

**Thomson, James, An Integrating Machine having a new Kinematic Principle, *Proceedings of the Royal Society*, 24 (1876), 262-265.**

**Reprint in Thomson, William & Tait, Peter Guthrie, *Treatise on Natural Philosophy*, vol 1, part 1, Cambridge : Cambridge University Press, 2<sup>nd</sup> ed., 1879, 488-492.**

**Trad. fr. par Marie-José Durand-Richard.**

Le principe cinématique pour intégrer  $y dx$ , qui est utilisé dans des instruments aussi connus que le dynamomètre de Morin<sup>+</sup> et le planimètre de Sang<sup>++</sup>, admirables sous bien des aspects, contient un élément d'imperfection qui ne peut que nous empêcher de l'admirer avec une entière satisfaction. Cette imperfection provient du fait que le bord de la roulette, en même temps qu'il doit tourner, doit aussi glisser, et cette double action est indispensable pour que le mouvement du disque ou du cône soit communiqué exactement au bord de la roulette.

Bien que différent des instruments ci-dessus quant aux principales caractéristiques de son principe et de son mode d'action, l'instrument très ingénieux, simple et utile en pratique, bien connu sous le nom de Planimètre Polaire d'Amsler, peut être rangé avec eux en ce qui concerne cette même imperfection qui requiert que le bord de la roulette puisse glisser et rouler sur la surface, ce qui est indispensable pour lui donner son mouvement de rotation – une surface qui, dans le cas de ce planimètre, n'est ni un disque ni un cône, mais la surface du papier, ou toute autre surface plane, sur laquelle la carte ou tout autre diagramme plan est tracé, et dont l'aire doit être évaluée.

Le Professeur J. Clerk Maxwell, ayant vu le Planimètre de Sang à la Grande Exposition de 1851, et s'étant convaincu que la combinaison du glissement et du roulement était un handicap pour la perfection de l'instrument, a commencé à chercher quelque arrangement qui permettrait un roulement parfait tout au long de l'action de l'instrument, correspondant au glissement et au roulement des instruments précédents. Il réussit à concevoir une nouvelle forme de planimètre ou de machine à intégrer, grâce à un très beau principe d'action cinématique tout à fait nouveau, qui dépend du mouvement mutuel de deux sphères l'une sur l'autre. Il le décrit dans un article soumis à la *Royal Scottish Society of Arts* en janvier 1855, publié dans le vol. IV des *Transactions* de cette Société. Dans cet article, il offre aussi une suggestion, qui paraît être à la fois intéressante et importante, en proposant d'atteindre les conditions désirées de cette action par le roulement mutuel d'un cône et d'un cylindre dont les axes sont à angles droits.

L'idée d'utiliser le pur roulement au lieu du roulement et du glissement m'a été communiquée par le Prof. Maxwell, quand j'ai eu le plaisir d'apprendre de lui quelques particularités sur la nature de son invention. Après quoi (entre les années 1861 et 1864), alors que je cherchais quels moyens utiliser dans les observatoires météorologiques pour obtenir certaines intégrations relatives aux mouvements du vent, et aussi comment concevoir un planimètre plus satisfaisant dans son principe que ceux de Sang ou de Amsler (même si, du point de vue

---

<sup>+</sup> Des instruments de ce type, et d'autres pour mesurer le travail mécanique, devraient, dans le futur, s'appeler Ergonomètres plutôt que Dynamomètres. Le nom "dynamomètre" a été, et continue d'être, d'un usage courant pour signifier un instrument à ressort pour mesurer une force ; mais un instrument pour mesurer le travail, étant distinct dans sa nature et dans son objet, doit avoir une désignation différente et mieux adaptée. Le nom "dynamomètre", par ailleurs, apparaît comme mal formé à partir du grec ; et pour désigner un instrument qui mesure la force, je voudrais suggérer que le nom serait fort avantageusement changé en "dynamimètre". En ce qui concerne la façon de former les mots dans de tels cas, on doit se référer à la *Grammaire* de Curtius, édition anglaise du Dr Smith, § 354, p. 220. – J. T., 26 fév. 1876.

