Une lettre.
- CHOISY, A. (1899). *Remerciements et félicitations pour la nomographie*. Deux lettres.
- (1901). *Remerciements et félicitations pour une synthèse de la nomographie*. Deux lettres.
- CHRÉTIEN, Henry (1922). *Remerciements pour les services à la défense nationale*. Une lettre.
- CLARK, John (1904). *Demande d'appui pour un poste à l'université d'Aberdeen*. Une lettre.
- (1905). *Envoi du mémoire de Clark à d'Ocagne*. Une lettre.
- (1906a). *Demande de modification du mémoire de Clark*. Deux lettres.
- (1906b). *Demande de publication dans les annales des ponts et chaussées*. Deux lettres.
- (1906c). *Notes sur le mémoire de Soreau : Nouveaux types d'abaques*. Une lettre.
- (1906e). *Tentative de placer le mémoire de Clark à l'école polytechnique*. Une lettre.
- (1907a). *Publication compliquée dans la revue de mécanique*. Quatre lettres.
- (1907d). *Valeurs critiques des équations d'ordre 3*. Trois lettres.
- CLERICHI (1896). *Remerciements pour une publication*. Une lettre.
- COBLYN, J.H. (1931). *Note sur les coefficients de transmission de la chaleur*. Une lettre.
- COLLIGNON, Édouard (1891). *Demande de conférences sur les abaques à l'ENPC*. Trois lettres.
- COLOMB, J. (1904). *Demande d'invitation pour une conférence au CNAM*. Une lettre.
- CORBIER (1917). *Remerciements pour des abaques*. Une lettre.
- CORNU (1899). *Échanges sur un abaque de corrections barométriques*. Deux lettres.
- COTTON, A. (1917). *RDV pour une visite de l'atelier de nomographie*. Une lettre.
- COURVILLE (1917). *Demande de formules permettant de construire l'abaque du 155L*. Une lettre.
- COUTURIER (1917). *Demande d'abaques du 75 en tant que commandant*. Une lettre.
- COX, John (1918). *Demande d'abaques, pays anglophone*. Une lettre.
- CREMONA, L. (1891). *Félicitations pour les calculs usuels*. Une lettre.

- CUÉNOT, A. (1935). *Relevé d'une erreur dans le traité de nomographie*. Une lettre.
- CUREY (1898). *Demande d'abaque pour la quantité $Axy + Bx + Cy$* . Une lettre.
- DANA (1917). *Demande d'abaques du 145*. Une lettre.
- DARIÈS, Georges (1894). *Demande de préfaçage*. Trois lettres.
- (1905). *Querelle entre Ocagne et Dariès à propos de paternité*. Six lettres.
- DELEBESQUE, F. (1918). *Remerciements pour l'envoi d'abaques*. Une lettre.
- DELISLE, L. (1897). *Commande du calcul simplifié*. Deux lettres.
- DERUYTS, Jacques (1892). *Remerciements pour les calculs usuels*. Une lettre.
- DESLANDES, H. (1893). *Remerciements*. Une lettre.
- DESSIRIES, P. (1892). *Correction d'une erreur de nomographie*. Une lettre.
- DIENSALO (1893). *Félicitations et remerciements pour le mémoire*. Une lettre.
- DIETRICH (1896). *Remerciements*. Une lettre.
- DREYFUS (1918). *Remerciements pour les abaques du 75 et modifications*. Une lettre.
- DRIENCOURT, H. (1908). *Discussion au sujet des nomogrammes à points alignés de Perret*. Une lettre.
- DUFAY (1917). *Demande de nomogrammes des corrections atmosphériques du canon 77*. Une lettre.
- DUFFO, H. (1929). *Abaque faisant office de rapporteur*. Une lettre.
- DUFOURNY (1910). *Demande d'erratum mettant plus en valeur Ocagne*. Deux lettres.
- DUMAS, G. (1907c). *Statique graphique, abaques de Morel*. Trois lettres.
- (1908). *Demande d'appui pour une chaire de géométrie pour Dumas*. Une lettre.
- DUPORCQ, E. (1898). *À propos des abaques à alignement*. Trois lettres.
- DYCK, W. (1892). *Proposition d'exposition d'abaques en Allemagne*. Une lettre.
- EICHHORN, Melker Johan (1901b). *Publications outre-atlantique*. Deux lettres.
- (1913a). *Envoi de nomogrammes d'Eichhorn*. Une lettre.
- (1919c). *Machine permettant d'imprimer des tables*. Une lettre.
- (1919d). *Perfection de la brochure d'Ocagne*. Une lettre.
- (1921b). *Analyseur harmonique*. Une lettre.
- (1923a). *Corrections à apporter au traité de nomographie*. Une lettre.

- EICHHORN, Melker Johan (1923b). *Note sur les nomogrammes approximatifs*. Quatre lettres.
- (1924). *Modification de démonstration d'un nomogramme à trois échelles rectilignes parallèles selon Ocagne*. Deux lettres.
- ESNOUF, Auguste (1933). *Envoi de nomogrammes de l'île Maurice*. Une lettre.
- ESTIENNE (1916). *Question sur une affaire inconnue*. Une lettre.
- FARRES, L. (1906). *Recherche du Neptune français*. Une lettre.
- FARRÈS, L. (1892). *Diverses propositions de notes sur les abaques*. Six lettres.
- FAVARO, Antonio (1896). *Demande d'ouvrages d'Ocagne*. Une lettre.
- FAVRE, Jean (1931). *Tentative de présentation d'une nouvelle sorte d'abaque*. Deux lettres.
- FERBER (1899a). *Note à propos de superpositions d'abaques*. Une lettre.
- (1899b). *Publication d'une analyse du traité de nomographie*. Une lettre.
- (1907). *Demande d'un lieu où l'on peut trouver du papier logarithmique*. Une lettre.
- FERET, R. (1897). *Échanges à propos d'abaques du ciment*. Trois lettres.
- (1921). *Demande de simplification d'une solution*. Quatre lettres.
- (1924b). *Demande de simplification des échelles d'un nomogramme*. Cinq lettres.
- FETTER (1917a). *Demande de 200 nomogrammes*. Une lettre.
- (1917b). *Demande de nomogrammes pour le 155*. Une lettre.
- FILLOUX, Louis (1917). *Remarques à faire sur le 155*. Une lettre.
- FIQUET, G. (1918). *Tables graphiques pour le 75*. Une lettre.
- FLEURI, G. (1905). *Mémoire de Clark et histoire de la nomographie en Egypte*. Une lettre.
- (1906a). *Ordre nomographique*. Une lettre.
- (1906b). *Point du vocabulaire : nomogramme, abaque, genre et ordre*. Une lettre.
- (1907). *Points critiques*. Une lettre.
- (1915). *Nomographie dans l'aviation technique*. Une lettre.
- FLORIN, R. (1932). *Proposition de règle à calcul*. Une lettre.
- FLOUR (1917). *Demande d'un album d'abaques pour le tir*. Une lettre.

- FONDENAICHE, J. (1911). *Demande d'ouvrage sur les nomogrammes à points alignés*. Deux lettres.
- FORSTALL, A.W. (1906a). *Ouvrage au sujet de règles calculatrices*. Une lettre.
- (1906b). *Proposition de traduction des livres d'Ocagne*. une lettre.
- FOULARD, Ch. (1917). *Graphiques pour correction au tir du 75*. Une lettre.
- FRÉCHET, Maurice (1925). *Remerciements pour les documents et l'attribution d'un prix de statistiques*. Une lettre.
- (1928). *Plainte sur une préface de livre sur la nomographie*. Une lettre.
- (1933). *Félicitations pour l'invention des abaques à points alignés*. Une lettre.
- FROIDEVAUX, J. (1934). *Don d'un calendrier perpétuel règle à calcul*. Une lettre.
- FUJISAWA, R. (1899). *Notes dans le Journal of the engineering society of Japan*. Deux lettres.
- FUNKHOUSER, Howard (1934). *Renseignements pour une thèse sur l'histoire de la nomographie*. Une lettre.
- FÜRLE (1900). *Découverte tardive du traité de nomographie*. Une lettre.
- (1902). *Feuilles d'arithmétique*. Une lettre.
- GABARIAUD, L. (1926). *Applications des abaques à images logarithmiques : règles*. Une lettre.
- GABEL, A. (1933). *Renseignements sur le fait qu'une équation puisse être nomogramme*. Deux lettres.
- GARRIGUES, Damien (1937). *Proposition d'un calendrier perpétuel*. Deux lettres.
- GASCHARD, L (1911). *Demande de nomogramme*. Une lettre.
- GASCOUIN (1917). *Abaques de correction*. Une lettre.
- GERCEVANOFF, Nikolai (1907). *Proposition d'un abaque nouveau à points équidistants*. Quatre lettres.
- (1913). *Publication du mémoire de Gercevanoff dans un journal français*. Trois lettres.
- (1929). *Brochure La théorie et la pratique des nomogrammes de Gercevanoff*. Une lettre.
- GIRODANO (1917). *Abaques de correction atmosphérique*. Deux lettres.
- GLAGOLEFF, Nil (1935a). *Résumés des articles de Glagoleff*. Une lettre.

- GLAGOLEFF, Nil (1935b). *Titre de président honorable du bureau nomographique de Moscou*. Une lettre.
- (1936). *Proposition de congrès international de nomographie (II)*. Quatre lettres.
- (1937). *Télégramme anniversaire et année*. Quatre lettres.
- GODRON, H. (1901). *Présentation d'un abaque pour l'amélioration de la seine*. Deux lettres.
- GOEDSEELS, Pierre (1899a). *Compte rendu du traité de nomographie dans la revue des questions scientifiques*. Deux lettres.
- (1899b). *Mention d'une erreur dans un abaque page 223*. Une lettre.
- (1920). *Paternité de la nomographie*. Deux lettres.
- GOLDSCHMIDT, R. (1917). *Nomogrammes de corrections atmosphériques pour les pièces d'artillerie*. Une lettre.
- GORRIERI, Domenico (1915). *Note sur un applicazione dei nomogrammi esagonali del Lallemand*. Une lettre.
- GOSSOT, F. (1917). *Méthode de représentation des formules de correction pour les canons de 14M*. Une lettre.
- GOURSAO, E. (1904). *Solution à la relation $F(x,y,z,t) = 0$* . Une lettre.
- GRANPIERRE (1918). *Diffusion du nomogramme de la formule de Bazin*. Une lettre.
- GRANSBERG, S. (1934). *Demande de renseignements personnels pour Nrotchek*. Une lettre.
- GREENKINLE, A. (1899). *Diverses lettres de Greenkinle*. Quatre lettres.
- GROFF, Jean (1937). *Communication sur l'emploi de nomogramme pour l'étude de la viscosité des huiles minérales de graissage*. Une lettre.
- GRONWALL, Thomas Hakon (1911). *Demande de publication du mémoire de Gronwall dans le journal de mathématiques*. Deux lettres.
- GUEN, Y.R. le (1921). *Demande d'emploi des nomogrammes pour la comptabilité industrielle*. Une lettre.
- GUIBERT (1910). *Demande d'épures pour une gare*. Une lettre.
- GUIMARAES, Rodolphe (1898a). *Compte rendu de la nomographie dans la revista de obras publicas*. Une lettre.
- (1898b). *Demande des études des charpentes métalliques de la Sorbone*. Une lettre.
- HAK, J. (1923a). *Don de nomogrammes à échelles rectilignes*. Une lettre.

- (1924). *Remerciements pour l'aide apportée*. Deux lettres.
- HAMY (1930). *Demande d'aide pour un nomogramme*. Une lettre.
- HANDAILLE (1917). *Nomogrammes pour le canon de 75*. Une lettre.
- HANSSON, Halvor (1922a). *Échanges sur des nomogrammes construits pour la section géodésique de Norvège*. Quatre lettres.
- HENDERSON, Lawrence (1924c). *Conférence faite en France non inédite*. Deux lettres.
- (1928). *Publication d'un livre de nomographie à traduire*. Une lettre.
- HÉRICOURY (1899). *Demande d'analyse du traité de nomographie*. Deux lettres.
- HERNER (1910). *À propos du traité de nomographie*. Une lettre.
- HERR, Frédéric-Georges (1918). *Demande de 100 nomogrammes pour le 155*. Une lettre.
- (1921). *Témoignage favorable à l'entrée à l'académie des sciences de d'Ocagne*. Trois lettres.
- HERRES, Laurence J. (1908). *Proposition d'un court traité de nomographie aux Etats-Unis*. Une lettre.
- HEUX, J.W.N. le (1919). *Demande des Principes usuels de nomographie*. Deux lettres.
- (1937). *Histoire de la nomographie aux Pays-Bas*. Deux lettres.
- HEZLET, R.K. (1909). *Nomogramme d'artillerie*. Une lettre.
- (1910). *Article dans le Royal artillery journal*. Une lettre.
- (1923). *Remerciements pour les principes usuels de nomographie*. Une lettre.
- HILBERT, David (1916). *Problème de Hilbert*. Une lettre.
- HJELMMAN (1899). *Exposé de nomographie en Finlande*. Une lettre.
- HRSKA, Vaclav (1931). *Construction des quartiers de réduction par le père Pézénas*. Une lettre.
- HUMBERT, Pierre (1899). *Demande de compte rendu du traité de nomographie dans la RMS*. Une lettre.
- (1914). *Exposition de nomogrammes à Edimbourg*. Une lettre.
- (1916). *Calcul de corrections atmosphériques*. Une lettre.
- HUSSON, A. (1908). *Rapprochement avec Farid Boulad*. Une lettre.
- ICRE (1916). *Abaques pour le canon 155*. Trois lettres.
- INCONNU (1892). *Correction du répertoire bibliographique*. Une lettre.

