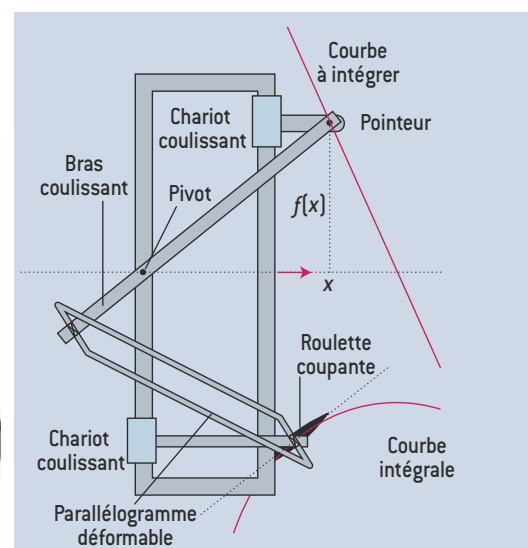
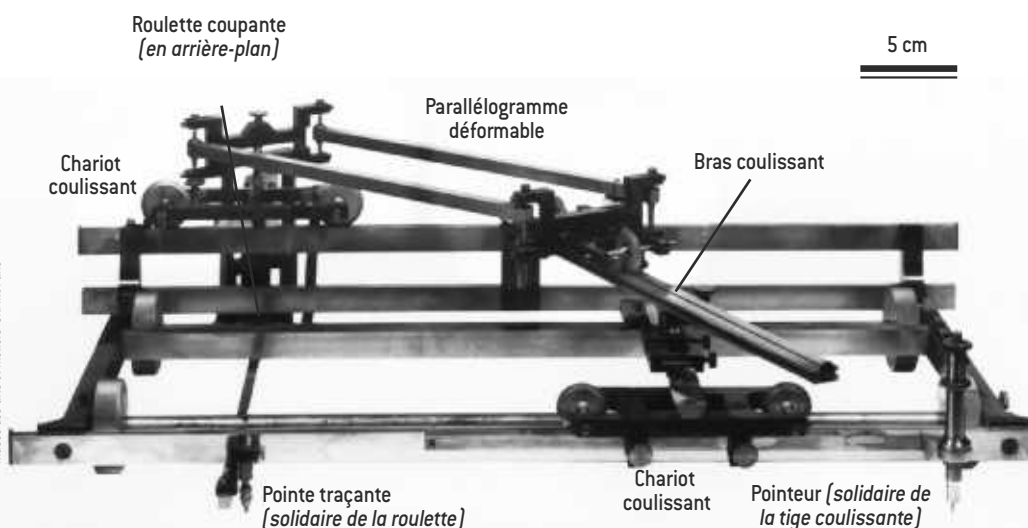




5. L'intégraphe d'Abdank-Abakanowicz (à gauche un exemple issu de la Maison Coradi vers 1900) permet de tracer la primitive d'une fonction f représentée par une courbe (dans le schéma de droite, certains éléments ont été déplacés par rapport à l'objet réel par commodité). On déplace le cadre le long de l'axe des abscisses tout en suivant la courbe à intégrer avec le pointeur, dont le mouvement est libre selon les ordonnées. Par construction, le bras portant le pointeur coulisse de façon telle que sa pente est constamment égale

à l'ordonnée $f(x)$ de la fonction à intégrer. Il est assujéti à un parallélogramme déformable, dont le côté opposé porte une roulette de sorte que celle-ci et le bras restent parallèles. La roulette, taillée en biseau pour mordre sur le papier et éviter tout dérapage, dessine une courbe dont la pente en chaque point est égale à l'ordonnée de la fonction initiale f , c'est-à-dire une courbe représentant l'une de ses primitives [F est une primitive de f si la dérivée de F est égale à f]. La primitive est ensuite matérialisée par un dispositif d'encrage.

transforme de façon continue les ordonnées de la courbe initiale en pentes de tangentes à la courbe recherchée.