<sup>++</sup> Le Planimètre de Sang est très clairement décrit et représenté dans un article de son inventeur, dans les *Transactions of the Royal Scottish Society of Arts*, vol. IV, 12 janvier 1852.

de la simplicité et de la commodité pratiques, il soit peu probable d'évincer celui de Amsler dans les cas ordinaires de détermination des aires sur des cartes ou d'autres diagrammes, j'espérais qu'il soit possible d'obtenir cette possibilité intéressante de travailler par pur contact de roulement, avec quelque chose de plus simple que l'instrument du Prof. Maxwell, et qui soit préférable dans son mécanisme), j'ai réussi à concevoir une nouvelle méthode cinématique, qui depuis m'a toujours paru susceptible de se révéler valable en peu de temps si on trouvait l'occasion de l'utiliser. Et maintenant, depuis quelques jours, ce principe, tel qu'il a été suggéré à mon frère comme étant peut-être susceptible d'être mis en œuvre utilement dans le développement des machines qu'il a conçues pour calculer les marées, lui a paru pouvoir être introduit et combiné de plusieurs façons pour produire d'importants résultats. C'est donc sur son conseil que j'offre maintenant à la *Royal Society* une brève description du nouveau principe tel que je l'ai conçu.

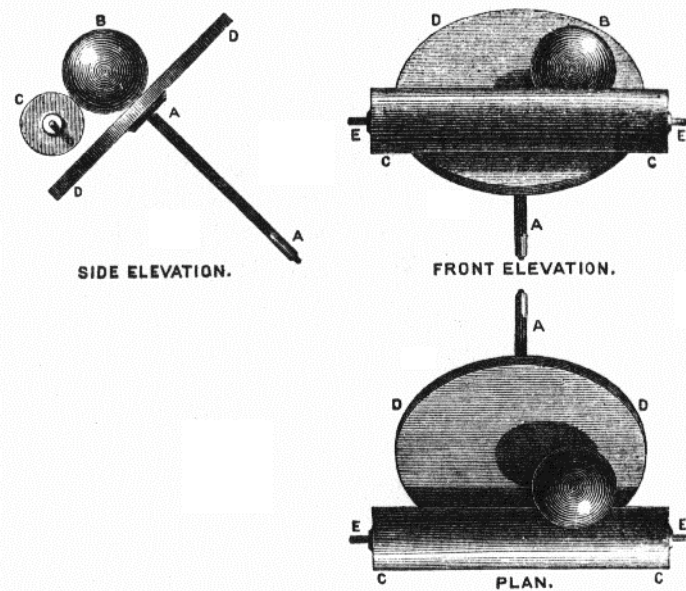
Le nouveau principe consiste principalement dans la transmission du mouvement issu d'un disque (ou d'un cône) à un cylindre par l'intermédiaire d'une boule libre, qui presse par sa gravité sur le disque et le cylindre (ou sur le cône et le cylindre, selon les cas), dont la pression est suffisante pour donner la cohérence frictionnelle nécessaire en chaque point de contact du roulement ; l'axe du disque (ou du cône) et celui du cylindre sont toujours maintenus chacun dans une position fixe par rapport à un cadre statique, et la disposition des axes est telle que, quand le disque (ou le cône) et le cylindre sont maintenus immobiles, autrement dit sans rotation sur leurs axes, la boule peut rouler en restant en contact avec chacun d'eux, de telle sorte que le point de contact boule-cylindre parcourt une ligne droite sur la surface cylindrique, nécessairement parallèle à l'axe du cylindre – et de telle sorte que, quand on utilise un disque, le point de contact boule-disque parcourt une ligne droite passant par le centre du disque – ou que, quand on utilise un cône, la ligne de contact boule-cône parcourt une ligne droite de la surface conique, nécessairement dirigée vers le sommet du cône. On peut ainsi montrer facilement que, lorsque le cylindre et le disque (ou le cône) sont au repos ou en rotation autour de leur axe, les deux lignes de contact de la boule, celle avec le cylindre et celle avec le disque (ou le cône), si on les considère comme des droites tracées dans un espace immobile par rapport au cadre de l'instrument tout entier, seront deux droites parallèles, et que la ligne de déplacement du centre de la boule sera également une droite parallèle à ces deux droites. Pour faciliter les explications, le mouvement du centre de la boule le long de cette parallèle à l'axe du cylindre peut être appelé le mouvement longitudinal de la boule.