- INCONNU (1903). *Nomogrammes balistiques*. Une lettre.
- INVENTIONS, Directeur des (1918). *Avantages à créer une table pour le canon 155 GPF*. Une lettre.
- IONESCU, J. (1908). *Don d'articles publiés dans le Bulletin de la société polytechnique de Roumanie*. Une lettre.
- JACOB, Louis-Frédéric (1915). *Ouvrage Résistance et construction des bouches à feu*. Une lettre.
- JACQUEMETTON (1930). *Table de tir pour mitrailleur*. Une lettre.
- JAHNKE (1902). *Traduction en Allemand de Sur quelques principes élémentaires de nomographie*. Deux lettres.
- JAMMES (1918). *Abaques pour le tir vertical et le tir plongeant*. Une lettre.
- JANET, P. (1906). *Remerciements pour trois conférences données à l'école d'électricité*. Une lettre.
- JAVARY, F. (1917). *Remerciements pour l'album de corrections atmosphériques du tir et demande pour une autre batterie*. Une lettre.
- JOHNSTON, E.N. (1919). *Remerciements pour des plans de voies navigables et une brochure de nomographie*. Une lettre.
- JOITEL, A. (1923). *Articles dans la revue générale d'électricité*. Une lettre.
- JOLIBOIS, Pierre (1925). *Demande d'un abaque de dissociation du gaz carbonique*. Une lettre.
- JOOSTENS (1921a). *Demande de nomogrammes du 105, 155 et 17*. Une lettre.
- (1921b). *Renseignements sur les tirs de 105*. Une lettre.
- JOUGUET (1921). *Don d'un nomogramme pour calculer la puissance des moteurs d'automobiles*. Une lettre.
- JULIEN, L. (1917). *Remerciements pour des tables du 155*. Une lettre.
- JUNO, G. (1902). *Félicitations pour l'œuvre de Maurice d'Ocagne*. Une lettre.
- KELEYER (1900). *Félicitations pour l'extension de la nomographie*. Une lettre.
- KNOLH (1922). *Refus de traduction du livre de Maurice d'Ocagne en Autriche*. Une lettre.
- KNOTT, C.G. (1916). *Demande d'utilisation de nomogrammes dans un article*. Deux lettres.
- KOSCHKINE, Siméon (1910). *Correction d'un abaque du traité de nomographie*. Une lettre.

- (1914). *Demande de bibliographie sur la nomographie*. Deux lettres.
- KRAÏTCHIK, Maurice (1920b). *Remerciements pour l'envoi des principes usuels de nomographie*. Une lettre.
- (1921). *Demande de conférence*. Une lettre.
- (1922). *Flatteries de Maurice d'Ocagne*. Une lettre.
- (1923). *Déplacement à Bruxelles*. Une lettre.
- KROSSAVA, Rionoske (1935). *Envoi d'un abaque pour le prisme*. Une lettre.
- KRULL, Fritz (1906). *Nomogrammes de thermodynamisme, abaque de Proell*. Sept lettres.
- (1908). *Voeux de nouvelle année*. Une lettre.
- (1910). *Demande de retour de diagrammes à vapeur*. Une lettre.
- KSCHEMIEFSKY, R. de (1908). *Question sur l'équation de degré 3*. Une lettre.
- LAFAY, A. (1895c). *Note sur les abaques de tir dans la revue d'artillerie*. Quatre lettres.
- (1898). *À propos des formules de Fresnel*. Deux lettres.
- (1899b). *Demande de courrier et de travail*. Deux lettres.
- LALLEMAND, Charles (1891a). *Chapitre sur les abaques hexagonaux*. Deux lettres.
- (1891b). *Notes sur les abaques hexagonaux*. Quatre lettres.
- (1899). *Félicitations pour le traité de nomographie*. Une lettre.
- LAMOTTE (1913). *Retour de nomogrammes prêtés et ajouts*. Une lettre.
- LANAVE, Louis (1892b). *Correspondance sur une application graphique des terrassements*. Une lettre.
- LARMMA (1903). *Utilisation de la nomographie*. Une lettre.
- LASKA, Vaclav (1923). *Recommandation pour Vetter*. Une lettre.
- LAUSSEDAT, Aimé (1891). *Proposition de vulgarisation et conférences*. Deux lettres.
- LAVALETTE (1917). *Remerciements pour les nomogrammes du canon de 75*. Une lettre.
- LAVERGNE (1899). *Demande de Maurice d'Ocagne d'une bibliographie*. Une lettre.
- LAY (1896). *Rédaction d'une note sur un mémoire*. Une lettre.
- LAZZERI, G. (1902). *Traduction de Sur quelques principes élémentaires de nomographie*. Deux lettres.

- LE BRUN, Raymon (1886b). *Correspondance à propos de son mémoire sur une règle logarithmique pour le terrassement*. Une lettre.
- LEBESGUES, Henri (1916). *Nomogrammes de tir*. Une lettre.
- LEGOUX, Pierre (1933). *Abaque de remplacement d'un sextant*. Deux lettres.
- LEGRAND, Jayer (1918). *Tables de tir*. Une lettre.
- LEHLEINY (1893). *Explication de construction d'une abaque*. Une lettre.
- LELARGE, H. (1907). *Abaques pour un aéroplane*. Deux lettres.
- LERY (1899). *Compte rendu du Traité de nomographie dans les annales des chemins ruraux*. Une lettre.
- LEVESQUE (1921). *Échanges sur la construction d'un abaque de tir articulé*. Trois lettres.
- LHUNAND (1891). *Nomogrammes d'artillerie*. Quatre lettres.
- LIESSE, André (1906). *Remerciements pour le Calcul simplifié et pour des conférences*. Une lettre.
- LILICOTROM, Alfred (1931). *Demande d'aide sur un cours de géométrie avec nomographie*. Une lettre.
- LIMONYELLI (1908). *Article sur le Calcul graphique en italien*. Une lettre.
- LOISEL (1914). *Demande de conseils sur des abaques de météorologie (I)*. Trois lettres.
— (1915). *Demande de conseils sur des abaques de météorologie (II)*. Quatre lettres.
- LORENTE, José Maria (1923). *Demande d'informations sur les travaux de nomographie*. Une lettre.
- LOVETT, E.O. (1899). *Compte rendu du Traité de nomographie dans le Bulletin of the american mathematical society*. Une lettre.
- LOW, A.R. (1917). *Abaque pour un aéroplane*. Deux lettres.
- LUCKEY, Paul (1924a). *Demande d'exemples détaillés pour la correction d'un article*. Deux lettres.
— (1924c). *Envoi de deux nomogrammes avec explications*. Deux lettres.
— (1924f). *Histoire de la nomographie*. Une lettre.
- LYOU (1897). *Abaque pour les pianos*. Une lettre.
- MACHIELS, H. (1917). *Remerciements pour des tables graphiques de correction de tirs*. Une lettre.

- MAGDELÉNAT, Henri (1900). *Demande d'aide pour le calcul de profils en travers*. Une lettre.
- MAITROT, J. (1917). *Table graphique de corrections de tir pour le 75*. Une lettre.
- MALASSIS (1906). *Poids d'une pièce de tissus*. Une lettre.
- (1907). *Règle à calcul*. Une lettre.
- MANDL, Julius (1892). *Échanges pour une traduction de la nomographie et un article paru en Allemagne*. Treize lettres.
- MANSION, P. (1893a). *Avancement de carrière*. Une lettre.
- (1893b). *Proposition de place de répétiteur*. Une lettre.
- MARCHAL, G. (1917). *Tables de tir et de correction*. Deux lettres.
- MARGOULIS, Wladimir (1922a). *Bureau d'études nomographiques*. Deux lettres.
- (1922c). *Projet annonçant la création du bureau nomographique*. Une lettre.
- (1922d). *Thèse Abaques à transparent orienté ou tournant de Margoulis*. Une lettre.
- (1922e). *Vocabulaire des machines à calculer*. Deux lettres.
- MARS, J. (1918). *Albums d'abaques*. Une lettre.
- MARX, R. (1918). *Nomogramme de tir du 120*. Deux lettres.
- MASSON, Henri (1895). *Prêt d'instruments*. Une lettre.
- MAY (1901). *Renseignements pratiques : papiers, transparents, instruments*. Une lettre.
- MÉE, A. le (1922). *Nomogramme de la hauteur*. Une lettre.
- MEHMKE, Rudolph (1893a). *Courrier en allemand*. Une lettre.
- (1894b). *Résolution d'une équation de degré 5*. Une lettre.
- (1895). *Travaux allemands dès 1841*. Une lettre.
- (1896b). *Publication de nomographie dans un journal allemand*. Deux lettres.
- (1898a). *Abaques à plans superposés de Mehmke*. Une lettre.
- (1899). *Questions sur l'arithmomètre de Genaille*. Deux lettres.
- (1900). *Compte rendu de La nomographie en allemand : retard 1*. Une lettre.
- (1901). *Compte rendu de La nomographie en allemand : retard 2*. Une lettre.
- (1923). *Traité de calcul graphique en allemand*. Une lettre.

- MERTEN, A. (1911). *Utilisation du calcul graphique et nomographie*. Une lettre.
- MICHEL, A. (1917). *Nomogramme pour le 145-155-1916*. Une lettre.
- MILLOT, Stanislas (1908b). *Un premier nomogramme de tactique navale*. Deux lettres.
- (1910a). *Don d'un guide sur la règle à calcul*. Une lettre.
- (1911). *Remerciements pour une brochure*. Une lettre.
- (1912b). *Don de sept abaques construits par Millot*. Une lettre.
- (1912f). *Problèmes d'emploi de Millot*. Une lettre.
- (1913a). *Abaques, emploi et santé*. Quatre lettres.
- (1914b). *Publication d'articles avec la méthode des points alignés dans des revues maritimes*. Deux lettres.
- (1922a). *Nomogrammes et académie des sciences*. Deux lettres.
- (1922c). *Note à l'académie des sciences et anecdote*. Une lettre.
- (1922e). *Traité de toiture et probabilités*. Deux lettres.
- (1923). *Notes sur le calcul de probabilités*. Quatre lettres.
- (1924). *Probabilités et bibliographie*. Une lettre.
- MINNAERT, E. (1921b). *Solution d'un problème du Traité de nomographie*. Deux lettres.
- MISSEREY, Georges (1917a). *Félicitations pour les abaques et demande de nouveaux abaques*. Une lettre.
- (1917b). *Succès des nomogrammes*. Une lettre.
- (1918). *Nomogrammes pour tir fumant*. Trois lettres.
- MONACO, Prince de (1891). *Remerciements pour un ouvrage*. Une lettre.
- (1893). *Remerciements pour un ouvrage*. Une lettre.
- MONTESUS (1907). *Nomographie pour la résolution d'équations*. Deux lettres.
- MOREL, P. (1907). *Don de tables logarithmiques*. Une lettre.
- MORTON, W.B. (1917). *Remerciements pour une requête*. Une lettre.
- (1925). *Abaque fait grâce à la nomographie*. Une lettre.
- MOULIN, G. (1917a). *Remerciements pour les graphiques du 75*. Une lettre.
- (1917b). *Remerciements pour les tables de correction de tir*. Une lettre.
- MOUREN, H. (1919). *Les abaques du patron*. Deux lettres.

- (1922). *Abaque du triangle sphérique*. Trois lettres.
- (1923a). *Poste pour Mouren au laboratoire du centre d'étude de la marine*. Une lettre.
- (1923b). *Refus de prix de la marine de l'académie des sciences*. Une lettre.
- MULSANT (1917a). *Remerciements et demande d'abaques pour le 155*. Une lettre.
- (1917b). *Tables et graphiques de correction de tir pour canon de 120L*. Deux lettres.
- MUSSAN, C. de (1893). *Don de quatre tableaux*. Une lettre.
- NAVEL, G. (1919a). *Demande d'envoi de brochures pour l'IGA*. Une lettre.
- (1919b). *Demande de renseignements sur un compte rendu de l'académie des sciences*. Une lettre.
- NEPPANI (1891). *Notice éditée en Italie*. Une lettre.
- NERVILLE (1891). *Éloges dans le bulletin des électriciens*. Une lettre.
- NIJLAND, A. (1898). *Demande de revues et trigonométrie sphérique*. Une lettre.
- NIOX (1917). *Nomogrammes de correction de tir*. Une lettre.
- NIVIÈRE (1917). *Tables graphiques pour les corrections de tir de canon 75 et 105*. Une lettre.
- NOBLEREAUX, G. (1917). *Remerciements pour la rapidité des abaques du 75*. Une lettre.
- NOIREL, L. (1917a). *Abaques relatifs aux correction balistiques dues au vent*. Deux lettres.
- (1917b). *Notes sur la préparation et le réglage des tirs*. Une lettre.
- NORMAN, Henry (1914). *Remerciements*. Une lettre.
- (1917a). *Invitation*. Une lettre.
- (1917c). *Refus de donner suite à un projet d'utilisation de nomogrammes*. Une lettre.
- OCAGNE, Maurice d' (1906d). *Réponse adressée à d'Ocagne sur la note de Clark*. Une lettre.
- (1907c). *Réponse à Clark*. Une lettre.
- (1917a). *Archives du bureau d'études nomographiques*. Une lettre.
- (1918d). *État des albums de tables graphiques corrections de tir au service des armées*. Une lettre.

- OCAGNE, Maurice d' (1921a). *Extraits de correspondances sur la section de nomographie pendant la guerre*. Une lettre.
- (mars 1927a). *Lettre d'abandon du fonds d'archives concernant la nomographie de Maurice d'Ocagne à l'École des Ponts et Chaussées*. Une lettre.
- (1933). *Don de documents de d'Ocagne*. Une lettre.
- OLIVIER, Louis (1897). *Refus de participer à un volume sur le calcul graphique*. Trois lettres.
- OLLY, Henry (1908). *Construction d'abaques à points alignés*. Une lettre.
- PAGÉZY, Eugène (1917a). *Remerciements : conférences sur la nomographie et invitation*. Une lettre.
- (1917b). *Remerciements pour des tables du 75 et méthode pour le transport de tir*. Une lettre.
- PALADINIO, Bernardo (1898). *Demande d'abaque électrique*. Une lettre.
- PAPÉLIER, G. (1900). *Remerciements pour le Traite de nomographie*. Une lettre.
- PASQUIER, Ern (1899a). *Cours sur la nomographie et article*. Six lettres.
- (1904). *Demande de l'abaque relatif à la détermination du point de mer*. Deux lettres.
- PEDDLE, John B. (1911). *Demande d'aide pour trouver un déterminant*. Deux lettres.
- PERARI (1910). *Note de Vaes à propos du canal de midi*. Une lettre.
- PERAUX, E. (1895). *Changement d'échelle pour réduire un abaque*. Une lettre.
- PERRET, Eugène (1904a). *Nomogrammes pour la marine (1904)*. Onze lettres.
- (1905c). *Nomogrammes pour la marine (1905)*. Huit lettres.
- (1906). *Nomogrammes pour la marine (1906)*. Trois lettres.
- (1907). *Nomogrammes pour la marine (1907)*. Une lettre.
- (1908). *Nomogrammes pour la marine (1908)*. Une lettre.
- (1911). *Profils types pour chemins de fer*. Deux lettres.
- PESCI, Giuseppe (1897a). *Échanges sur la construction d'abaques en Italie*. Cinq lettres.
- (1897c). *Publication de nomographie en Italie*. Une lettre.
- (1899d). *Publication de nomographie dans des revues italiennes*. Deux lettres.
- (1900f). *Travaux et conférences de nomographie*. Deux lettres.