La pièce essentielle est un parallélogramme déformable. Sur l'un des côtés est fixée une tige reliée au pointeur avec lequel l'opérateur suit la courbe à intégrer et le côté opposé porte une roulette coupante, destinée à tracer la primitive recherchée (voir la figure 5). La roulette reste toujours parallèle au bras du pointeur lorsque le parallélogramme se déforme. Par construction, lorsque le pointeur monte ou descend en suivant la courbe, la pente de la tige et, par conséquent, la direction de la roulette, sont constamment égales à l'ordonnée de la courbe initiale. Les tangentes en tout point à la courbe tracée par la roulette sont ainsi égales aux valeurs de la fonction de départ ; il s'agit donc de la primitive recherchée.

Les intégraphes, assez coûteux et destinés à des applications spécialisées, n'ont jamais été produits en grande série. Dans le catalogue 1900 de la Maison Coradi de Zurich, un intégraphe coûtait 350 francs, soit six fois plus qu'un planimètre polaire. Seuls des laboratoires ou des bureaux de calcul importants pouvaient s'offrir un tel instrument.

L'histoire des intégrateurs mécaniques ne se limite pas aux appareils décrits précédemment. Sans parler des instruments spécifiquement fabriqués pour répondre à un besoin particulier, des appareils plus complexes ont été conçus en associant plusieurs planimètres ou intégraphes. Vers la fin du XIX^e siècle, en connectant plusieurs planimètres, William Thomson, alias Lord Kelvin, invente un « analyseur harmonique ». Cet instrument calcule simultanément les premières harmoniques d'une fonction périodique, c'est-à-dire les termes prépondérants dans la décomposition de la fonction en une série de fonctions périodiques élémentaires. Grâce à cet appareil, Kelvin analyse graphiquement les mouvements des marées à partir des mesures effectuées dans les ports. En recombinaison ensuite, grâce à un autre dispositif mécanique, les harmoniques trouvées, il détermine une fonction modélisant la marée et permettant d'en prédire les horaires.

De même, en généralisant le principe de l'intégraphe, on peut passer d'un calcul graphique de primitive à l'intégration d'équations différentielles plus complexes. En connectant mécaniquement plusieurs intégraphes entre eux, on parvient par exemple à intégrer des équations différentielles du second ordre ou d'ordre plus élevé, qui, par nature, nécessitent plusieurs intégrations simultanées. L'idée fut lancée pour la première fois par William Thomson en 1876 ; faute de moyens techniques nécessaires, il ne put la concrétiser. Il a fallu attendre 1901 pour qu'Aleksei Krylov, de l'École navale de Saint-Petersbourg, construise le premier « analyseur différentiel » fondé sur ce principe. Cet instrument n'a cependant pas été conservé et, de ce fait, est mal connu. C'est surtout à partir des années 1930 que de grands analyseurs différentiels ont été fabriqués, par exemple par Vannevar Bush, à l'Institut de technologie du Massachusetts, ou par Douglas Hartree, à l'Université de Manchester, pour résoudre les problèmes apparus avec le développement des réseaux d'électricité et de téléphone. Pendant la Seconde Guerre mondiale, les principaux pays belligérants ont utilisé de tels appareils pour établir des tables d'artillerie.

De tous les instruments d'intégration, seul le planimètre polaire a été véritablement répandu : c'était un outil dont les ingénieurs se servaient chaque jour, au même titre que la règle à calcul. Après la guerre, cependant, tous les intégrateurs mécaniques ont connu un déclin rapide et ont été éclipsés par les ordinateurs et les calculatrices électroniques.

Dominique TOURNÈS est maître de conférences à l'Institut universitaire de formation des maîtres (IUFM) de la Réunion et chercheur au Laboratoire de recherches épistémologiques et historiques sur les sciences exactes et les institutions scientifiques (UMR 7596 CNRS/Université Paris 7).

J. MARGUIN, *Histoire des instruments et machines à calculer*, Hermann, Paris, 1994.