



HAL
open science

Histoire du calcul graphique

Dominique Tournès, Konstantinos Chatzis, Ahmed Djebbar, Marie-José Durand-Richard, Joachim Fischer, Galina Zvernika

► **To cite this version:**

Dominique Tournès (Dir.). Histoire du calcul graphique. Cassini, 2022, Nouvelle bibliothèque mathématique, 978-2-84225-138-3. hal-03935854

HAL Id: hal-03935854

<https://hal.science/hal-03935854v1>

Submitted on 12 Jan 2023

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

NOUVELLE BIBLIOTHÈQUE
MATHÉMATIQUE

SOUS LA DIRECTION DE
DOMINIQUE TOURNÈS

histoire du
calcul
graphique

C A S S I N I

Le calcul graphique est fondé sur la correspondance entre les deux grands types d'objets mathématiques que sont les nombres et les figures, autrement dit l'algèbre et la géométrie. Les données numériques d'un problème étant représentées par des segments, on réalise ensuite des constructions géométriques qui aboutissent à de nouveaux segments dont les longueurs représentent les résultats recherchés. Plus rapide que le calcul numérique utilisant les tables de logarithmes, le calcul graphique a longtemps convenu aux besoins courants des ingénieurs et d'autres professions ne recherchant pas une très grande précision.

Si l'on rencontre dans l'Antiquité et au Moyen Âge des pratiques qui s'apparentent au calcul graphique moderne, c'est au XIX^e siècle que ce dernier s'est constitué en tant que corps de doctrine. Il a alors confirmé sa pertinence et son efficacité au service, entre autres, du rôle croissant de l'artillerie dans les opérations militaires, du développement rapide des réseaux de routes et de voies ferrées, et de la conception de grandes structures métalliques comme la tour Eiffel. Après avoir connu son apogée entre les deux guerres mondiales, il est entré en déclin face à la concurrence des calculatrices électroniques et des ordinateurs.

En dépit de son importance, le calcul graphique n'a pas encore fait l'objet d'une contribution d'envergure de la part des historiens des sciences. Le présent ouvrage se propose donc d'étudier l'histoire de cette discipline dans son ensemble, de rechercher des traces de ses origines et de se pencher de manière approfondie sur ses diverses composantes.

Konstantinos Chatzis, Ahmed Djebbar, Marie-José Durand-Richard, Joachim Fischer, Dominique Tournès et Galina Zverkina sont historiens des sciences. Leurs travaux, tout en portant sur des périodes différentes, depuis l'Antiquité jusqu'au milieu du XX^e siècle, se rejoignent dans l'étude historique et sociologique de l'instrumentation mathématique et des pratiques de calcul dans divers milieux professionnels.

C A S S I N I

ISBN 978-2-84225-239-7



9 782842 252397

Table des matières

Introduction	1
Dominique TOURNÈS	
Bibliographie de l’introduction	9
Chapitre 1. Méthodes graphomécaniques dans l’Antiquité	11
Galina ZVERKINA	
1.1. Babylone et Égypte	13
1.2. Mathématiques architecturales de la Russie ancienne	16
1.3. Méthodes graphomécaniques dans les mathématiques grecques	19
1.3.1. Les courbes dans les mathématiques grecques	19
1.3.2. La règle et le compas entre théorie et pratique	23
1.3.3. Trisectrices et spirale	26
1.3.4. Conchoïde et cissoïde	33
1.3.5. Sur la kampyle d’Eudoxe	36
1.3.6. Sections coniques	40
1.3.7. Instruments mécaniques de calcul	43
Bibliographie du chapitre 1	49
Chapitre 2. Instruments géométriques et méthodes graphomécaniques dans les pratiques mathématiques des pays d’islam	53
Ahmed DJEBBAR	
2.1. Les instruments géométriques	54
2.2. Les constructions « mécaniques »	58
2.3. Les méthodes graphiques	60
2.4. Méthodes graphiques pour des instruments astronomiques .	65
2.4.1. Les cadrans solaires fixes	66
2.4.2. Le quadrant sinus	66
2.4.3. Cadrans et quadrants horaires	68
2.4.4. Les cadrans solaires portables	72
2.4.5. Des solutions graphiques pour un problème culturel	74

