

Problème d'artilleur en campagne ou en mer : calculer rapidement la distance d'une cible...

Serge Savoysky, Dr ès Sc

ndlr : Dans le texte, les chiffres romains renvoient vers la bibliographie, les chiffres arabes vers les notes de bas de pages.

AVANT-PROPOS

Nous disposons en bref de deux manières d'aborder l'histoire des instruments de calcul, parfois associées dans les ouvrages sur ce sujet.

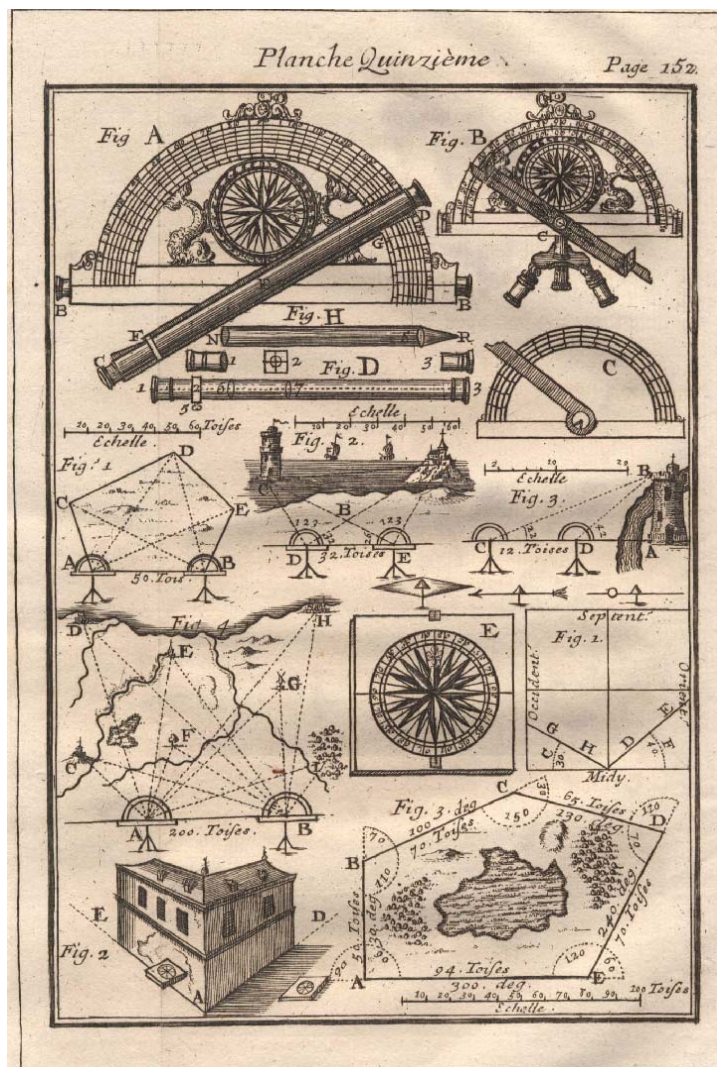
La première, théorique, s'intéresse à la morphologie et à la physiologie¹ de familles d'instruments matérialisant l'exécution de procédés mathématiques abstraits généraux : les quatre opérations de l'arithmétique, l'intégration, la résolution d'équations, l'analyse spectrale, etc. Des exemples d'applications et d'instruments illustrent généralement ces exposés généraux sur des instruments bons à tout faire sans toutefois en constituer la finalité.

La seconde, pragmatique, s'attache à une activité particulière nécessitant des calculs spécifiques, parfois complexes mais toujours harassants car désespérément longs et répétitifs ; préférant l'exemple, elle examine alors comment les calculateurs imaginèrent certains instruments facilitant ces travaux.

Les monographies précédentes privilégièrent la première manière. Ce qui suit est donc une volte face en faveur de la seconde. La présentation semblera évidemment plus anecdotique que technique ; mais quel serait l'intérêt de sauvegarder de vieux et curieux instruments fort peu répandus donc peu connus, sans essayer de temps à autre d'imaginer la nature et les conditions de travail de ceux qui les conçurent pour simplifier l'exercice de leur métier ?