Qu'en est-il maintenant de l'intégration de  $y dx$  ? La distance du point de contact de la boule avec le disque (ou le cône) jusqu'au centre du disque (ou au sommet du cône), dans le mouvement longitudinal de la boule, doit représenter  $y$ , tandis que l'espace angulaire obtenu par la rotation du disque (ou du cône) depuis sa position initiale représente  $x$  ; alors, l'espace angulaire obtenu par la rotation du cylindre, une fois multiplié par un coefficient numérique constant, exprimera l'intégrale à partir de toute unité requise pour son évaluation.

On peut communiquer à la boule son mouvement longitudinal en disposant le cadre de l'instrument tout entier de telle sorte que les droites qui correspondent au déplacement longitudinal des deux points de contact et du centre de la boule, qui sont trois droites parallèles entre elles, soient suffisamment inclinées à l'horizontale pour que la boule ait nécessairement tendance à descendre le long de la droite de son mouvement longitudinal ; on peut alors régulariser le mouvement de la boule par un contrôleur de butée, qui peut se trouver au point de contact, là où presse la boule, dans un plan perpendiculaire à la droite du mouvement de la boule. Dans le cas contraire, le mouvement longitudinal pourrait, dans certains cas, être communiqué à la boule, de préférence en faisant en sorte que la direction de ce déplacement horizontal et les deux faces plates du contrôle agissant en contact étroit sans pression aux extrémités opposées du diamètre de la boule, qui, à tout moment, est sur la droite décrite par le diamètre de la boule ou est parallèle à l'axe du cylindre.

Il est à noter que, dans le cas de l'intégrateur disque-sphère-cylindre, il se peut qu'on n'obtienne pas une exactitude parfaite dans la réalisation pratique de la condition désirée, à savoir que la droite décrite par le point de contact entre la boule et le disque doive passer par le centre du disque ; mais ce manque d'une exactitude parfaite ne correspond en rien à une faute théorique ou pratique importante dans la mise en œuvre de l'instrument. La raison en apparaîtra assez évidente dès que le cas sera moindrement examiné.

Pour la bonne marche de l'appareil, le plan du disque peut être réalisé avec une inclinaison sur l'horizontale d'un angle comme  $45^\circ$  ; et le plan d'accompagnement, ainsi que le modèle, qui seront soumis à la Société par mon frère, aideront à une compréhension claire des explications qui ont été données.



Mon frère m'a fait remarquer qu'une opération complémentaire, importante pour certaines applications, pouvait être effectuée en faisant en sorte que l'appareil fournisse un enregistrement continu de la croissance de l'intégrale par l'introduction de mécanismes additionnels adaptés pour décrire continûment une courbe telle que, pour chacun de ses points, l'abscisse représente la valeur de  $x$ , et l'ordonnée l'intégrale obtenue depuis  $x = 0$  jusqu'à cette valeur de  $x$ . Ceci, comme il l'a noté, peut être effectué en pratique grâce à un cylindre ayant le même axe que celui du disque, avec un rouleau de papier enroulé sur la surface du cylindre, et une tige droite située parallèlement à l'axe du cylindre et reposant sur la surface du premier cylindre enregistreur, ou cylindre *indicateur* (celui qui reste en contact avec la sphère) avec assez de pression pour conserver suffisamment de cohésion frictionnelle avec cette surface. Il suffit alors que la tige porte un crayon ou un autre point traceur qui inscrira la courbe désirée sur un second cylindre pour enregistrer, ou cylindre enregistreur. Puisque, d'après la nature de l'appareil, l'axe du disque et celui du cylindre enregistreur doivent être fortement inclinés sur l'horizontale, et comme de cette façon, la tige portant le crayon et la direction de son mouvement seront de même fortement inclinés sur cet axe, il semble que, pour réaliser cette idée, il puisse être conseillé d'attacher un fil à la tige et de le tendre jusqu'à une poulie dans le prolongement de la tige, de le faire passer sur cette poulie, et de suspendre à l'autre extrémité un poids qui soit juste suffisant pour contrebalancer la tendance de la corde, en vertu de sa gravité, à glisser le long de sa propre ligne de pente, afin de la laisser parfaitement libre de se mouvoir vers le haut et vers le bas grâce à la cohésion frictionnelle entre elle-même et la surface en mouvement du cylindre indicateur entraîné directement par la sphère.