

NOTES & DÉBATS

POUR UNE HISTOIRE DU CALCUL GRAPHIQUE

Dominique TOURNÈS (*)

Jusque vers 1970, le calcul graphique a joué un rôle important dans le domaine scientifique et technique. Il est sans doute devenu difficile de percevoir correctement cette importance car, de nos jours, les méthodes graphiques ont quasiment disparu de la science du calcul. Certes, on utilise abondamment des représentations graphiques en tous genres réalisées sur ordinateur, mais il s'agit le plus souvent de traduire des résultats calculés au préalable sous forme numérique, dans le simple but de faciliter leur perception et leur interprétation. Dans les méthodes graphiques anciennes dont il va être question ici, c'est exactement le contraire qui se produisait : la solution d'un problème était obtenue directement par une construction ou un tracé géométrique, et c'est sur le dessin qu'on lisait ensuite les valeurs numériques dont on avait besoin.

Le but de cette note est de mettre en évidence la place du calcul graphique dans l'histoire des mathématiques, tout en fournissant quelques points de repère et une bibliographie de départ aux chercheurs intéressés. J'espère délimiter ainsi un cadre de référence dans lequel pourront s'inscrire ultérieurement des études spécialisées¹.

Qu'est-ce que le calcul graphique ?

Je regroupe sous le terme générique de «calcul graphique» tous les procédés exploitant des tracés réalisés sur un support plan², à l'aide

(*) Texte reçu le 12 décembre 1999, révisé le 25 mai 2000.

D. TOURNÈS, IUFM de la Réunion, allée des Aigues Marines, Bellepierre, 97487 Saint-Denis Cedex, et REHSEIS (UMR 7596), CNRS et Université Paris 7-Denis Diderot, 37 rue Jacob, 75006 Paris. Courrier électronique : tournes@univ-reunion.fr.

¹ Je remercie Konstantinos Chatzis, Ainsley Evesham et Erhard Scholz, qui m'ont aimablement communiqué des informations sur leurs travaux respectifs.

² Il peut arriver, par exemple, qu'une feuille de papier soit enroulée sur un cylindre, mais le support reste toujours essentiellement plan.

de n'importe quel type d'appareil, et visant à éviter, en totalité ou en partie, le recours au calcul numérique pour la résolution d'un problème. Les techniques de calcul graphique peuvent s'organiser autour de trois composantes ([Torrès 1901], [Ocagne 1926]) :

1) *Calcul par le trait*. — C'est le calcul géométrique proprement dit, dont les bases ont été clairement exposées par Descartes, au début de sa *Géométrie* [Descartes 1637]. Une unité ayant été choisie, les données numériques sont représentées sur la feuille de dessin par des segments de droite. On réalise ensuite des constructions géométriques à la règle et au compas, éventuellement avec d'autres instruments, qui aboutissent à de nouveaux segments de droite représentant les valeurs inconnues cherchées. Plus rarement, il est mieux adapté de traduire les nombres intervenant dans le calcul par d'autres éléments géométriques que des segments de droites, par exemple des angles ou des aires.

2) *Nomographie*. — Les nomogrammes, ou abaquages, sont, en quelque sorte, des tables graphiques jouant le même rôle que les tables numériques utilisées pour le calcul numérique. Lorsqu'on doit répéter un grand nombre de fois l'exécution graphique d'une même opération (construction d'une valeur d'une fonction donnée, résolution graphique d'une certaine équation, etc.), il est avantageux de disposer une fois pour toutes d'une table graphique, sous forme de lignes ou de points cotés, avec des échelles convenablement graduées, mobiles ou non, donnant par simple lecture la valeur cherchée en fonction de celles des paramètres. Le nomogramme le plus célèbre est probablement la règle à calcul, équivalent graphique des tables de logarithmes.