2.4.6. Les méthodes graphiques au service de l’astrologie	75
2.5. En guise de conclusion	77
Bibliographie du chapitre 2	79
Chapitre 3. Résolution graphique des équations algébriques	83
Dominique TOURNÈS	
3.1. La parabole de Descartes	88
3.1.1. Les fondements du calcul graphique	88
3.1.2. Construction des équations jusqu’au degré 4	90
3.1.3. Construction des équations de degrés supérieurs	91
3.2. La cubique de Newton	91
3.2.1. Newton et la résolution des équations	91
3.2.2. Emploi d’une cubique fixe	93
3.2.3. Un instrument de Cunyngame	94
3.2.4. Traduction par Monge	95
3.3. La méthode de Segner	96
3.3.1. Construction par le trait des fonctions polynômes	97
3.3.2. Le constructeur universel d’équations	99
3.4. L’orthogone de Lill	100
3.4.1. Construction des racines réelles	100
3.4.2. Mise en œuvre de la méthode de Lill	102
3.4.3. Construction des racines imaginaires	104
3.5. Les systèmes articulés de Kempe	105
3.5.1. Solution de Kempe pour l’équation du troisième degré	105
3.5.2. Autres mécanismes pour la résolution des équations	107
3.6. Solutions nomographiques	108
3.6.1. Les abaques à droites concourantes de Lalanne	109
3.6.2. Les abaques à lignes concourantes de Mandl	113
3.6.3. Les nomogrammes à points alignés de d’Ocagne	115
3.6.4. Le treizième problème de Hilbert	119
3.7. Des savoirs multiples en interaction permanente	120
Bibliographie du chapitre 3	125
Chapitre 4. Abaques et nomogrammes	131
Dominique TOURNÈS	
4.1. Abaques à lignes concourantes	132
4.1.1. L’arithmétique linéaire de Pouchet	134
4.1.2. L’anamorphose géométrique de Lalanne	137
4.1.3. L’anamorphose généralisée de Massau	145

TABLE DES MATIÈRES	XI
4.1.4. Théorie des abaques à droites concourantes	148
4.1.5. Les abaques hexagonaux de Lallemand	151
4.1.6. Représentation par lignes concourantes des équations à plus de trois variables	154
4.2. Nomogrammes à points alignés	162
4.2.1. Les nomogrammes à points alignés de d’Ocagne	162
4.2.2. Théorie des nomogrammes à points alignés	168
4.2.3. L’ordre nomographique de Soreau	176
4.2.4. Les abaques coniques et cubiques de Clark	179
4.3. Constitution et diffusion d’une nouvelle discipline	185
4.3.1. La synthèse militante de Maurice d’Ocagne	185
4.3.2. Débat de priorité entre les créateurs de la nomographie	190
4.3.3. Une histoire reconstruite <i>a posteriori</i>	195
4.3.4. Diffusion internationale de la nomographie	198
4.4. La place scientifique, économique et sociale de la nomographie	210
4.4.1. L’âge d’or de la nomographie	211
4.4.2. La nomographie aujourd’hui	215
Bibliographie du chapitre 4	217
Chapitre 5. La statique graphique : heurs et malheurs d’une science d’application	231
Konstantinos CHATZIS	
5.1. De Varignon à Poncelet : la préhistoire française de la statique graphique	233
5.1.1. Le polygone funiculaire chez Varignon et Camus	234
5.1.2. Poncelet et les ponts suspendus	237
5.2. La constitution de la statique graphique en tant que discipline, 1860-1890	241
5.2.1. L’œuvre fondatrice de Culmann	241
5.2.2. Contributions britanniques	243
5.2.3. Une nouvelle science qui arrive à point nommé	246
5.2.4. La phase de maturité : apports de Mohr et Cremona	248
5.2.5. Statique graphique et géométrie projective	250
5.2.6. Nouveaux développements à la fin du XIX ^e siècle	255
5.3. La diffusion de la statique graphique : la création d’un espace transnational	256
5.3.1. Une vue panoramique	256
5.3.2. La diffusion de la statique graphique en France	261
5.3.3. Quelle statique graphique en France ? Conceptions et débat	266

5.3.4. Tentatives d'interprétation du processus de diffusion de la statique graphique en France	268
5.3.5. Un siècle de statique graphique en Grèce (1890-1980)	270
5.4. Conclusion générale	277
Annexe 1 : Polygone des forces et polygone funiculaire, les concepts de base de la statique graphique	280
Annexe 2 : Détermination graphique des réactions, des moments fléchissants et des efforts tranchants d'une poutre droite à deux appuis	282
Annexe 3 : Figures réciproques et calcul des systèmes articulés . .	286
Annexe 4 : Méthode « Mohr »	289
Bibliographie du chapitre 5	291
Chapitre 6. Instruments graphomécaniques d'intégration	305
Joachim FISCHER	
6.1. Curvimètre et coordinatographe	308
6.1.1. Riefler, <i>ca.</i> 1890	309
6.1.2. Coradi, <i>ca.</i> 1891	310
6.1.3. Amsler, <i>ca.</i> 1914-1971	311
6.1.4. Ott, <i>ca.</i> 1935- <i>ca.</i> 1960	311
6.1.5. Coordinatographe	312
6.2. Planimètre orthogonal	313
6.2.1. Hermann, 1814-1819	313
6.2.2. Gonnella, 1824-1840	315
6.2.3. Oppikofer, 1826-1829	317
6.2.4. Ernst, Clair (et d'autres?), 1833-1834 et après . . .	318
6.2.5. Morin et Lalanne, <i>ca.</i> 1840	319
6.2.6. Wetli-Starke, 1849-1850	319
6.2.7. Sang, 1850	320
6.2.8. Hansen-Ausfeld (plus tard Hansen-Schadewell), 1851- <i>ca.</i> 1890	321
6.2.9. Stadler, <i>ca.</i> 1855	321
6.2.10. Trunk, 1865	322
6.2.11. Ott/Ott et Coradi/Ott, 1873- <i>ca.</i> 1890	323
6.2.12. Sørensen et d'autres, <i>ca.</i> 1870-1890	323
6.3. Planimètre polaire au sens strict	323
6.3.1. Amsler, 1854	324
6.3.2. Miller von Hauenfels, 1855, et Pavel Alexeevich Zaru- bin, 1855-1856	326