Un vieil article de *La Nature* sur le mesurage télémétrique de distances² provoqua récemment ce revirement ; la finalité de l'instrument décrit y apparaît clairement : léger et peu encombrant au point de pouvoir être rangé dans une poche il permettait à son possesseur, un artilleur probablement, d'évaluer rapidement et discrètement la distance le séparant d'un objet visible mais inaccessible. On imagine alors, après une chevauchée rapide, la mise en place d'une batterie de campagne et son officier s'activant à évaluer la distance des positions ennemies à battre... Ce fantasme d'aujourd'hui fut une réalité autrefois et, loin de la quiétude des bureaux ou des chantiers, cette réalité suscita la conception d'instruments fort originaux.

À l'époque du GPS c'est un plaisir que d'exhumer ces antiquités et de les replacer par la pensée entre les mains de leurs auteurs en opération. Quatre objets sont ainsi présentés. La rareté des exemplaires conservés et de la documentation les concernant en rend l'étude difficile ; les résultats obtenus souffrent de nombreuses incertitudes. Un appel est donc lancé pour toute information qui pourrait aider à améliorer cette monographie.



1 : Bion 1752, ii, pl.15.

1 L'usage de « morphologie » et « physiologie », s'agissant de machines à calculer, est du à Maurice d'Ocagne. in : Histoire abrégée des sciences mathématiques. Chap. 10. Ouvrage recueilli et achevé par Dugas. Vuibert, Paris, 1955. pp. 381/392.

2 Vitoux, 1900 : xiii.

1 INTRODUCTION

Calculer la distance séparant deux points accessibles de notre campagne euclidienne familière est une opération banale même lorsque le mesurage direct apparaît impraticable en raison de la configuration des lieux : il suffit de posséder une unité de mesure, une base de départ mesurée directement avec précision, des instruments de mesurage adéquats et enfin savoir opérer par triangulation aidé de quelques assistants. Tout cela relève de la topographie, technique qui a elle-même son histoire remontant aux temps immémoriaux où le pied ou la coudée, ou toute autre unité se référant au corps humain étaient à l'honneur³. L'essor aux XVII^e et XVIII^e siècles de cette technique et aussi de la géodésie entraînèrent un essor de l'instrumentation nécessaire. Les manuels de cette époque témoignent d'une instrumentation déjà fort bien élaborée mais encombrante, nécessitant sur le terrain au moins un géomètre, des aides habiles, quelques porteurs, enfin la liberté de mouvement indispensable à cette équipe dans tous les déplacements imposés par la triangulation. Selon la contrée et les circonstances, ces travaux pouvaient être longs et parfois dangereux ; certains eurent un prix en vies humaines.

Or, l'opération se complique plus encore lorsque l'opérateur est seul pour utiliser ses instruments, lorsque sa liberté de mouvement se trouve en outre contrecarrée systématiquement par des obstacles ou par le danger, enfin et surtout lorsqu'il doit agir rapidement. Ce n'est plus de la topographie et nous décrivons là succinctement les conditions de travail de l'artilleur en campagne ou en mer, chargé d'évaluer rapidement la distance séparant sa batterie de la cible visée, éventuellement mobile.

Si l'on accepte d'oublier cette finalité fracassante pour la cible, alors il est réellement permis d'admirer certains petits instruments portables conçus à cet effet.

Quatre appareils sont présentés dans cette monographie. Le premier est une antiquité oubliée du XVI^e siècle, un préluce balbutié. Les suivants appartiennent au XIX^e siècle⁴. L'un est vraisemblablement d'usage terrestre et utilise un nomogramme logarithmique⁵ pour le calcul. Les deux autres sont indubitablement marins et utilisent des nomogrammes fondés sur une même idée simple mais appliquée de façons foncièrement différentes par un Britannique et un Breton.