3) *Calcul graphomécanique*. — Ce terme regroupe les procédés dans lesquels on agit sur le graphique en suivant, à l'aide d'appareils mécaniques, certaines lignes préalablement tracées. On peut ainsi déterminer l'aire enclose dans un contour fermé et, plus généralement, réaliser l'intégration d'une fonction, voire d'une équation différentielle. On rangera également dans cette catégorie certains appareils analogiques simulant une relation mathématique donnée au moyen d'un phénomène physique (mécanique, électrique, hydraulique, chimique, etc.), dans le cas où ces appareils sont associés à un dispositif d'enregistrement graphique des résultats.

Les avantages du calcul graphique

C'est surtout pendant la seconde moitié du XIX^e siècle que la pratique du calcul graphique s'est considérablement développée. Comment expliquer un tel engouement et le fait qu'il soit demeuré vivace pendant la plus grande partie de notre siècle, jusqu'à l'apparition récente de calculatrices électroniques et d'ordinateurs personnels peu coûteux ? On peut avancer quatre groupes de raisons :

1) Le calcul graphique est généralement reconnu comme plus intuitif et exigeant une moindre concentration mentale que le calcul numérique [Mehmke et Ocagne 1909, p. 325]. Il est rapide et efficace, du moins tant qu'on peut se contenter d'une précision limitée. C'est le cas dans la plupart des applications techniques et dans le domaine des sciences de l'ingénieur, d'autant plus que les calculs y sont souvent fondés sur des données peu précises fournies par l'expérience. Il y a aussi des situations où la rapidité du calcul est en elle-même primordiale [Soreau 1921, p. 12] : que l'on pense à un marin en détresse ou à un artilleur en présence de l'ennemi ! Les tables graphiques préparées à l'avance et permettant une lecture directe semblent particulièrement adaptées à ces cas d'urgence.

2) Les tables numériques sont longues et fastidieuses à construire, et surtout très difficiles à réaliser lorsque le nombre d'entrées dépasse deux. Les tables graphiques, au contraire, permettent de représenter aisément des relations entre un nombre quelconque de variables. De plus, l'interpolation s'y fait à vue, sans effort supplémentaire.

3) Lorsqu'on a besoin de davantage de précision, comme en astronomie, le calcul graphique peut servir d'auxiliaire au calcul numérique. Dans les procédés par approximations successives, le calcul graphique reste utile pour trouver rapidement les premières valeurs, ou, à l'autre bout de la chaîne, pour déterminer les dernières corrections ne portant que sur un petit nombre de décimales. De façon plus générale, il conserve un rôle de préparation, de complément et de vérification au sein d'un calcul plus rigoureux.

4) Dernier avantage et non le moindre : le calcul graphique est à la portée d'individus n'ayant qu'une faible formation mathématique, notamment de techniciens n'ayant pas suivi d'études supérieures. Il peut

en résulter une économie substantielle, car le recours à des calculateurs professionnels qualifiés coûte cher. Donnons un exemple significatif pour illustrer ce point de vue. En 1904, dans une communication au Congrès international des mathématiciens de Heidelberg, Jules Andrade, professeur à l'université de Besançon et chargé d'un enseignement dans une école d'horlogerie, explique ce que peut apporter le calcul graphique à des techniciens : «[...] il est encore d'autres notions que l'image géométrique rend accessibles à des étudiants artisans ; telles sont les méthodes d'approximations successives et avec elles la belle méthode d'intégration par quadratures répétées en séries, que l'on doit à M. Picard, — ces méthodes, dis-je, convenablement interprétées et surtout utilisées sont facilement assimilables. [...] On peut donc nettement affirmer que la notion des infiniment petits n'offre aucune difficulté capable d'arrêter nos artisans toutes les fois qu'elle est appliquée à des variables déjà intéressantes pour eux. Mais, en revanche, tout calcul littéral abstrait les arrête» [Andrade 1905, p. 625]. Apprécions le tour de force : des techniciens d'horlogerie, ayant seulement une formation mathématique élémentaire, parviennent à intégrer graphiquement des équations différentielles par la méthode — toute récente en 1904 — des approximations successives de Picard !