- (1903a). *À propos d'un article mal typographié*. Une lettre.
 - (1904c). *Divers : remerciements, traité italien, Azimuts de Perret*. Trois lettres.
 - (1905a). *Proposition d'un article au congrès de l'association française*. Une lettre.
 - (1906a). *Demande de vérification d'une note historique de la nomographie*. Deux lettres.
 - (1908c). *Note historique sur les tables de Luyando*. Une lettre.
 - (1912). *Divers : considérations sur la nomographie*. Une lettre.
 - (1930). *Liste d'articles de nomographie italienne*. Deux lettres.
- PILLEUX, J. (1917). *Remerciements d'envoi de tables graphiques et objection*. Une lettre.
- PIO, Emanuelli (1929). *Demande de la solution général d'un triangle sphérique*. Une lettre.
- PLESKOT, Vaclav (1937). *Demande de renseignements sur Margoulis*. Deux lettres.
- POILLOUX (1917). *Remerciements : nomogrammes et questions*. Une lettre.
- POIRCUITTE, L. (1937). *Remerciements pour une conférence*. Une lettre.
- POTIN, Louis (1909). *Article Applications nomographiques relatives a des questions de chemins de fer*. Une lettre.
- (1910). *Correspondances Potin 1910 : nomogrammes dans le domaine des chemins de fer*. Cinq lettres.
 - (1911c). *Correspondances Potin 1911 : nomogrammes et plaintes*. sept lettres.
 - (1912d). *Correspondances Potin 1912 : nomogrammes divers*. sept lettres.
 - (1913). *Correspondances Potin 1913 : départ de Wibrotte pour le Canada*. Une lettre.
 - (1914). *Correspondances Potin 1914 : stéréoprotgrammétrie et artillerie*. Trois lettres.
 - (1915). *Correspondances Potin 1915 : demande de nomogrammes de balistique par le général Jacob*. Deux lettres.
 - (1916a). *Correspondances Potin 1916 : proposition de nomogramme*. Une lettre.
 - (1917). *Correspondances Potin 1917 : formulaires à l'usage des ingénieurs et artillerie*. Une lettre.
 - (1919). *Correspondances Potin 1919 : nomogrammes absents et lettre d'une revue*. Deux lettres.

- POTIN, Louis (1926a). *Correspondances Potin 1926 : divers dans le domaine des assurances, géométrie et statistiques*. Trois lettres.
- (1928c). *Correspondances Potin 1928 : ouvrage sur les opérations actuarielles*. Une lettre.
- (1929). *Correspondances Potin 1929 : volume sur les opérations financières*. Une lettre.
- (1935). *Correspondances Potin 1935 : demande de nomogramme pour les compagnies d'assurance*. Une lettre.
- PRÉVOST, E. (1899). *Remerciements pour le traité de nomographie*. Une lettre.
- (1914). *Demande d'ajout dans l'abaque de Bazin*. Une lettre.
- (1922). *Polémique sur une histoire de priorité Prevost-Lallemand*. Une lettre.
- PRINCE (1909). *Cours de nomographie*. Une lettre.
- PUIG ADAM, Pedro (1932). *Intégration graphique*. Une lettre.
- QUIQUET (1892). *Demande d'entrées pour des conférences*. Une lettre.
- (1894). *Remerciements pour le calcul simplifié*. Une lettre.
- (1897). *Demande de traité sur les appareils à calcul*. Une lettre.
- (1899). *Présentation du traité de nomographie à l'institut des actuaires*. Une lettre.
- RATEAU, A. (1897). *Abaques logarithmiques*. Deux lettres.
- (1898). *Remerciements pour des envois d'articles*. Une lettre.
- (1899a). *Appareil pour anamorphose mécanique*. Une lettre.
- (1899b). *Compte-rendu du traité de nomographie dans la Revue mécanique*. Cinq lettres.
- (1899c). *Félicitations pour un ouvrage de nomographie*. Une lettre.
- REBY (1917). *Remerciements pour des abaques du 75*. Une lettre.
- REITLING, Henri B. (1929). *Tribunal à propos du statut de dessinateur*. Une lettre.
- RENARD (1919). *Abaque du canon 75*. Une lettre.
- REUTER (1919). *Remerciements pour une conférence*. Deux lettres.
- REUTER, Fritz (1919). *Remerciements pour des notes sur des conférences*. Une lettre.
- RICCI, Giuliano (1899). *Remerciements pour un graphique utilise dans le traité de nomographie*. Une lettre.

- RIEDL, Joseph (1925). *Demande de nom d'un livre de nomographie sur les assurances*. Une lettre.
- RIEGER, J. (1903). *Nomogramme : Abaque des poutres rivées laminées et des poutres de bois*. Une lettre.
- RIGOTARD, Laurent (1916). *Nomogramme pour le calcul des canaux découverts*. Deux lettres.
- ROBIN (1894). *Demande de solution générale de l'abaque sphérique*. Deux lettres.
- ROCHE (1909). *Conférence sur la nomographie aux élèves ingénieurs*. Deux lettres.
- ROSSIGNOL (1900). *Demande d'ouvrage concernant le double alignement*. Une lettre.
- ROTENBERG (1891). *Publication de nomographie dans un journal Hollandais*. Une lettre.
- ROTTENBURG, Henry (1913). *Proposition de traduction du traité de nomographie en anglais*. Une lettre.
- ROUCHÉ, Eugène (1899). *Compte-rendu du traité de nomographie*. Une lettre.
- ROUGIER, J. (1917). *Remerciements : réception de 10 atlas d'abaques*. Une lettre.
- ROULLET, Henry (1928b). *Proposition d'article et de livre sur la nomographie*. Deux lettres.
- (1929c). *Proposition d'abaque pour la formule de Bazin dans le domaine agricole*. Une lettre.
- ROUVRE, Ph. De (1917). *Remerciements et demande de correction pour le 75*. Une lettre.
- ROUX, G. (1919). *Formulaire de nomographie*. Une lettre.
- RUDOLPH, Emil (1913). *Demande d'aide pour un abaque*. Deux lettres.
- RUNGE, C. (1904). *Demande de participation à un congrès*. Une lettre.
- RUSSO, Giovanni (1901). *Demande d'envoi des principes élémentaires de nomographie*. Une lettre.
- (1902). *Remerciements pour l'envoi des principes élémentaires de nomographie*. Une lettre.
- SABROU, L.G. (1909). *Demande de renseignements sur les abaques*. Une lettre.
- SALMON-LEGAGNEUR, Marc (1923). *Abaque pour le calcul des hélices marines*. Une lettre.
- SALOMON, L. (1902). *Présentation d'une note à la société des ingénieurs civils*. Une lettre.

- SCHILLING, Friedrich (1899a). *Considérations sur des équations*. Deux lettres.
- (1899b). *Envoi de travaux nomographiques*. Une lettre.
- SCHWERING, Ch. (1891). *Signalement des travaux de d'Ocagne dans des journaux Allemands*. Une lettre.
- SECO DE LA GARZA, Ricardo (1910). *Traduction de nomogramas del ingeniero en français*. Trois lettres.
- SEILIGER, Myton (1924b). *Livre : thermodynamique nomographique*. Une lettre.
- SÉJOURUÉ (1894). *Demande d'abaque pour le calcul de terrassement*. Une lettre.
- SENI, L. (1911). *Remerciements pour l'envoi d'un abaque de marine*. Une lettre.
- SENTENAC (1919). *Demande de consultation des nomogrammes des ponts et chaussées*. Une lettre.
- SEWARD, Herbert L. (1907). *Thèse américaine sur la nomographie et ses applications à l'ingénierie mécanique*. Une lettre.
- (1909). *Demande du traité de nomographie et cours de nomographie à l'université de Yale*. Une lettre.
- SHISHA, E. (1936). *Logarithmic area computing scale*. Une lettre.
- SINLENS, Shue (1899). *Considérations sur un livre de d'Ocagne*. Une lettre.
- SOLAUNAY, Ch. (1899). *Compte-rendu du traité de nomographie dans le génie civil*. Une lettre.
- SOLOVINE, Maurice (1925). *Remerciements pour la bienveillance de d'Ocagne*. Une lettre.
- SOREAU, Rodolphe (1900a). *Correspondance Soreau 1900*. Deux lettres.
- (1901). *Correspondance Soreau 1901*. Deux lettres.
- (1902a). *Correspondance Soreau 1902*. Deux lettres.
- (1902b). *Mise sous forme canonique de l'équation générale à 3 variables d'ordre 3*. Une lettre.
- (1904). *Correspondance Soreau 1904*. Une lettre.
- (1906a). *Correspondance Soreau 1906*. Cinq lettres.
- (1912b). *Correspondance Soreau 1912*. Deux lettres.
- (1913). *Correspondance Soreau 1913*. Une lettre.
- (1920a). *Correspondance Soreau 1920*. Une lettre.

- (1920b). *Dossier Soreau*. Huit lettres.
- SPICZER (1902). *Conférence à paraître dans une revue hongroise*. Une lettre.
- STABICHINY, G. (1897). *Félicitations pour les méthodes de d'Ocagne introduites en Italie*. Une lettre.
- STAHL, L. (1917). *Remerciements sur les résultats intéressant des travaux de d'Ocagne*. Deux lettres.
- STROHL, C. (1897a). *Demande de publication d'un livre de balistique utilisant les graphiques pas forcément acceptée*. Deux lettres.
- (1897b). *Ouvrage Balles de tir pratiques avec utilisation de la méthode de calcul de d'Ocagne*. Une lettre.
- SULLAIN (1892). *Phares et moulins à vent*. Une lettre.
- SUTTOR, Charles-Eugène (1901). *Abaque demandé par un ministre Belge*. Trois lettres.
- TAMENBERG (1900). *Cours de statique graphique*. Une lettre.
- TANIMURA, T. (1927). *Publication d'un ouvrage sur la nomographie au Japon*. Deux lettres.
- TANMERY, Jules (1899). *Compte rendu*. Une lettre.
- TAUVERTIN, Henri (1892). *Intérêt pour les abaques*. Une lettre.
- TAVART (1917). *Avis sur des abaques de tir connaissant la charge et la pente*. Une lettre.
- TCHERNAVSKY, L. (1934a). *Félicitations pour le cinquantième du procédé de calcul graphique*. Quatre lettres.
- (1934b). *Ouvrage de nomographie par Melentiev*. Une lettre.
- TERMIER, P. (1917). *Demande d'abaques pour le 75*. Une lettre.
- TIMANDIER, Gaston (1891). *Acceptation d'un article dans La nature*. Une lettre.
- TIMPANARO, Sebastiano (1908). *Demande de résolution du problème de l'interprétation*. Une lettre.
- TOIRET (1918). *Remerciements pour le 75 et demande pour un nouvel obus*. Une lettre.
- TONGAS, Philippe (1931). *Don de nomogrammes concernant les chemins de fer*. Une lettre.
- TORRES, Leonardo (1897a). *Installation de machines algébriques au Bor*. Une lettre.
- (1897b). *Proposition d'article dans un journal espagnol*. Une lettre.
- (1899). *Publicité du Traité de nomographie en Espagne*. Trois lettres.

- TORRES, Leonardo (1903). *A propos du prix Poncelet et prix en Espagne*. Une lettre.
- (1908). *Comptes rendus et Nomograma del ingeniero*. Deux lettres.
- ULKOWSKI, Francidrek (1906a). *Nomogramme d'établissement de planchers, balcons, porte-à-faux*. Une lettre.
- (1906b). *Remerciements pour des ouvrages envoyés*. Une lettre.
- (1907). *Liste de nomogrammes créés avec Laiska*. Une lettre.
- VAES, Franciscus Johannes (1890). *Explication d'une formule : force d'un train sur la locomotive*. Une lettre.
- (1897a). *Envoi d'un abaque pour une formule*. Une lettre.
- (1899). *Note sur le Traité de nomographie dans des revues hollandaises*. Deux lettres.
- (1900a). *Notes sur le Traité de nomographie*. Deux lettres.
- (1906). *Intérêt de la nomographie*. Une lettre.
- (1919). *Note sur le second Traité de nomographie dans des revues hollandaises*. Une lettre.
- (1937). *Rappel au bon souvenir de d'Ocagne*. Une lettre.
- VALLÉE-POUSSIN, C. de la (1921). *Demande de conférence en Belgique de Torres*. Une lettre.
- VERCHERE, H. (1917). *Remerciements pour les tables de correction du 75*. Une lettre.
- VIARIS, G. (1918). *Remerciements pour des abaques*. Une lettre.
- VIENNE (1901). *Résolution d'équations de degré et de forme quelconques*. Une lettre.
- VIGIER (1917). *Avantages sur le front des tables de correction du 75*. Une lettre.
- VILLARS, Gauthier (1900). *Demande traduction de la nomographie en Italien*. Une lettre.
- (1916). *Correction de portée connaissant le température et la pression*. Une lettre.
- VILLAT, Henri (1924). *Fascicule de d'Ocagne Pour une collection d'ouvrages au mémorial des sciences mathématiques (I)*. Quatre lettres.
- (1925). *Fascicule de d'Ocagne Pour une collection d'ouvrages au mémorial des sciences mathématiques (II)*. Cinq lettres.
- VILLEMARQUÉ, E. de la (1935a). *Abaques transparents tournants à marques mobiles*. Trois lettres.
- VINARD, R. (1921). *Nomogramme de calculs tachéométriques*. Une lettre.