6.3.3. Les grands fabricants : Amsler, 1854- <i>ca.</i> 1950; Haff, <i>ca.</i> 1862- <i>ca.</i> 1945; Dennert & Pape, <i>ca.</i> 1872- <i>ca.</i> 1945; Ott, 1873-1913; Coradi, 1880- <i>ca.</i> 1894	328
6.3.4. Les petits fabricants : Blankenburg, <i>ca.</i> 1879- <i>ca.</i> 1945; Morin, <i>ca.</i> 1900; Tamaya, <i>ca.</i> 1900; Maho, 1928- <i>ca.</i> 1950	328
6.4. Planimètre polaire compensateur	329
6.4.1. Miller von Hauenfels, 1855	330
6.4.2. Schell, 1868, Nehls, 1874, et d’autres	330
6.4.3. Coradi et Lang, 1893 et 1894	330
6.4.4. Coradi, 1894- <i>ca.</i> 1985	331
6.4.5. Ott, 1905-1990	333
6.4.6. Haff, depuis 1912	334
6.4.7. LASICO, 1931-2008	335
6.4.8. Koizumi, 1950-2001	335
6.4.9. Petits fabricants	336
6.5. Planimètre à roulette coupante	336
6.5.1. Amsler, 1856	337
6.5.2. Petersen-Bøgh, dernier tiers du XIX ^e siècle	338
6.5.3. Lippincott, <i>ca.</i> 1893 et après, et Willis, <i>ca.</i> 1894 et après	338
6.5.4. Fieguth, vers 1895	339
6.5.5. Weber-Kern, vers 1908	340
6.6. Planimètre linéaire au sens strict	340
6.6.1. Amsler, 1854-1855	341
6.6.2. Coradi, à partir de 1900	343
6.6.3. Voss, 1904	343
6.6.4. Ott, 1913	344
6.6.5. Coradi, à partir de 1927	344
6.6.6. Haff et d’autres	345
6.7. Planimètre linéaire à moments	345
6.7.1. L’idée essentielle	347
6.7.2. Amsler, à partir de 1856 et surtout 1867	347
6.7.3. Coradi, <i>ca.</i> 1900	349
6.7.4. Ott, <i>ca.</i> 1930 et après	349
6.8. Planimètre polaire à pantographe	350
6.8.1. Amsler, 1859- <i>ca.</i> 1960	351
6.8.2. Ott et Coradi, <i>ca.</i> 1879	352
6.8.3. Lyth, <i>ca.</i> 1920	352
6.8.4. Amsler, <i>ca.</i> 1925- <i>ca.</i> 1945	352
6.9. Planimètre indicateur	353
6.9.1. Amsler, <i>ca.</i> 1865- <i>ca.</i> 1950	354
6.9.2. Coffin-Ashcroft (1882) et Coffin-Bushnell (1903)	355