Comme tous les appareils de topographie, ces instruments comportent un module de mesurage d'angles : le goniomètre ; excepté le dispositif formé de lentilles cylindriques dans l'instrument britannique c'est le système de la double réflexion du sextant qui est généralement utilisé. Lacroix⁶ en avait précisément décrit l'usage en topographie en insistant sur sa maniabilité⁷. Toutefois manquait jusqu'alors l'association mécanique d'un module de calcul au module de mesurage pour traduire immédiatement les distances angulaires en distances linéaires. Cette monographie examine les prémices de cette évolution toutes situées semble-t-il au XIX^e siècle. La rareté des objets sauvegardés et des communications les concernant ainsi rendent incertaine l'exhaustivité de leur étude.

2 ÉLÉMENTS THEORIQUES

Ces éléments appartiennent à la trigonométrie plane : il s'agit de résoudre un triangle plan, c'est à dire calculer n'importe lequel de ses éléments connaissant trois d'entre eux, exercice qui passionne toujours les lycéens. Nous présentons les cas de résolutions appliqués par les instruments décrits avec des notations et un vocabulaire usuels, réservant pour la suite quelques retours aux habitudes des inventeurs des instruments décrits.

Soit un triangle ABC, α , β , γ ses angles aux sommets, enfin a, b, c. les longueurs des côtés respectivement opposés à ces sommets.

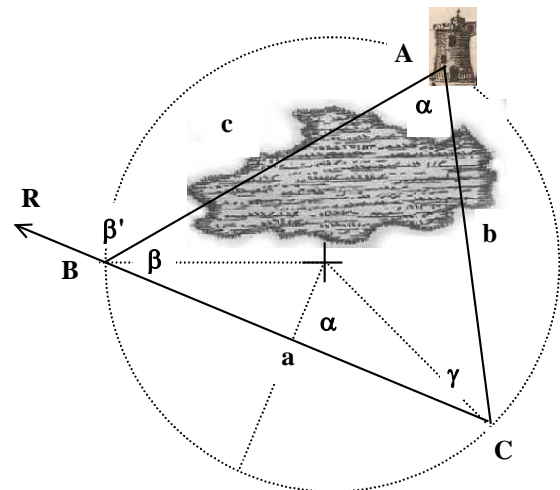
Pour tout triangle :

$$(a) \quad \frac{\sin \alpha}{a} = \frac{\sin \beta}{b} = \frac{\sin \gamma}{c}$$

L'artilleur placé en C s'intéresse à deux points : A et B. Il vise A qui est toujours inaccessible ; différents cas sont alors généralement possibles concernant le point B.

B est accessible.

Cette situation était classique autrefois dans l'investissement ou la défense d'une place forte ou durant un combat naval⁸, A étant le point visé de la zone ennemie et B un point de la zone amie accessible sans risque



2 : Notations et petite démonstration des relations (a) ; si l'on se souvient que « sin » signifie « semi-inscripta », cette figure démontre immédiatement la proportionnalité des sinus des angles aux sommets et des longueurs des côtés qui leur sont respectivement opposés. Dans la réalité, a est petit devant b et c. R et un objet lointain vu depuis C dans l'alignement de B. Dans ce cas de figure, R est indispensable pour la goniométrie.

3 Le théorème de Pythagore est vraisemblablement le premier exemple historique de solution pour un problème d'arpentage.

4 Il en existe certainement de nombreux autres. Amis lecteurs, je suis à votre écoute...

5 Une règle logarithmique à calcul tout à fait inhabituelle.

6 Lacroix, 1834, viii : Du sextant de réflexion et de son usage pour la levée rapide, pp.136/166.

7 Maniabilité si remarquable qu'existaient et qu'existent encore des sextants de poche.

8 La monographie du Lieutenant de Vaisseau de Kerillis décrit cette circonstance : vii.

déraisonnable. Il suffit alors de mesurer $a = CB$ à moins que cette distance ne soit déjà connue, β ou β' (complément à π de β), enfin γ puis de calculer b . À cet effet, tous les termes étant considérés en valeur absolue :

$$(b) \quad b = a \frac{\sin \beta}{\sin(\beta + \gamma)} = a \frac{\sin \beta}{\sin(\beta' - \gamma)}$$