- VINCENT, J.H. (1917). *Remerciements d'envoi d'abaques utilisés immédiatement avec profit*. Une lettre.
- VITELLI (1917). *Remerciements pour le résumé des méthodes au tir de pièces de moyens et gros calibres*. Deux lettres.
- VOLTERRA, Vito (1918). *Remerciements pour le canon 75*. Une lettre.
- VOORWYK, J.F. (1937). *Sur la science des déterminants*. Trois lettres.
- VRANIC, Vladimir (1930a). *Erreur dans le Traité de nomographie*. Une lettre.
- WAIT, J.H. (1905). *Remerciements pour le Calcul graphique et le Calcul simplifié*. Une lettre.
- WALCKENAÏR (1906). *Critique par Walckenair du travail de Vaes*. Une lettre.
- WERKUEN, P. (1910). *A Propos du Traité de nomographie*. Une lettre.
- WEYN (1891). *Analyse du Calculs usuels en république Tchèque*. Une lettre.
- WHITTAKER, E.T. (1913). *Remerciements pour une note et des nomogrammes*. Une lettre.
- (1914). *Exposition de nomogrammes et conférences au Napier tercentenary celebration*. Trois lettres.
- (1916). *Traduction des conférences*. Une lettre.
- WOLFF, Robert (1911). *Mort de Clark*. Une lettre.
- (1922). *Demande d'abaque pour la conversion de devises*. Une lettre.
- WÖLFFLEN, G. (1910). *Erreurs dans le Traité de nomographie*. Une lettre.
- WÜRTH-MICHA, Maurice (1904). *Règle a calcul des distributions de vapeur*. Deux lettres.
- YULE, G.U. (1895). *Demande de réglottes et félicitations pour la méthode*. Deux lettres.
- ZATON (1916). *Demande de nomogrammes pour le 32*. Une lettre.

Articles écrits par Maurice d'Ocagne dans des journaux

La liste suivante est non exhaustive, mais elle fait part d'un certain nombre d'articles retrouvés dans différentes bases de données. En premier lieu figure le titre de l'article, puis la revue qui a publié l'article, et enfin l'année de publication. La nomenclature des revues est indiquée à la fin de la liste.

Note sur le partage des polygones	JME	1878
Sur le volume du tronc de pyramide	JME	1878
Sur une nouvelle manière de mener la tangente à une ellipse	JME	1878
Note sur la divisibilité	JME	1879
Note sur la parabole	JME	1879
Note sur la soustraction des fractions	JME	1879
Sur le minimum d'une expression algébrique à plusieurs variables	JME	1879
Théorème de l'incommensurabilité (résumé du cours de M. Songaylo)	JME	1879
Théorème sur le trapèze	JME	1879
Note de géométrie	JME	1880
Note sur une ligne considérée dans le triangle rectiligne	JME	1880
Note sur une ligne du triangle : l'antibissectrice	JME	1880
Principes élémentaires de géométrie cinématique	JME	1880
Démonstrations de théorèmes énoncés dans les Nouvelles annales	NAM	1880
Remarque sur un problème d'analyse combinatoire	NAM	1880

Sur la composition des forces dans le plan	NAM	1880
Note sur le système articulé du colonel Peaucellier	NAM	1881
Remarque sur le centre de composition d'un système de forces quelconques dans le plan	NAM	1881
Sur la construction de la normale dans un certain mode de génération des courbes planes.	NAM	1881
Sur le mouvement vertical d'un point pesant dans un milieu résistant	NAM	1881
Étude sur un mode de détermination des courbes planes. Application cinématique	NAM	1882
Remarques sur le pendule	NAM	1882
Sommation d'une série remarquable	NAM	1882
Sur le développement des logarithmes et des exponentielles	NAM	1882
Sur le centre de courbure des courbes de poursuite	BSMF	1883
Addition à une note sur un mode de détermination des courbes planes.	NAM	1883
Note sur la transformation par semidroites réciproques	NAM	1883
Sur l'enveloppe de certaines droites variables	NAM	1883
Sur les propriétés segmentaires du triangle	NAM	1883
Sur un algorithme algébrique	NAM	1883
Sur un élément du triangle rectiligne	NAM	1883
Procédé nouveau de calcul graphique	APC	1884
Étude géométrique de la distribution des efforts autour d'un point dans une poutre rectangulaire et dans un massif de terre	BSMF	1884
Sur certaines figures minima	BSMF	1884
Sur l'évaluation graphique des moments et des moments d'inertie des aires planes	BSMF	1884
Sur la droite moyenne d'un système de droites quelconques situées dans un plan	BSMF	1884
Sur une série à loi alternée	BSMF	1884
Sur un mode de génération des ovales de Descartes	CRAS	1884
Étude de géométrie segmentaire	JSMA	1884

Sur une transformation polaire des courbes planes	JSMA	1884
Sur les transformations centrales des courbes planes	M	1884
Étude de deux systèmes simples de coordonnées tangentielles dans le plan : coordonnées parallèles et coordonnées axiales	NAM	1884
Nouvelle remarque sur le système Peaucellier	NAM	1884
Semi-droites réciproques parallèles à l'axe de transformation	NAM	1884
Sur la symédiane	NAM	1884
Sur un cas particulier de résolution des équations différentielles linéaires à coefficients constants	NAM	1884
Théorie élémentaire des séries récurrentes	NAM	1884
Sur les courbes isométriques	ASSB	1885
Sur une suite de polygones tels que chacun d'eux soit formé en joignant les milieux des côtés du précédent	ASSB	1885
Sur les courbes polaires réciproques homologues	BSMF	1885
Sur les isométriques d'une droite par rapport à certains systèmes de courbes planes	BSMF	1885
Sur l'équation indéterminée $x^2 - ky^2 = z^n$	CRAS	1885
Sur les courbes algébriques planes de degré quelconque	CRAS	1885
Sur quelques propriétés générales des surfaces algébriques de degré quelconque	CRAS	1885
Sur certaines déterminations de limites : moyennes limites de deux nombres	JSMA	1885
Sur certaines fonctions symétriques : applications au calcul de la somme des puissances semblables des racines d'une équation	JSMA	1885
Sur certaines sommations arithmétiques	JSMA	1885
Sur les arcs d'ellipse rectifiables	JSMA	1885
Note sur les raccordements paraboliques	M	1885
Transformation des propriétés barycentriques au moyen de la méthode des polaires réciproques	M	1885
Étude de deux systèmes simples de coordonnées tangentielles dans le plan : coordonnées parallèles et coordonnées axiales	NAM	1885
Notes sur la symédiane	NAM	1885
Sur certaines suites de fractions irréductibles	ASSB	1886

Sur les sous-invariants des formes binaires	ASSB	1886
Méthode simple pour le tracé des joints dans les voûtes elliptiques	APC	1886
Sur certaines suites de fractions irréductibles	BSMF	1886
Théorème sur les formes binaires	CRAS	1886
On homological polar reciprocal curves	ET	1886
Note sur les coniques	JSMA	1886
Sur une quartique unicursale	JMS	1886
Sur la nouvelle méthode pour le tracé des arcs de parabole	GC	1886
Sur le tracé des arcs de parabole	GC	1886
Sur un problème de limite	M	1886
De la déviation dans l'ellipse	NAM	1886
Note sur la déviation dans l'ellipse	NAM	1886
Sur l'algorithme $[abc\dots l]^n$	NAM	1886
Sur l'enveloppe de certaines droites variables	NAM	1886
Sur le cercle orthoptique	NAM	1886
Sur une suite récurrente	NAM	1886
Théorème sur les courbes algébriques et le cercle	NAM	1886
Sur une classe de nombres remarquables	AJM	1887
Relation entre les rayons de courbure de deux courbes polaires réciproques	AENS	1887
Sur les péninvariants des formes binaires	ASSB	1887
Sur la relation entre les rayons de courbure de deux courbes polaires réciproques	AENS	1887
Intégration d'une suite récurrente qui se présente dans une question de probabilité	BSMF	1887
Rectification	BSMF	1887
Sur une notion utile en algèbre et en analyse	BSMF	1887
Sur une nouvelle source d'identités	BSMF	1887
Sur certaines classes de suites récurrentes	CRAS	1887
Sur les péninvariants des formes binaires	CRAS	1887
Note sur un problème d'arithmétique	JSML	1887
Problème d'algèbre	JSML	1887

Sur certaines courbes qu'on peut adjoindre aux courbes planes pour l'étude de leurs propriétés infinitésimales	JSML	1887
Note sur les coniques	JSMPN	1887
Les coordonnées cycliques	M	1887
Quelques propriétés du triangle	M	1887
Sur la relation entre les rayons de courbure de deux courbes polaires réciproques	M	1887
Les coordonnées parallèles de points	NAM	1887
Sur les péninvariants des formes binaires	NAM	1887
Sur les cordes communes à une conique et à un cercle de rayon nul : application à la théorie géométrique des foyers dans les coniques	PEMS	1887
Sur une propriété de la sphère et son extension aux surfaces quelconques	PLMS	1887
Sur certaines courbes qu'on peut adjoindre aux courbes planes pour l'étude de leurs propriétés infinitésimales	AJM	1888
Note sur les systèmes de péninvariants principaux des formes binaires	ASSB	1888
Sur le tracé de l'axe longitudinal d'une voûte	APC	1888
Sur le tracé de l'intrados des voutes elliptiques	APC	1888
Sur les systèmes de péninvariants principaux d'une forme binaire	BSMF	1888
Sur la détermination du chiffre qui, dans la suite naturelle des nombres, occupe un rang donné	CRAS	1888
Sur les équations algébriques à racines toutes réelles	CRAS	1888
Relation entre les normales dans une transformation réciproque générale	JMS	1888
Remarques sur la géométrie infinitésimale des courbes planes, formules fondamentales, application à la détermination de certains rayons de courbure	JMS	1888
Remarques sur les transversales réciproques	JMS	1888
Note sur les points complémentaires	M	1888
Détermination du rayon de courbure de la courbe intégrale	NAM	1888
Quelques propriétés de l'ellipse, déviation, écart normal	NAM	1888
Solution de la question 1572	NAM	1888

Solution de la question de mathématiques élémentaires proposée au concours général de 1887	NAM	1888
Sur certaines courbes qu'on peut adjoindre aux courbes planes pour l'étude de leurs propriétés infinitésimales	AJM	1889
Sur les trajectoires des points marqués sur une droite qui se déplace en touchant constamment par l'un d'eux une courbe donnée	AFAS	1889
Sur les isométriques d'une droite par rapport à un système de droites concourantes	BSMF	1889
Sur les nombres de Bernoulli	BSMF	1889
Calcul direct des termes d'une réduite de rang quelconque d'une fraction continue périodique	CRAS	1889
Deux théorèmes généraux sur les trajectoires de points et les enveloppes de droites mobiles dans un plan	CRAS	1889
Sur la transformation isogonale de W. Roberts	JSMA	1889
Note sur le problème du Myosotis	JMS	1889
Sur une transformation quadratique birationnelle réciproque	MSRSL	1889
Les applications des coordonnées parallèles	NAM	1889
Formules nouvelles pour résoudre le problème de la carte	RMC	1889
Sur la théorie des coordonnées parallèles	ASSB	1890
Note sur le calcul d'une pièce droite inclinée	APC	1890
Remarques sur les transformations isogonales	BSMF	1890
Sur l'application des coordonnées parallèles à la démonstration d'un théorème de Chasles relatif aux surfaces algébriques	BSMF	1890
Sur le développement de $\sin n\phi$ et de $\cos n\phi$ suivant les puissances de $\cos \phi$	JSMA	1890
Sur les moyennes limites de deux nombres	JMS	1890
Théorèmes de géométrie infinitésimale. Applications aux anamorphoses coniques	JMS	1890
Méthode de calcul graphique fondée sur l'emploi des coordonnées parallèles	GC	1890
Méthode de Nomographie fondée sur l'emploi des coordonnées parallèles	GC	1890
Remarques sur une transformation quadratique réciproque	MSRSL	1890

Addition à une note sur une application des coordonnées parallèles	NAM	1890
Correspondance (extrait de la question 1566)	NAM	1890
Deux théorèmes généraux sur les trajectoires de points et les enveloppes de droites dans le plan	NAM	1890
Quelques propriétés générales des courbes algébriques obtenues au moyen des coordonnées parallèles	NAM	1890
Sur les séries récurrentes	NAM	1890
C.W. Borchardt et son œuvre	RQS	1890
Quelques propriétés des nombres K_m^p	AJM	1891
Détermination du rayon de courbure en coordonnées parallèles	BARB	1891
Sur la liaison entre les expressions du rayon de courbure en coordonnées ponctuelles et en coordonnées tangentielles	BSMF	1891
Sur les substitutions linéaires d'une seule variable à coefficients périodiques	BSMF	1891
Sur une détermination particulière du centre de courbure des lignes planes. Application aux courbes algébriques d'ordre quelconque	BSMF	1891
Unicursales de la troisième classe	BSMF	1891
Sur la représentation plane des équations à quatre variables	CRAS	1891
Remarque sur la parabole	JMS	1891
Le terme complémentaire de la série de Taylor	M	1891
Méthode nouvelle pour calculer $\sin ma$ et $\cos ma$ en fonction de $\sin a$ et de $\cos a$	NAW	1891
Sur une courbe définie par la loi de sa rectification	NAM	1891
Sur les équations représentables par trois systèmes rectilignes de points isoplèthes	RGSPA	1891
Extrait d'une lettre à M. Craig (sur certaines courbes 1887)	AJM	1892
Sur la détermination du point le plus probable donné par une série de droites non convergentes	BSMF	1892
Sur la détermination géométrique du centre de courbure de la développée d'une courbe plane	BSMF	1892
Sur les suites récurrentes	BSMF	1892