6.9.3. Ott, <i>ca.</i> 1888-1914	356
6.9.4. Planimètre polaire compensateur en tant que plani- mètre indicateur	357
6.10. Planimètre de précision	358
6.10.1. Les premiers efforts	358
6.10.2. Coradi, 1880- <i>ca.</i> 1985	359
6.10.3. Amsler, 1883- <i>ca.</i> 1945 et 1951-1970	361
6.10.4. Ott et autres, à partir de 1923	362
6.11. Intégraphe au sens strict ou simple	362
6.11.1. Abdank-Abakanowicz, 1878 et après	364
6.11.2. Boys, 1881	365
6.11.3. Abdank-Abakanowicz/Napoli, <i>ca.</i> 1883-1886	366
6.11.4. Žmurko, 1884	367
6.11.5. Abdank-Abakanowicz/Coradi, <i>ca.</i> 1887-1888	367
6.11.6. Adler-Ott, à partir de 1932	368
6.12. Analyseur harmonique	369
6.12.1. William Thomson (Lord Kelvin), 1876-1879	370
6.12.2. Henrici (1889 et après) et Henrici-Coradi (1893- <i>ca.</i> 1950)	371
6.12.3. Yule, 1894	372
6.12.4. Mader, 1909	373
6.12.5. Stärzl, 1909- <i>ca.</i> 1930-1935	374
6.12.6. Ott, <i>ca.</i> 1926-1972	375
6.12.7. Stanley, <i>ca.</i> 1950- <i>ca.</i> 1965	375
6.13. Planimètre radial au sens strict	376
6.13.1. Amsler-Durand, à partir de 1910	377
6.13.2. Concurrence et perfectionnement	378
6.13.3. Autres fabricants	379
6.14. Planimètre radial à moments	379
6.14.1. Brown et Spink/Foxboro, 1927	380
6.14.2. Ott, 1932, et Ott-Adler, 1932	381
6.14.3. Dubois/Amsler, 1935	381
6.15. Planimètre de Stieltjes	382
6.15.1. Premières tentatives	383
6.15.2. Ott, 1941	384
6.16. Intégrimètre	384
6.16.1. Additifs d’intégrimètre par Ott, <i>ca.</i> 1930, et Amsler, 1959-1971	386
6.16.2. Hamann, 1899	386
6.16.3. Ott, 1935- <i>ca.</i> 1975	386
6.16.4. Amsler, <i>ca.</i> 1951-1959	388
6.16.5. Intégrimètre linéaire à moments	389

TABLE DES MATIÈRES	xv
6.16.6. Intégrimètre radial (à moments)	389
Bibliographie du chapitre 6	391
Chapitre 7. Résolution graphique des équations différentielles	395
Dominique TOURNÈS	
7.1. Les lignes polygonales	396
7.1.1. Les premières méthodes polygonales	397
7.1.2. Les directrices de Bernoulli	401
7.1.3. Les isoclines de Massau	403
7.1.4. Autres applications et raffinements de la méthode polygonale	408
7.2. Les rayons de courbure	413
7.2.1. Poncelet et la balistique	415
7.2.2. Lord Kelvin et le problème de la capillarité	416
7.2.3. Lord Kelvin et le problème des trois corps	417
7.2.4. Autres applications et raffinements de la méthode des rayons de courbure	420
7.3. Le mouvement tractionnel	423
7.3.1. De la tractrice aux premiers intégraphes	425
7.3.2. Travaux théoriques de la première moitié du XVIII ^e siècle	429
7.3.3. Intégraphes composés de la fin du XIX ^e siècle	432
7.4. Les quadratures	435
7.4.1. L'intégration par quadratures en tant que méthode graphique	436
7.4.2. Avancées du XIX ^e siècle pour les quadratures gra- phiques	437
7.4.3. Les quadratures répétées de Lord Kelvin	441
7.4.4. Intégration graphique par approximations successives	443
7.5. Les analyseurs différentiels	444
7.5.1. Principe théorique des analyseurs différentiels	446
7.5.2. L'analyseur différentiel de Krylov	447
7.5.3. Les analyseurs différentiels de Bush	450
7.5.4. Autres analyseurs différentiels	454
Bibliographie du chapitre 7	457
Chapitre 8. Historiographie du calcul graphique	465
Marie-José DURAND-RICHARD	
8.1. Des procédés de calcul à la constitution d'une discipline	467

8.2. La naissance du calcul graphique et la restructuration industrielle des espaces	471
8.2.1. Le contexte initial : des pratiques professionnellement circonscrites	472
8.2.2. Une impulsion majeure : les nouvelles voies de com- munication	473
8.2.3. Un développement spécifique : la statique graphique et la construction des ponts	475
8.2.4. Calcul graphomécanique : de la maîtrise du territoire à celle des océans	477
8.3. Vers une culture d’ingénieur transnationale	479
8.3.1. L’implication politique des ingénieurs face à l’ambition du progrès social et scientifique	480
8.3.2. La circulation des savoirs de l’ingénieur	482
8.3.3. « Polytechnique » : une acception polysémique	486
8.3.4. Des méthodes constitutives du savoir des ingénieurs	491
8.3.5. Apogée du calcul graphique et science industrielle	493
8.4. Légitimations du calcul graphique	498
8.4.1. Les qualités propres à l’ingénieur	498
8.4.2. Le calcul graphique et les nouvelles géométries : fécon- dations mutuelles	502
8.4.3. Historicisation du calcul graphique	505
8.5. Le calcul graphique et ses changements d’échelle au xx ^e siècle	510
8.5.1. Un champ nouveau : La navigation aérienne	511
8.5.2. Le calcul graphique entre science et industrie	515
8.5.3. La mécanisation du calcul	518
8.5.4. Les analyseurs différentiels	520
Bibliographie du chapitre 8	527
Index des personnes	541