CB est nommé la base. Remarquons que a est petit relativement à c et b , de l'ordre de quelques centimètres, parfois moins : par exemple une base d'une cinquantaine de mètres avec A distant d'un millier de mètres. Par contre $\sin \beta$ et $\sin(\beta + \gamma)$ ont des ordres de grandeurs quelconques, souvent différents. On conçoit immédiatement que la précision de l'instrument de mesurage et celle de l'instrument de calcul associé restent primordiales malgré la miniaturisation recherchée.

C et B situés sur un terrain peuvent être considérés comme approximativement au même niveau. Ce cas de visée et de calcul que nous nous permettons de qualifier terrestre est résolu par l'instrument du Capitaine Aubry présenté dans un chapitre suivant. En mer, C et B sont portés par un même instrument, le télémètre, objet précis mais encombrant dont le service difficile et aléatoire en combat motiva l'invention du sieur Stuart et celle du Lt de Vaisseau de Kérillis.

B est inaccessible, AB est de hauteur connue.

A et B sont en zone ennemie. Grâce à un service de renseignement efficace, l'artilleur connaît $c = AB$; on suppose en outre que AB est vertical : tour, église, phare, mât de vaisseau si la mer est calme, etc. Il suffit alors de connaître α et β puis de calculer b . En fait, dans ce cas, on ne mesure pas α et β mais leurs compléments respectifs à $\pi/2$ qui sont les azimuts α'' et β'' des points A et B vus de C . La formule devient :

$$(c) \quad b = c \frac{\cos \beta''}{\sin(\beta'' - \alpha'')}$$

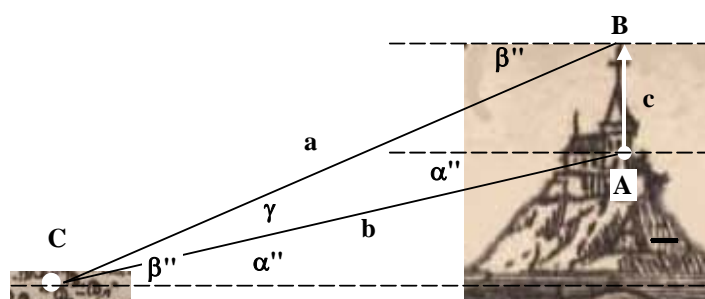
Si C et A sont au même niveau,

$$\alpha'' = 0, \gamma = \beta'' \text{ et :}$$

$$(d) \quad b = c \cotg \gamma$$

Si en outre γ n'est que de quelques radians,

$$(e) \quad b \cong \frac{c}{\gamma}$$



3 : AB de hauteur connue.

B, inaccessible est l'horizon.

Allons en mer : A est toujours le point visé mais sur un bâtiment ennemi voguant à sa façon ; or l'observateur ne dispose d'aucune information sur ce bâtiment. Cependant nous sommes en mer et tout point B à l'horizon peut servir de repère, d'autant mieux que le point de visée C occupe certainement une situation relativement élevée, l'observateur se tenant probablement sur une hune ; les marins nomment cela : hauteur de l'œil. Cette situation introduit une résolution de triangle moins simple que les précédentes.

La figure 4 est considérablement déformée afin d'en pouvoir distinguer les éléments ; à titre indicatif, h (hauteur de l'œil) est de l'ordre de quelques dizaines de mètres, R (rayon de la terre) est de l'ordre de 6320km. Si les rapports de grandeurs étaient respectés, h devrait donc ne pas dépasser quelques microns sur cette figure. Toutefois, les propriétés géométriques de la figure restent inchangées malgré les exagérations introduites.