Extrait d'une lettre à M. E. Lemoine (sur l'équation indéterminée et théorie des séries)	JSMA	1892
Extrait d'une lettre adressée à M. F. Gomes Teixeira (nombres K_m^p)	JSMA	1892
Remarque sur la représentation géométrique de la formule des lentilles	JPTA	1892
Sur les courbes algébriques	M	1892
Note sur le centre de courbure des podaires et antipodaires	NAM	1892
Sur la construction de la parabole osculatrice en un point d'une courbe donnée	NAM	1892
Sur la construction des cubiques cuspidales par points et tangentes	NAM	1892
Sur la corrélation entre les systèmes de coordonnées ponctuelles et les systèmes de coordonnées tangentielles	NAM	1892
Sur une classe particulière de séries	NAM	1892
Le calcul sans opération. La nomographie	RQS	1892
Über die Bestimmung des wahrscheinlichsten Punkts aus einer Anzahl zu seiner Ermittlung gegebener Geraden	ZV	1892
Sur les instruments et machines arithmétiques	ASSB	1893
Les abaques de remblai et de déblai construits au moyen de la méthode des points isoplèthes	APC	1893
Remarque sur la déformation des surfaces de révolution	BSMF	1893
Sur les suites récurrentes	BSMF	1893
Complément à la méthode nomographique récemment décrite, en vue de l'introduction d'une variable de plus	CRAS	1893
Sur la sommation d'une certaine classe de séries	CRAS	1893
Sur une méthode nomographique applicable à des équations pouvant contenir jusqu'à dix variables	CRAS	1893
Sur les équations représentables par trois systèmes rectilignes de points isoplèthes	CRCIM	1893
Sur la détermination géométrique du point le plus probable donné par un système de droites non convergentes	JEP	1893
Problèmes relatifs à la numération	JMS	1893
Vier verschiedene Abacus von Maurice d'Ocagne	KMMP	1893

Sur une méthode nomographique applicable à des équations pouvant contenir jusqu'à dix variables	CRAS	1893
Problème d'algèbre relatif à la nomographie	NAM	1893
Sur une classe de transformations dans le triangle et notamment sur une certaine transformation quadratique birationnelle	NAM	1893
Démonstration des formules relatives à la composition des lois d'erreurs	ASSB	1894
Erratum : note sur le tracé de l'axe longitudinal d'une voûte	APC	1894
Les abaques de remblai et de déblai construits au moyen de la méthode des points isoplèthes	APC	1894
Sur les surfaces de révolution applicables sur la sphère	AFAS	1894
Abaque général de la trigonométrie sphérique	BA	1894
Abaques en points isoplèthes de l'équation de Képler	BSMF	1894
Sur la composition des lois d'erreurs de situation d'un point	CRAS	1894
Sur une application de la théorie de la probabilité des erreurs aux nivellements de haute précision	CRAS	1894
Mémoire sur les suites récurrentes	JEP	1894
Deux exercices de mécanique	JMS	1894
Extrait d'une lettre (à propos de la construction donnée par G. L. pour la tangente à l'ellipse)	JMS	1894
Calcul d'une intégrale définie	NAM	1894
Sur la courbure du contour apparent d'une surface	ASSB	1895
Formules générales pour la compensation d'un réseau topographique	APC	1895
Étude géométrique sur l'hélicoïde réglé le plus général	BSMF	1895
Sur la composition des lois de probabilité des erreurs de situation d'un point sur un plan	BSMF	1895
Extrait d'une lettre	JMS	1895
Rectification approchée du cercle	JMS	1895
Sur les centres de courbure des courbes planes et particulièrement des conchoïdes et des podaires	JMS	1895
Théorème général sur les centres de courbure	JMS	1895
Sur la courbure du contour apparent d'une surface	M	1895

Les propriétés focales des coniques obtenues au moyen de la méthode des polaires réciproques	NAM	1895
Solution géométrique complète de la troisième partie du problème d'admission à l'École polytechnique	NAM	1895
Sur la combinaison des écarts	NAM	1895
Sur la courbure du contour apparent d'une surface projetée orthogonalement	NAM	1895
Sur le centre de courbure des podaires	NAM	1895
Application générale de la nomographie au calcul des profils de remblai et de déblai	APC	1896
Sur la représentation monographique des équations du second degré à trois variables	BSMF	1896
Sur le signe de la torsion des courbes gauches et du paramètre de distribution des surfaces réglées	BSMF	1896
Théorème relatif aux abaqués	BSMF	1896
Sur la représentation par des droites et par des cercles des équations du second degré à trois variables	BSPMK	1896
Nomographie. Sur les équations représentables par trois systèmes rectilignes de points isoplèthes	CCP	1896
Abaque de l'équation des marées diurnes et semi-diurnes	CRAS	1896
Sur l'emploi des systèmes réguliers de points cotés pour la représentation des équations	CRAS	1896
Sur les équations représentables par trois systèmes linéaires de points cotés	CRAS	1896
Note au sujet de la question 470	JMS	1896
Sur l'ombre propre des polyèdres	JMS	1896
Principes de la machine à résoudre les équations de M. Leonardo Torres	JPTA	1896
Note sur la machine à résoudre les équations de Torres	GC	1896
Théorie géométrique du viarge à bicyclette	GC	1896
Correspondance (à propos de parabole)	NAM	1896
Sur les cordes normales de la parabole	NAM	1896
Sur les segments de coniques limités à une normale	NAM	1896
Sur les types les plus généraux d'équations représentables par trois systèmes de cercles ou de droites cotés	ZMP	1896

Théorie des équations représentables par trois systèmes linéaires de points cotés	AM	1897
Sur la représentation des équations du second ordre par des droites et par des cercles	BSMF	1897
Sur les paramètres de distribution du paraboloïde hyperbolique	BSMF	1897
Sur une transformation birationnelle de l'espace	BSMF	1897
Application de la méthode des points cotés	GC	1897
Sur le déplacement d'un triangle variable semblable à un triangle donné	NAM	1897
Sur les coniques qui ont avec une courbe donnée en un de ses points un contact d'ordre supérieur	NAM	1897
Karl Weierstrass	RQS	1897
Rapports sur un mémoire de M. Goedseels intitulé : Les abaques à transversales	ASSB	1898
Sur les abaques à points cotés pour les équations à trois et à quatre variables	ASSB	1898
Abaque de la nouvelle formule de M. Bazin relative aux canaux découverts	APC	1898
Application de la méthode nomographique la plus générale, résultant de la superposition de deux plans, aux équations à trois et à quatre variables	BSMF	1898
Résumé d'un Mémoire sur les équations représentables par trois systèmes linéaires de points cotés	BSMF	1898
Rapport sur Les abaques à transversale quelconque	BSSB	1898
Sur les questions de mathématiques pures que soulève l'étude de la nomographie	BSM	1898
Sur quelques principes élémentaires de nomographie	BSM	1898
Sur la méthode nomographique la plus générale résultant de la position relative de deux plans superposés	CRAS	1898
Nomographie. Une leçon sur les diagrammes cotés ou abaques	JEP	1898
Construction de la perspective conique d'une sphère	NAM	1898
Extrait d'une Lettre	NAM	1898
Sur la détermination des courbes par une équation entre les distances tangentielles de leurs points à des courbes données	NAM	1898

Sur les raccordements par arcs de cercle	NAM	1898
Sur la condition pour que trois cercles passent par un même point	RMS	1898
Sur la formule de Taylor	RMS	1898
Sur quelques applications pratiques de la méthode des points cotés	RGSPA	1898
Sur les types les plus généraux d'équations représentables par trois systèmes de cercles ou de droites cotés	ZMP	1898
Rapport (réglage d'un niveau à bulles)	ASSB	1900
Problème de partition	BSMF	1900
Sur quelques principes élémentaires de nomographie	BSM	1900
Sur l'application de la nomographie à la prédiction des occultations d'étoiles par la Lune	CRAS	1900
Sur les divers modes d'application de la méthode graphique à l'art du calcul	CRCIM	1900
Détermination élémentaire du centre de courbure de la parabole	JME	1900
La nomographie dans l'enseignement	EM	1900
Sur les adjointes infinitésimales d'une courbe plane	NAM	1900
Étude élémentaire du conoïde de Plücker	AMK	1901
Sur la résolution nomographique de l'équation du septième degré	CRAS	1901
Sur la somme des angles d'un polygone à connexion multiple	CRAS	1901
Sobre algunos principios elementales de nomografia	N	1901
Sur la détermination des plans tangents aux hélicoïdes gauches	MPA	1901
Construction des centres de courbure des courbes de Lamé	NAM	1901
Sur les transformations polaires de la courbure	NAM	1901
Sur un système spécial de coordonnées tangentielles et sur la transformation par tangentes orthogonales	NAM	1901
Sur les barycentres cycliques dans les courbes algébriques	BSMF	1902
sur la pénétration de la nomographie dans l'enseignement des écoles techniques	BSM	1902
Sur quelques travaux récents relatifs à la nomographie	BSM	1902

Sur la résolution nomographique du triangle de position pour une latitude donnée	CRAS	1902
Sur les divers modes d'application de la méthode graphique à l'art du calcul. Calcul graphique et calcul nomographique	CRCIM	1902
Sur la courbe radiale de Hoüel	NAM	1902
Sur la résolution nomographique des équations algébriques	NAM	1902
Sur les adjointes des directions normales d'une conique	NAM	1902
Sopra alcuni principi elementari di nomografia	PMIS	1902
Théorie géométrique du niveau à bulle appliqué à la rectification des axes verticaux	BSMA	1903
Über einige elementare Grundgedanken der Nomographie	AMP	1903
Sur une classification nouvelle des modes de représentation nomographique des équations à un nombre quelconque de variables	CRAS	1903
Coup d'oeil sur la théorie la plus générale de la nomographie	AFAS	1903
Exposé synthétique des principes fondamentaux de la nomographie	JEP	1903
Coup d'oeil sur la théorie la plus générale de la nomographie	AFAS	1904
Sur la résolution nomographique générale des triangles sphériques	BSMF	1904
Sur une classe de nombres rationnels réductibles aux nombres de Bernoulli	BSM	1904
Sur la résolution nomographique des triangles sphériques	CRAS	1904
Octave Callandreau	LN	1904
Sur la dépression de l'horizon de la mer le nivellement géodésique	NAM	1904
Sur la représentation approchée de la chaînette	APC	1905
Sur la méthode nomographique des points alignés	AFAS	1905
Sur un théorème de Clark	CRAS	1905
Sur la méthode graphique des points	AFAS	1905
Sur l'évaluation graphique des longueurs d'arc	NAM	1905
Sur la courbure des lignes sphériques	AFAS	1906
Règle mnémonique pour retenir les analogies de Delambre	EM	1906

Sur la déformation des coordonnées tangentielles dites parallèles	NAM	1906
Le Colonel Laussedat	RGSPA	1906
Sur les équations d'ordre nomographique 3 et 4	BSMF	1907
Sur la représentation de l'équation d'ordre nomographique 3 la plus générale par un nomogramme conique	CRAS	1907
Sur la représentation des équations d'ordre nomographiques 4 à 3 et 4 variables	CRAS	1907
Sur la représentation par points alignés de l'équation d'ordre nomographique 3 la plus générale	CRAS	1907
Sur l'application de la méthode graphique à l'art du calcul	RS	1907
Sur la rectification approchée des arcs de cercle	NAM	1907
Les progrès récents de la méthode nomographique des points alignés	RGSPA	1907
Sur la représentation nomographique des équations à quatre variables	CRAS	1909
La technique du calcul considérée principalement au point de vue de la science de l'ingénieur	CRCIM	1909
Sur la rectification graphique approchée des arcs de cercle	CRCIM	1909
Sur les formules fondamentales de la trigonométrie sphérique	EM	1909
Correspondance (formule de cubature)	NAM	1909
Remarques sur diverses courbes planes	RRACE	1909
Correspondance (formules de podaires)	RMS	1909
Les femmes dans la science	RQS	1909
Sur le tracé pratique de certaines courbes transcendentes utilisables dans la construction des ponts	APC	1910
Application de la méthode des points alignés au calcul des poutres en béton armé	APC	1911
Construction du nomogramme représentatif du mouvement varié d'un navire donné entre des vitesses données	BATM	1911
Détermination nomographique du chemin parcouru par un navire en cours de mouvement varié	CRAS	1911
Sur la réduction des équations à trois variables aux formes canoniques, que comporte la méthode des points alignés	CRAS	1912

Sur l'expression du rayon de courbure d'une courbe plane en coordonnées tangentielles	EM	1912
Sur la construction des tangentes à une classe de cubiques unicursales	ASEPP	1913
Albert Ribaucour	BSAEP	1913
Sur l'application générale de la méthode des points alignés aux problèmes, qui se ramènent à des résolutions de triangles sphériques	CRAS	1913
Sur la résolution graphique d'un système de trois équations linéaires	EM	1913
Au sujet d'un article récent (propriétés de l'ellipse)	NAM	1913
Sur le tracé pratique de certaines courbes transcendantes	APC	1914
Note au sujet de deux transformations des courbes planes	ASEPP	1914
Sur la transformation potentielle	ASEPP	1914
Remarques géométriques sur la toupie	JME	1914
Le rôle des mathématiques dans les sciences de l'ingénieur	EM	1914
Some remarks on logarithms apropos to their tercentenary	ARSI	1915
Remarques au sujet de l'anamorphose circulaire	CRAS	1915
Sur la rectification et la quadrature des épi- et hypocycloïdes	CRAS	1915
Le problème de l'éclaireur. À propos d'un article de M. É. Turrière	EM	1915
Remarques au sujet de la construction des centres de courbure des coniques	EM	1915
À propos de la spirale tractrice	NAM	1915
À propos des points associés de Fagnano	NAM	1915
Démonstration géométrique d'un théorème de Cornu sur les caustiques	NAM	1915
Épi- et hypocycloïde associées	NAM	1915
Étude géométrique sur la rectification et la quadrature des épi- et hypocycloïdes	NAM	1915
Sur les couples de points associés sur une ellipse en vertu du théorème de Gagnano	NAM	1915
Le rôle des mathématiques dans les sciences de l'ingénieur	RGSPA	1915
À propos d'une récréation arithmétique	EM	1916