Les débuts français du calcul graphique

Esquissions à présent les grandes lignes de l'histoire du calcul graphique. On sait que des méthodes graphiques ont été développées et utilisées depuis l'Antiquité. En particulier, au Moyen Âge, les mathématiciens arabes emploient de telles méthodes en astronomie et dans leurs tentatives pour résoudre les équations du troisième degré. Avec Descartes [1637] se précise la correspondance entre opérations arithmétiques et constructions géométriques, et apparaît la possibilité systématique de représenter graphiquement, par une courbe, une relation entre deux grandeurs. Les mathématiciens du XVII^e et du XVIII^e siècles sont avant tout des « géomètres » ; beaucoup, comme Newton, mettent en pratique les idées cartésiennes et recourent régulièrement à des procédés graphiques. Il faut cependant attendre 1795 pour que le calcul graphique se constitue en corps de doctrine autonome³.

³ A. Favaro [1879, p. XIX-XX] situe les premières origines du calcul graphique chez

L'article 19 de la loi du 18 germinal an III de la République française prescrivait la construction d'échelles métriques propres à établir sans calcul les rapports entre les nouveaux poids et mesures et les anciens. Louis-Ézéchiél Pouchet (1748–1809) rédigea à cette occasion un ouvrage dont les trois éditions⁴ [Pouchet 1794, 1795a, 1797] portent des titres différents. En appendice de la 2^e édition [Pouchet 1795a] figure un traité d'*Arithmétique linéaire*, qui a fait aussi l'objet d'une publication séparée dans une version légèrement modifiée [Pouchet 1795b]. Ce petit livre est important du point de vue historique puisque l'expression de « calcul graphique » y est employée pour la première fois. Tous les auteurs ultérieurs de traités de calcul graphique mentionneront Pouchet comme le fondateur de leur discipline ([Favaro 1879, p. xx–xxi], [Lallemant 1885, p. 3], [Ocagne 1908, 3^e éd., p. xxiii], etc.). Pouchet présente clairement la nature et les avantages de la nouvelle technique : « L'arithmétique linéaire consiste dans la faculté de faire tous les calculs possibles, au moyen du compas, sur un assemblage de lignes divisées, subdivisées, et combinées de manière à rendre tous les comptes que l'on peut désirer. [...] Elle est si facile qu'elle peut, au moyen de quelqu'application, être pratiquée par ceux même qui ne savent pas lire. La critique ne manquera pas de reprocher à mon système un défaut de précision : il n'en est susceptible qu'autant que le comportent les opérations du compas, [...] mais cette méthode pourra servir en mille occasions où l'on se contente d'avoir, à très peu de chose près, la solution de ce que l'on demande. [...] Cette arithmétique linéaire peut devenir universelle comme le calcul ordinaire, ainsi que cela sera démontré par les applications que j'en ferai dans la suite de cet Ouvrage » [Pouchet 1795a, p. 41–43].

les Pythagoriciens et chez Euclide, et trouve de nombreux précurseurs antérieurs au XVIII^e siècle dans les mathématiques grecques, indiennes, arabes et européennes. S'agit-il d'une projection hasardeuse d'un auteur cherchant à conférer *a posteriori* de l'ancienneté et de l'épaisseur à une discipline naissante ? Des études approfondies devront être réalisées pour mieux déterminer ce qui, dans les méthodes graphiques incontestablement utilisées depuis l'Antiquité, pourrait relever d'une éventuelle « préhistoire » du calcul graphique.

⁴ Dans le calendrier républicain, l'an III a duré du 22 septembre 1794 au 22 septembre 1795, l'an IV du 23 septembre 1795 au 21 septembre 1796, et l'an V du 22 septembre 1796 au 21 septembre 1797. Il ne faut donc pas s'étonner que, dans les notices bibliographiques des ouvrages de Pouchet, les années III, IV et V aient pu être traduites respectivement par 1794, 1795 et 1797.