Deux conférences sur la Nomographie (I)	EM	1916
L'œuvre mécanique de L. Torres-Quevedo	RGSPA	1916
Deux conférences sur la Nomographie (II)	EM	1917
Sur le mouvement de la manivelle et de la tige guidée	NAM	1917
Henry Léauté (nécrologie)	RGSPA	1917
Sur les surfaces gauches circonscrites à une surface donnée le long d'une courbe donnée	CRAS	1918
Propriété des épi- et hypocycloïdes (question 4834, de F. Balitrand)	IM	1918
À propos d'une note de M. Matteo Bottasso sur une enveloppe de droites	NAM	1918
À propos d'un article sur la rectification approchée des arcs de cercle	EM	1919
Courbes en coordonnées multipolaires (question 4868, de F. Balitrand)	IM	1919
Problème sur les coniques posé par la métrophotographie	NAM	1919
Sur l'hélicoïde gauche	NAM	1919
Sur les centres de courbure des lignes décrites par les points d'une figure plane mobile dans son plan	NAM	1919
Sur les courbes à axe orthoptique et les courbes de direction	NAM	1919
Sur une homographie particulière et son application à la perspective	NAM	1919
Histoire des machines à calculer	BSEIN	1920
ur la distribution des courbures autour d'un point d'une surface	CRAS	1920
Pratique courante de la méthode nomographique des points alignés à propos de ses applications de guerre	CRCIM	1920
Équation angulaire d'un conoïde droit. Application au cylindroïde envisagé dans ses rapports avec la distribution des courbures autour d'un point d'une surface	NAM	1920
Simple remarque sur la cycloïde de Dupin	NAM	1920
Transformation polaire interaxiale	NAM	1920
Communication relative aux notes mathématiques de M. Neuberger	ASSB	1921
Sur le centre de courbure des podaires	ASSB	1921

Sur les lignes de courbure des quadriques	CRAS	1921
Vue d'ensemble sur les machines à calculer	BSM	1922
Sur l'examen comparatif de diverses méthodes nomographiques	CRAS	1922
Sur la réduction de la quatrième dimension à une représentation plane	CRAS	1922
Sur la représentation plane de l'espace	CRAS	1922
Sur les nomogrammes à transparent orienté	CRAS	1922
Jules Carpentier	NIF	1922
À propos de l'histoire de la nomographie	RGSPA	1922
Coup d'œil sur les principes fondamentaux de la nomographie	RGSPA	1922
Remarque sur les normales des quadriques à centre le long de leurs lignes de courbure	CRAS	1923
Sur les équations à quatre variables représentables à la fois par simple et par double alignement	CRAS	1923
Discours prononcé à la pose d'une plaque commémorative pour Alfred Picard	NIF	1923
Discours prononcé aux obsèques de M. Freycinet	NIF	1923
Sur les systèmes de quadriques ayant mêmes projections de leurs lignes de courbure sur un plan principal commun	NAM	1923
Addition à la note sur les adjointes infinitésimales des courbes planes	BSMF	1924
Coup d'œil sur l'histoire des machines à calculer	BSMF	1924
Sur les adjointes infinitésimales des courbes planes	BSMF	1924
Sur la description mécanique de l'ellipsoïde	CRAS	1924
Remarque sur la communication précédente (loi d'erreur harmonique)	CRAS	1925
Sur les procédés de simplification du calcul dérivé de la mécanique et de la géométrie	MPAS	1925
Discours prononcé au Congrès des sociétés savantes de Normandie	NIF	1925
Sur la quartique circulaire dite « Cappa »	NAM	1925
Aperçu sur l'histoire des sciences en France (sciences mathématiques et physiques)	RQS	1925

Le grand Ampère	RQS	1925
Le calcul nomographique avant la nomographie	ASSB	1926
Sur la classification générale des procédés géométriques et mécaniques de calcul	ASSB	1926
Sur la classification d'ensemble de tous les procédés de calcul dérivés de la géométrie et de la mécanique	CRAS	1926
Discours prononcé à la pose d'une plaque commémorative pour Dom Pedro II d'Alcantara	NIF	1927
Discours prononcé aux obsèques de M. Haton de la Goupillière	NIF	1927
Souvenirs sur quelques mathématiciens français du XIX ^e siècle	RQS	1927
Une nouvelle application des mathématiques aux études économiques. À propos du livre récent de M. Divisia	RGSPA	1927
Observations sur la communication précédente (arithmomètre)	CRAS	1928
Coup d'œil sur l'histoire de la balistique	RQS	1928
Les archives nomographiques de l'École des Ponts et Chaussées	RGSPA	1928
Sur deux fonds documentaires spéciaux de création récente (ENPC et CNAM)	A	1929
Résumé synthétique des principes fondamentaux de la nomographie	RGSPA	1929
Remarques au sujet de la note précédente (arithmomètre Thorrès)	CRAS	1930
Sur la machine arithmétique de Pascal	CRAS	1930
Sur les couples de rayons focaux d'une cubique	RMS	1930
L'œuvre mathématique de Georges Humbert	RQS	1930
Sur le rôle de la géométrie synthétique dans la formation des techniciens	RQS	1930
Paul Appell	RGSPA	1930
Une nouvelle synthèse des lois du monde physique	RGSPA	1930
Histoire des machines à calculer	ASSB	1931
Origine et état présent de la nomographie	BE	1931
Sur l'orthographe du nom de Tchebichef	BSM	1931

Remarques sur l'interpolation à propos d'une note récente de M. Wolkowitsch	CRAS	1931
Remarques sur la communication précédente (rotation entre deux corps)	CRAS	1931
Les polytechniciens à l'Institut	JEP	1931
Sur la trisection approchée d'un angle quelconque	EM	1931
Remarques sur quelques constructions relatives à l'ellipse	RMS	1931
Mathématiciens polytechniciens du XIXe siècle	RQS	1931
Avec Émile Picard	RGSPA	1931
Exemple de cubature s'effectuant au moyen des intégrales elliptiques de Legendre	ASSB	1932
Sur la polaire généralisée	ASSB	1932
La nomographie	B.E.	1932
Sur le conoïde droit à noyau sphérique	EM	1932
Le rôle de l'École Polytechnique dans la nation française	OEP	1932
Deux grands savants bas-normands : Laplace et Le Verrier	BSHAO	1933
Le conoïde droit à noyau sphérique	EM	1933
Sur la courbe d'Archytas	EM	1933
Sur la polaire généralisée	EM	1933
Quelques considérations sur les constructions géométriques	RGSPA	1933
Une curiosité mathématique : L'inscription de l'ennéagone régulier dans le cercle	RGSPA	1933
Sur l'inscription de l'ennéagone régulier	ASSB	1934
Les Ponts et Chaussées à l'Institut	APC	1934
La notion cercle instantané dans la théorie des mouvements plans	CRAS	1934
La notion de cercle instantané dans la théorie des mouvements plans	CRAS	1934
Singulière hérésie traditionnelle concernant la théorie de la vis sans fin	CRAS	1934
Sur une équation indéterminée d'ordre quelconque	CRAS	1934
Sur une équation indéterminée d'ordre quelconque (équation diophantienne)	CRAS	1934
Étude rationnelle du problème de la trisection de l'angle	EM	1934

Les faisceaux homoponctuels de courbes planes	EM	1934
Sur la cubature géométrique du cylindroïde	EM	1934
Sur le tranchet d'Archimède	EM	1934
Sur les quadrilatères semi-inscriptibles	RMS	1934
Encore un mot sur la trisection de l'angle	RGSPA	1934
Nouvelles et curieuses constructions géométriques approchées	RGSPA	1934
Solution très simple du problème de la trisection de l'angle	RGSPA	1934
À propos de la trisection de l'angle	ASSB	1935
Remarques au sujet d'une note récente de M. Lowett (courbes)	BSM	1935
Bibliographie des travaux mathématiques et des publications sur l'histoire des sciences	JEP	1935
Extraits de lettres de M. d'Ocagne (tranchet d'Archimède et trisection de l'angle)	EM	1935
Observations relatives à la note de M. Raymond Valtat (machine à calculer)	CRAS	1936
Sur une classe particulière de surfaces cerclées : les toroïdes	RMS	1936
Calcul graphique	LMI	1937
Les variétés de l'art du calcul	LMI	1937
Torres Quevedo	LMI	1937
Calcul nomographique	LMI	1938

Nomenclature des journaux :

A : Archeion

AENS : Annales de l'École normale supérieure

AFAS : Association française pour l'avancement des sciences

AJM : American Journal of Mathematics

AM : Acta Mathematica

AMP. : Archiv der Mathematik und Physik

APC : Annales des ponts et chaussées

ARSI : Annual Reports of the Smithsonian Institut

ASEPP : Annales scientifiques de l'École polytechnique de Porto

ASSB : Annales de la Société scientifique de Bruxelles

BA : Bulletin astronomique

BARB. : Bulletin de l'Académie royale de Belgique

BATM : Bulletin de l'Association technique maritime

BE : Barometro economico

BSMA. : Bulletin des sciences mathématiques et astronomiques

BSAEP : Bulletin de la Société des amis de l'École polytechnique

BSEIN : Bulletin de la Société d'encouragement à l'industrie nationale

BSHAO : Bulletin de la Société historique et archéologique de l'Orne

BSM : Bulletin des sciences mathématiques

BSMF : Bulletin de la Société mathématique de France

BSPMK : Bulletin de la Société physico-mathématique de Kasan

BSSB : Bulletin de la Société scientifique de Bruxelles

CCP : Chicago Congress Papers

CRAS : Comptes rendus de l'Académie des sciences

CRCIM : Comptes rendus de congrès international des mathématiciens

EM : L'Enseignement mathématique

ET : Educational Times

GC : Le Génie civil

IM : L'Intermédiaire des Mathématiciens

JEP : Journal de l'École polytechnique

JME : Journal de mathématiques élémentaires

JMS : Journal de mathématiques spéciales

JPTA : Journal de physique théorique et appliquée

JSMA : Jornal de ciencias mathematicas e astronomicas de M. Gomes Teixeira

JSMPN : Jornal de ciencias mathematicas, physicas, e natureas da Academia real das ciencias de Lisboa

KMMP : Katakog mathematischer und mathematisch-physikalischer Modelle, Apparate und Instrumente

LN : La Nature

LMI : Larousse mensuel illustré

M : Mathesis

MPA : Le Matematiche pure ed applicate

MPAS. : Memorie della Pontificia Accademia delle scienze Nuovi Lincei

MSRSL : Mémoires de la Société Royale des sciences de Liège

N : La Naturaleza

NAM : Nouvelles annales de mathématiques

NAW : Nieuw Archief voor Wiskunde

NIF : Notices publiées à part par l'Institut de France

OEP : Ouvrage de l'École polytechnique

PEMS : Proceedings of the Edinburgh Mathematical Society

PLMA : Proceedings of the London Mathematical Society

PMIS : Periodico di matematica per l'insegnamento secondario

RGSPA : Revue générale des sciences pures et appliquées

RMC : Revue maritime et coloniale

RMS : Revue de mathématiques spéciales

RQS : Revue des questions scientifiques

RRACE : Revista de la real Academia de ciencias exactas, físicas y naturales de Madrid

RS : La revue scientifique

ZV : Zeitschrift für Vermessungswesen

ZMP : Zeitschrift für Mathematik und Physik

Annexe **D**

Description de personnes dans les livres de souvenirs de d'Ocagne

Liste des personnages décrits par Maurice d'Ocagne dans ses huit livres de souvenirs. Seuls sont cités les personnages ou familles ayant au minimum une page de description. Les descriptions peuvent être des traits physiques, moraux, des anecdotes ou des études généalogiques. Les pages référencées sont celles qui disposent d'informations conséquentes mais il peut également y avoir des informations éparses à d'autres endroits.

La troisième colonne renvoie au numéro du livre (de 1 à 8), la quatrième colonne donne la page du livre concerné, et la dernière colonne rend compte de l'importance des informations données en quantité de pages : * de une à quatre pages ; ** de cinq à neuf pages et *** dix pages et plus.

Nom	Prénom	N°	Page	Grade, profession	
Albert 1 ^{er} de Belgique		4	201	Roi des Belges	*
Albert 1 ^{er} de Monaco		4	206	Prince de Monaco	*
Angély (d')	Mme	1	107	Châtelaine	**
Appell	Paul	8	200	Mathématicien	*
Babé	Jules	2	171	Ingénieur	*
Barrère	Camille	4	285	Diplomate	*
Barrès	Maurice	4	305	Écrivain, politicien	*
Benignus	Benjamin	1	83	Pasteur	*
Bernhardt	Sarah	3	22	Actrice	*
Bertall		4	342	Dessinateur	*
Bertrand	Joseph	8	126	Mathématicien	***

Bertrand	Louis	4	268	Écrivain	*
Besnard	Albert	4	324	Peintre	*
Bonaparte	Jeanne	4	166	Princesse	*
Bonaparte	Louis	4	140	Prince	**
Bonaparte	Marie-Laëticia	4	149-165	Princesse	*
Bonaparte	Mathilde	4	119	Princesse	***
Bonaparte	Roland	4	160	Prince, géographe	**
Boulad Bey	Farid	8	233	Ingénieur	*
Bourée	Paul	3	65	Inspecteur	*
Boussibesq	Joseph	8	175	Mathématicien	*
Bresse	Charles	8	153	Inspecteur général	*
Breton	Guillaume	4	316	Éditeur (hachette)	*
Brunetière	Ferdinand	4	302	Historien, critique	*
Cadet	Claude	1	24	Chirurgien	*
Caillaux	Joseph	2	232	Politicien	*
Capus	Alfred	4	248	Journaliste, écrivain	*
Caran d'Ache		4	339	Dessinateur	*
Catalan	Eugène	8	226	Mathématicien	*
Cavaignac	Godefroy	4	283	Politicien	*
Cavalhès	Famille	1	17		*
Cesaro	Ernest	8	230	Mathématicien	*
Chanton	Famille	2	235		*
Chasles	Michel	8	124	Mathématicien	*
Clairin	Georges	4	340	Peintre	*
Claveille	Albert	2	261	Ingénieur	*
Clémentine de Belgique		4; 7	136; 13	Princesse	**
Clotilde de Savoie		4	130-139	Princesse	*
Collignon	Édouard	8	154	Ingénieur	*
Coppée	François	4	302	Poète	*
Coquelin	Frères	4	363	Acteurs	*
Courteline	Georges	4	250	Romancier	*

Darboux	Gaston	8	168	Mathématicien	*
Daudet	Léon	4	240	Écrivain, journaliste, politicien	*
Defer de Maisonneuve	Adèle	1	18-59		*
Delebecque	André	2	136	Ingénieur	*
Deschanel	Paul	4	281	Président	*
Desprez	Henry	2	200	Prêtre, ingénieur	*
Detaille	Édouard	4	322	Peintre	*
Donnay	Maurice	4	249	Poète	*
Drujon	Auguste	1	97	Servant	*
Dubois	Louis-Ernest	4	225	Cardinal	*
Dumas	Alexandre	4	234	Écrivain	*
Élisabeth en Bavière		4; 7	206; 95	Reine de Belgique	**
Eugénie de Montijo		4; 7	151; 12	Impératrice	*
Faber	Eugénie	2	206-251		Tante
Fay	Maurice	6	316	Ingénieur	*
Fèbvre	Frédéric	2	147	Acteur	*
Forain	Jean-Louis	4	337	Peintre	*
Forestier	Jean-Claude-Nicolas	2	166	Urbaniste, paysagiste	*
Franceschi	Jules	4	343	Sculpteur	*
Freycinet (de)	Charles	4	282	Ministre, ingénieur	*
Ganderax	Louis	2	110	Journaliste, critique	*
Gandèze		2	166	Polytechnicien	*
Gauthier Villars	Henry	4	255	Journaliste, romancier	*
Gebhart	Émile	4	242	Historien, critique	*
Gerbault	Alain	7	99	Aviateur, écrivain	*
Gérôme	Jean-Léon	4	313	Peintre, sculpteur	*
Gisquet	Henri-Joseph	1; 2	27; 248	Préfet	*
Goncourt (de)	Edmond	4	239	Écrivain	*
Gournerie (de la)	Jules Maillard	8	160	Mathématicien	*

Gramont	Famille	7	93	Duc et duchesse	*
Guitry	Lucien	2	133	comédien	*
Guynemer	Georges	6	315	Aviateur	*
Hainguerlot	Famille	1	26		*
Halphen	Georges Henri	8	166	Mathématicien	*
Hanotaux	Gabriel	4	271	Historien, politicien	*
Hébert	Ernest	4	310	Peintre	*
Hénocque	Georges	6	274	Abbé	*
Hermitte	Charles	3; 8	55; 136	Mathématicien	**
Herr	Frédéric-Georges	6	268	Général	*
Hillemacher	Gabrielle	2; 6	196-199; 321	Femme de Maurice	**
Hillemacher	Frédéric	2	203-209	Beau-père	***
Hugo	Victor	2	254	Ecrivain	*
Humbert	Georges	3; 8	70; 201	Mathématicien	**
Inaudi	Jacques	7	116	Calculateur	*
Isabelle d'Espagne		4	214	Reine d'Espagne	*
Jordan	Camille	8	155	Mathématicien	*
Jourdain	Roger	4	333	Peintre	*
Klein	Felix	8	223	Mathématicien	*
Laguerre	Edmond	8	165	Mathématicien	*
Lalanne	Léon	2; 8	192; 177	Ingénieur, politicien	*
Lallemand	Charles	2	193	Ingénieur	*
Lambert	Tristan	2	236	Politicien	**
Laussedat	Aimé	8	181	Ingénieur	*
Lavedan	Henri	4	244-293	Journaliste, auteur	*
Le Myre de Vilers	Charles	4	287	Politicien	*
Lemaître	Jules	4	303	Écrivain, critique	*
Lemoine	Emile	2; 8	250; 214	Mathématicien	*
Lenotre	G.	4	266	Historien	*
Léopold II		4	196	Roi de Belgique	*

Leperche		1 ; 2	62- 86;163	Commandant	**
Leps	Famille	3	8		*
Leroux	Louis Hector	4	330	Peintre	*
Lévy	Maurice	8	171	Mathématicien	*
Liais	Famille	3	72		*
Lorin	Henri	4	289	Député, géographe	*
Loti	Pierre	3	18	Officier, écrivain	*
Loyenet	Joséphine	1	61	Servante	*
Lucas	Edouard	3 ; 8	110 ; 217	Mathématicien	*
Madelin	Louis	4	270	Député, historien	*
Mangin	Charles	3	70	Général	*
Mangini	Lucien	3	54	Ingénieur	*
Mannheim	Amédée	8	143	Officier, ingénieur, ma- thématicien	**
Mar	Mme	1	67	Institutrice	*
Mathieu	François- Désiré	4	223	Cardinal, historien	*
Mélinge	Calixte	3	23	Abbé Alta	*
Mercier	Désiré-Joseph	4	230	Cardinal	*
Morot	Aimé	4	317	Peintre, sculpteur	**
Moulinneuf	M.	1	100	Président de tribunal	*
Moutard	Florentin	8	162	Professeur	*
Murat	Famille	4	170-175		*
Napoléon	Jérôme	4 ; 7	129-139 ; 12	Prince	**
Napoléon	Victor	4	135	Prince	*
Nay	Jules-Ernest	1	31		*
Ney	Napoléon Joseph	4	176-178	Prince de la Moskowa	***
Noailles (de)	Anna	4	259	Comtesse, poétesse	*
Ocagne (d')	Auguste	1	21	Ancêtre	*
Ocagne (d')	Benjamin	1	39	Ancêtre	*

Ocagne (d')	Edmond	1	20	Ancêtre	*
Ocagne (d')	Gustave	1	33	Ancêtre	***
Ocagne (d')	Gabrielle	1	196...	Femme	***
Ocagne (d')	Mortimer	6	334	Père	*
Ocagne (d')	Paul	1; 3; 6	54; 36; 288-294	Frère	*
Ocagne (d')	Pauline	1	32	Mère	*
Ocagne (d')	Pierre	2; 3; 6	234-242; 92-122; 291-336	Fils	**
Ocagne (d')	Suzanne	6	322-344	Fille	*
Offenbach	Famille	2	190-197		*
Ollivier	Émile	4	273	Politicien	*
Orléans (d')	Gaston	4	194	Comte d'Eu	*
Orléans (d')	Amélie	4	195	Reine du Portugal	*
Orléans (d')	Emmanuel	4	192	Duc de Vendôme	*
Pagnerre	Famille	2	208		*
Painlevé	Paul	3; 8	71; 205	Ministre	*
Pasteur	Louis	3	37	Scientifique	*
Pégoud	Adolphe	6	261	Aviateur	*
Pellé	Maxime	2	193	Ingénieur	*
Perrochel (de)	Jules	1	102	Châtelain	**
Picard	Émile	8	197	Mathématicien	*
Poincaré	Henri	2; 8	233; 185	Mathématicien	***
Poincaré	Raymond	4	278	Président	*
Poiré	Paul et Adrien	2	134	Professeur, ingénieur	*
Popelin	Claudius	4	326	Peintre, Poète	*
Porto-Riche	Georges	4	247	Romancier	*
Primoli	Joseph	4	154	Comte	**
Puvis de Chavannes	Pierre	4	331	Peintre	*
Quevedo	Torres	8	231	Mathématicien	*
Radolin (von)	Hugo	4	219	Prince, ambassadeur	*

Résal	Henri	8	156	Mathématicien	*
Ribaucour	Albert	8	169	Mathématicien	*
Roccagiovine	Lucien	4	158	Politicien	*
Rochard	Eugène	3	14	Chirurgien, professeur	*
Ross	Patrick	6	324	Lieutenant canadien	*
Rostand	Edmond	4	246	Écrivain, poète	*
Rousseau	Le douanier	4	344	Peintre	*
Roy	René	6	317	Ingénieur	*
Saint-Amand (de)	Imbert	4	265	Historien	*
Sainte-Preuve	famille	1	121		**
Sardou	Victorien	4	237	Auteur	*
Sarrau	Émile	8	173	Mathématicien	*
Sicotière (de la)	Léon et Jules	1	113		***
Tawil	Edgar	7	97	Scientifique	*
Tchebichef	Panouftiy	8	218	Mathématicien	*
Thomas	Familles	2	215		**
Thorailleur	Famille	2	189		*
Tocqueville (de)	René Clérel	3	73	Vicomte, officier	*
Tornielli	Giuseppe	4	217	Comte	*
Touchet	Stanislas-Arthur-Xavier	4	229	Cardinal	*
Valery	Paul	4	259	Écrivain, philosophe	*
Verdier	Jean	4	228	Cardinal	*
Verne	Jules	2	143	Écrivain	*
Vilfort	E.	6	328	Abbé	*
Weygand	Maxime	6	308	Général	*

Index des noms propres

A

Adams, Douglas P., 193
Ahmed-Ben-Khalaf, 65
Alambert, Jean le Rond d', 67
Ambard, Léo, 168
André, Louis, 285–287
Angely, Albert, comte d', 252
Appell, Paul, 89, 227

B

Babbage, Charles, 52
Baes, Louis, 156–159, 193, 213
Balogh, Arthur, 50
Barrès, Maurice, 269
Bazin, Henry, 142, 144
Beaurepaire, R. de, 51
Beghin, Maurice, 113
Bell, Herbert, 229
Bellencontre, Joseph, 75
Bernhardt, Sarah, 273
Berthelot, Marcelin, 265
Bertrand, Joseph, 89, 292, 294
Blanc, Edmond, 269, 271
Blondel, André, 146–150
Boisseau, P., 167
Bonaparte, Jérôme, 264
Boulad Bey, Farid, 45, 46, 50–52, 54,
205, 206, 237, 295, 303–317

Boulad, Youssef, 306
Bouquet de La Grye, Anatole, 89
Bourgeois, Robert, 191, 278, 279
Bouvier, Adolphe, 152
Bricard, Raoul, 284, 285
Brikas, E., 51, 167–169
Broglie, Maurice de, 322
Brun, Raymond le, 109
Buache, Philippe, 70

C

Cantor, Georg, 218
Caran d'Ache, 269
Cavailhès, Anne-Charlotte, 247
Chancel, A., 191
Chasles, Michel, 292, 297
Chenevier, Paul-Nicolas, 154
Chéry, J., 153
Chrétien, Henri, 127
Clark, John, 44, 286, 313–315, 323
Colbert, Jean-Baptiste, 245, 247
Collignon, Édouard, 224–226
Constan, Paul, 122, 123
Coppée, François, 269
Cousinery, Édouard, 71, 72
Cruquius, Nicolaus Samuelis, 70
Cugnot, Nicolas-Joseph, 85
Culmann, Karl, 72, 73, 309

D

Darboux, Gaston, 89, 309
 Darcy, Henry, 140, 142
 Dariès, Georges, 141–143
 Davaine, Emmanuel-Napoléon, 98
 Debauxe, Alphonse, 139
 Defer de Maisonneuve, Adèle, 247
 Demidoff, Anatoli, 264
 Deprez, Marthe, 247
 Descartes, René, 69, 70
 Doorslaer, W. van, 158
 Dreyfus, Alfred, 267–270, 285
 Dugas, René, 20
 Dumas, Alexandre, 265
 Dumas, G., 51
 Dumoutier, Henri, 213
 Dupin, Charles, 89
 Dupuit, Jules, 142
 Dyck, Van, 286

E

Eichhorn, Melker Johan, 50, 51,
 215–217
 Elubert, Jean, 135
 Esnouf, Auguste, 51
 Eugénie, impératrice, 263

F

Favaro, Antonio, 286
 Favé, Louis, 119, 121, 122, 223
 Fischer, Alexander, 205, 218, 220,
 232, 320
 Flamant, Alfred, 142
 Flaubert, Gustave, 265
 Fleury, Émile, 315
 Fontenay, Maurice de, 287

Forestier, Georges, 283
 Froidevaux, 178, 180
 Frossard, Albert, 274
 Fujisawa, R., 51
 Fürle, Hermann, 151

G

Ganderax, Louis, 264
 Gercevanoff, Nikolai, 50
 Gianfranceschi, Giuseppe, 300
 Gisquet, Henri-Joseph, 248
 Glagoleff, Nil, 50, 51
 Goedseels, Édouard, 213
 Goldziher, Ignaz, 311
 Gorrieri, Domenico, 286
 Goybet, Pierre, 135, 183, 187, 188
 Greenkinle, A., 51
 Guiche, de, 126–128
 Guimares, 51

H

Haag, Paul, 285–287
 Hansson, Halvor, 51
 Henderson, Lawrence, 167
 Henssge, Claus, 193
 Heredia, José-Maria, 269
 Hermitte, Charles, 89, 269, 273, 299
 Herr, Frédéric-Georges, 186,
 189–191, 281
 Hilbert, David, 51
 Hillemacher, Marie-Gabrielle, 1, 256,
 260, 261, 265, 266, 271, 279
 Hillemacher, Frédéric-Désiré, 260
 Hjelmman, 51
 Hugues, Edward-Geroges, 88
 Humbert, Georges, 299

I

Icre, 187

J

Joitel, A., 150–152
Jonesco, J., 51, 197
Jordan, Camille, 89
Jouquet, Émile, 286

K

Kamber, F., 167
Kantorovitch, Leonid, 90
Kohn, 313
Kraïtchik, Maurice, 164–166
Krull, Fritz, 206

L

Lafay, A., 129, 130, 137
Lagrula, J., 127
Lalanne, Léon, 4, 60, 70, 76–78, 82,
98, 102, 110, 140, 141, 161,
162, 293, 294, 319
Lallemand, Charles, 60, 78, 80, 81,
102, 141, 205, 251, 276–279,
281, 294
Lanave, Louis, 110, 111
Laranjeira, Vitorino Teixeira, 286
Laroquette, François Miramond de
la, 215
Laska, Vaclav, 286
Laski, W., 191
Laussedat, André, 296
Lazare, Bernard, 268
Lebrec, Léon, 155, 156, 159
Legoux, Pierre, 51
Lelarge, 151
Lamaître, Jules, 269
Lévy, Maurice, 73
Levy, Paul, 293
Lilicotrom, Alfred, 51

Lobet, Jean, 85
Loti, Pierre, 263
Loubet, Émile, 268
Loyenet, Joséphine, 249, 250
Luckey, Paul, 64, 66, 205, 218, 219,
232, 311

M

Mandl, Julius, 50, 51, 155
Mannheim, André, 284, 285, 293
Massau, Junius, 78, 102, 141, 205,
283, 296, 313, 319, 323
Massau, junius, 60
Mathilde, princesse, 7, 43, 262–266,
269, 271, 286
Mayer, Émile, 285
Mehmke, Rudolf, 50, 51, 151, 218,
219, 286, 297, 311
Merten, A., 213
Michel, A., 135, 186
Millot, Stanislas, 50–52, 207, 213,
215, 232
Minnaert, E., 213
Moïse, Albin, 268
Molfino, 229
Monaco, prince de, 51
Monge, Gaspard, 88, 89
Morton, W.B., 51
Mounier, J., 160, 165, 166
Muyden, Aloys van, 140–142

N

Nay, Pauline, 1
Nay, Jules-Ernest, 248
Neper, John, 68
Nyström, Evert Johannes, 220, 229

O

Obenheim, Alexandre-Magnus d', 74
 Ocagne, Abraham d', 245
 Ocagne, Suzanne d', 261, 266, 279
 Ocagne, Pierre d', 261, 266, 281
 Ocagne, Gabriel d', 247
 Ocagne, Guillaume, 244
 Ocagne, Gustave d', 247
 Ocagne, Jean d', 244
 Ocagne, Jean-Benjamin d', 247
 Ocagne, Mortimer d', 1, 247–249, 261
 Ocagne, Paul d', 248–250, 252, 260, 263, 273, 281
 Ocagne, Pauline-Marie d', 248, 251
 Ocagne, Philibert d', 247
 Offenbach, Jacques, 260
 Ohnesorge, Otto, 89

P

Pagnerre, Édouard, 260
 Pagnerre, Éléonore, 260
 Painlevé, Paul, 183, 190, 262, 268
 Paris, J.F., 178
 Pasquier, Ern, 51
 Pasteur, Louis, 265, 273
 Paulin, Honoré, 109–111
 Peddle, John Bailey, 311
 Pégoud, Adolphe, 280
 Perret, Eugène, 52, 117, 121, 212, 229
 Pesci, Giuseppe, 50, 51, 123–126, 129, 205, 206, 212–214, 228, 229, 232, 286, 320
 Petitcollot, E., 286
 Picquart, Marie-Georges, 268
 Poincaré, Henri, 262, 284, 285, 293, 297, 299

Polony, Ernest, 271, 272
 Potin, Louis, 51, 52, 115, 124–126, 147–150, 167, 168, 232
 Pouchet, Louis-Ézéchiél, 4, 60, 74–76, 102, 319
 Prévost, Eugène, 278
 Prony, Gaspard de, 142
 Provost, André, 191
 Ptolémée, Claude, 68
 Pujol, R., 91, 92

Q

Quiquet, A., 161–163

R

Radau, Rodolphe, 223
 Ricci, Giuliano, 286
 Ridet, Jaques, 216
 Robin, Paul, 222
 Rollet de l'Isle, Maurice, 119, 122
 Rollet, Henry, 223
 Ronneaux, 173
 Rouillet, Henry, 144, 145
 Runge, Carl, 218, 311

S

Saint-Germain, Albert de, 89
 Saint-Hilaire, Adolphe Marcq de Blond de, 119
 Sarraill, Maurice, 279
 Schilling, Friedrich, 76, 286
 Schoofs, G., 213
 Sérillac, Marie Faudoas, comtesse de, 252
 Shisha, E, 51
 Siegler, Ernest, 109
 Soreau, Rodolphe, 52, 144–147, 163, 205, 313, 314, 323

Sumner, Thomas Hubbard, 119

Suttor, Charles-Eugène, 286

Syveton, Gabriel, 271

T

Terquem, Olry, 75

Thorailleur, André, 260

Thouars Duplessis, Marie, 245

Tongas, Philippe, 116

Torres, Leonardo, 50, 51

U

Ulkowski, Francidrek, 51

V

Vaes, Franciscus Johannes, 50, 51,
114, 115, 212, 213, 232, 286

Vallot, Henri, 142

Van den Berg, F.-J., 307

Verne, Jules, 262, 263

Villemarqué, E. de la, 220

Vitruve, Marcus, 61–64

Vogler, Christian August, 82

Vranic, Vladimi, 51

W

Watt, James, 85

Weir, Thomas, 229

Whittaker, E.T., 51

Willotte, Henri, 109

Wurtemberg, princesse Catherine de,
264

Würth-Micha, Maurice, 213

Z

Zola, Émile, 268

Table des matières

Résumé	xiii
Remerciements	xv
Sommaire	xvii
Liste des tableaux	xxi
Table des figures	xxiii
Introduction	1
I Les données disponibles sur Maurice d’Ocagne et la nomographie : ses publications, ses archives nomographiques	9
1 État de l’art des publications de Maurice d’Ocagne avant la découverte du fonds d’archives de l’ENPC	13
1.1 Étude des livres écrits par d’Ocagne	14
1.2 Étude des articles publiés par d’Ocagne	20
1.2.1 Chronologie de ses publications	20
1.2.2 Étude des domaines	23
1.2.3 Étude des journaux	25
1.2.4 Étude des pays	28
1.3 Conclusion	29
2 De nouvelles sources	31
2.1 Les fonds d’archives déposés par d’Ocagne	32
2.2 Le cas particulier des archives nomographiques	33
2.3 Mise en place de l’exploitation de ces données	36
2.4 Étude de la correspondance reçue	43
2.4.1 Étude chronologique	44
2.4.2 Étude du contenu des lettres	46
2.4.3 Étude de la provenance des lettres	48
2.5 Conclusion	52

II	La nomographie, une branche des mathématiques en constante évolution depuis la fin du 19^e siècle	55
3	Une rapide histoire du calcul graphique et de la nomographie	59
3.1	Les premières méthodes de calcul graphique	60
3.1.1	Les prémices du calcul graphique	61
3.1.2	Les tableaux numériques	67
3.1.3	De Descartes aux premières représentations de lois par des graphiques	69
3.1.4	Le calcul par le trait et la statique graphique, naissance du calcul graphique	71
3.2	La nomographie	73
3.2.1	1797 : les abaques à courbes cotées de Pouchet	74
3.2.2	1842 : l'anamorphose de Lalanne et Massau	76
3.2.3	1885 : les abaques hexagonaux de Lallemant	78
3.2.4	1884 : les nomogrammes à points alignés de d'Ocagne	82
3.3	Étude de cas : déblais et remblais	84
3.3.1	Les chemins de fer en France au 19 ^e siècle	85
3.3.2	Le problème géométrique des déblais et remblais	86
3.3.3	La solution des nomogrammes	90
	Un peu de génie civil : étude de terrain pour la construction des routes et des voies ferroviaires	90
	Les profils en travers	92
	Les nomogrammes pour le calcul des aires	98
3.4	Conclusion	102
4	L'utilisation de la nomographie entre le 19^e et le 20^e siècle	105
4.1	Domaines d'utilisation	106
4.1.1	Terrassement et chemins de fer	108
	Des nomogrammes pour le terrassement	108
	Des nomogrammes pour la mécanique et la gestion des trains	113
4.1.2	Navigation navale, aérienne et astronomique	117
	Des nomogrammes pour la navigation astronomique et maritime	118
	Des nomogrammes pour l'aviation	123
4.1.3	Balistique	128
4.1.4	Énergies	139
	Les nomogrammes pour le transport de l'eau	139
	Les nomogrammes pour déterminer certaines propriétés des éléments	144
	Les nomogrammes de transport de l'électricité et de la lumière	146
4.1.5	Résistance des matériaux	152
4.1.6	Économie et médecine	159
4.2	Étude de cas : le nomogramme pendant la Grande Guerre	168
4.2.1	Contexte : la Première Guerre mondiale	169

L'artillerie	170
La préparation et le réglage des tirs	171
4.2.2 Le nomogramme : une solution aux préparations et aux réglages de tirs?	173
Des abaques à droites concourantes pour le réglage du tir	174
Un nomogramme à points alignés pour le transport de tir	178
4.2.3 Le rôle de Maurice d'Ocagne et du bureau nomographique pendant la Première Guerre	183
Le Rôle du bureau d'études nomographiques	183
Les demandes d'abaques	184
Des améliorations sans cesse proposées	189
La demande d'entrée à l'Académie des sciences de d'Ocagne	189
4.3 Conclusion	190
5 La circulation de la nomographie dans les journaux	195
5.1 Étude des journaux du fonds d'Ocagne	196
5.1.1 Étude statistique des thèmes abordés dans les journaux	198
5.1.2 Étude des journaux	202
Les journaux spécialisés	203
Journaux scientifiques et techniques	204
Les journaux généralistes	207
5.1.3 Langues, pays et auteurs	207
5.2 Étude de cas : circulation d'un article sur la trigonométrie sphérique	220
5.2.1 Le triangle sphérique	220
5.2.2 Les nomogrammes du triangle sphérique de d'Ocagne	222
5.2.3 Et ailleurs...	228
5.3 Conclusion	230
III Maurice d'Ocagne, un ingénieur-savant aux multiples facettes	235
6 La jeunesse de Maurice d'Ocagne	239
6.1 La famille d'Ocagne	244
6.1.1 Origine patronymique	244
6.1.2 Sa famille paternelle	245
6.1.3 Sa famille maternelle	248
6.2 L'enfance de d'Ocagne	248
6.2.1 Lieux d'habitation parisiens et guerre de 1870	249
6.2.2 Escapades estivales	250
6.2.3 Scolarité en institution et au collège Chaptal	252
6.3 Ses études d'ingénieur	253
6.3.1 L'École polytechnique	254
6.3.2 L'École des ponts et chaussées	255
6.4 Conclusion	257

7 La vie d'adulte de Maurice d'Ocagne	259
7.1 Sa vie personnelle	260
7.1.1 Vie familiale	260
7.1.2 Ses passions littéraires et théâtrales	262
7.1.3 Les salons de la princesse Mathilde	264
7.1.4 L'affaire Dreyfus et la Ligue de la patrie française	267
7.2 Sa vie professionnelle	271
7.2.1 Sa carrière d'ingénieur des Ponts et Chaussées	271
Rochefort : 1885-1888, service hydraulique	271
Cherbourg : 1888-1889, service hydraulique	273
Pontoise : 1889-1891, service ordinaire de Seine et Oise	275
Paris : 1891-1926, service du nivellement de la France	276
Première Guerre mondiale : 1914-1918, mobilisation	278
7.2.2 Sa carrière d'enseignant	282
Ses premiers pas dans l'enseignement	282
Son entrée à l'École polytechnique	284
7.2.3 Sa carrière de scientifique	288
La genèse d'une passion : ses premiers écrits en tant qu'élève	288
La montée en puissance : ses premiers travaux mathématiques	292
Le Graal : l'essor de la nomographie	293
Les « dommages collatéraux » de la nomographie : l'intégration graphique et les instruments et machines de calcul	296
Son appartenance à des sociétés mathématiques	297
7.3 Conclusion	300
8 Étude de cas : le lien singulier avec son élève Farid Boulad Bey	303
8.1 Farid Boulad Bey	305
8.2 Ses apports techniques à la nomographie	307
8.3 Un fervent défenseur de la nomographie et de d'Ocagne	309
8.4 Conclusion	317
Conclusion générale	319
Bibliographie de la thèse	325
Correspondance utilisée dans la thèse	341
A Frise chronologique de la vie de Maurice d'Ocagne	345
B Contenu des archives de l'École des ponts et chaussées	349
Articles et documents des archives	351
Correspondance des archives	381
C Articles écrits par Maurice d'Ocagne dans des journaux	407

Table des matières	447
D Description de personnes dans les livres de souvenirs	429
Index des noms propres	437
Table des matières	443

LES ARCHIVES NOMOGRAPHIQUES DE L'ENPC : un nouveau regard sur Maurice d'Ocagne et l'histoire de la nomographie

Résumé

La nomographie est une branche des mathématiques appliquées née vers la fin du 19^e siècle qui a pour objet la théorie et les méthodes de construction de graphiques cotés qui permettent, par simple lecture, d'effectuer des calculs numériques rapidement. Les archives nomographiques déposées à l'École nationale des ponts et chaussées (ENPC) par Maurice d'Ocagne à sa retraite en 1927 et retrouvées il y a une dizaine d'années, permettent un regard nouveau sur cet ingénieur et sur l'histoire de la nomographie en général. L'objet de cette thèse est donc, au travers des documents de ces archives (articles récoltés, nomogrammes édités et lettres reçues), d'effectuer une étude historique et sociale de la nomographie, et plus particulièrement du rôle de d'Ocagne, considéré comme le père de la discipline. En complément, nous apporterons quelques éléments nouveaux à la biographie de ce dernier.

Mots clés : calcul graphique, nomographie, nomogramme, mathématiques, histoire, ocagne, abaqes, archives enpc.

Abstract

Nomography is a branch of applied mathematics which appeared towards the end of the 19th century. It deals with the theory and methods of constructing rated graphs that enable numerical calculations to be carried out quickly by simply reading them. The nomographic archives deposited at the École nationale des ponts et chaussées (ENPC) by Maurice d'Ocagne on his retirement in 1927, and found about ten years ago, allow a new vision of this engineer and of the history of nomography in general. The purpose of this thesis is therefore to carry out a historical and social study of nomography through the documents in these archives (articles collected, nomograms published and letters received), and more particularly to study the role of d'Ocagne, considered as the father of nomography. In this thesis we will also bring some new elements to his biography.

Keywords: graphic calculation, nomography, nomogram, mathematics, history, ocagne, abacus, archives enpc.

LIM

Laboratoire d'Informatique et de Mathématiques – Parc Technologique Universitaire – Bâtiment 2 – 2 rue Joseph Wetzell – 97490 Sainte Clotilde – France