Dans le triangle OBC , rectangle en B :

$$(f) \quad a = \sqrt{(R+h)^2 - R^2},$$

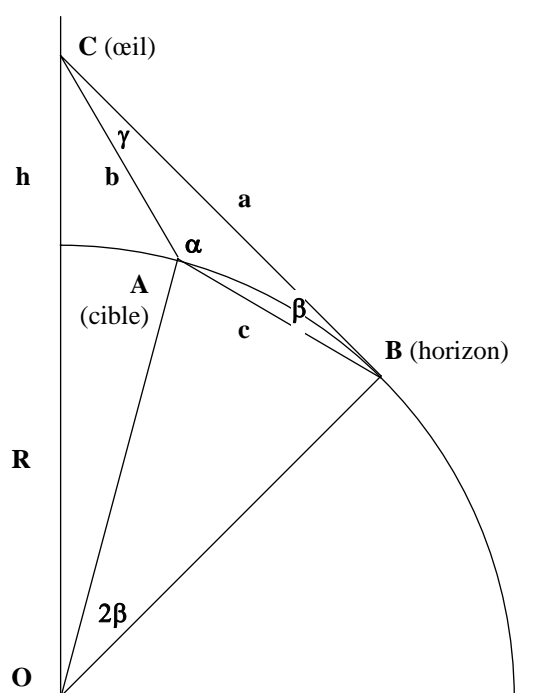
puis dans le triangle ABC :

$$(g) \quad \frac{\sin(\beta + \gamma)}{a} = \frac{\sin \beta}{b} = \frac{\sin \gamma}{c},$$

enfin dans le triangle OAB :

$$(h) \quad c = 2R \sin \beta.$$

Il faut éliminer de ces formules, par substitutions, les paramètres inutiles c et β . C'est un calcul trigonométrique formel classique c'est à dire rébarbatif et né-



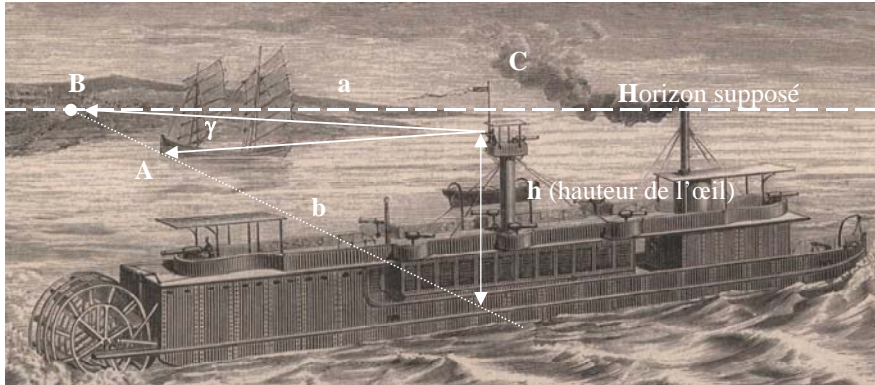
4 : B à l'horizon.

cessitant de l'attention mais sans difficulté particulière ; b étant la distance recherchée, on obtient :

$$(i) \quad b = (a \cos \gamma + R \sin \gamma) \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{a^2}{(a \cos \gamma + R \sin \gamma)^2}} \right) \cong (a + R\gamma) \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{a^2}{(a + R\gamma)^2}} \right)$$

La seconde partie de cette expression est une approximation numérique obtenue en admettant, γ étant petit et exprimé en radians, que $\sin \gamma \cong \gamma$ et $\cos \gamma \cong 1$.

La question immédiate est : quel est l'intérêt de telles formules parfaitement ésothériques pour les nombreux profanes de la trigonométrie ? Réponse : calculer la distance d'une cible. Ce n'est donc pas un simple jeu de l'esprit mais la spécification d'un calcul à effectuer ; selon notre vocabulaire moderne, la formule doit être considérée ici comme un programme lisible et exécutable par une machine nommée : calculateur humain ; car l'exécution manuelle des calculs numériques est effectivement une tâche machinale avec tous ses inconvénients.



5 : Pointage par rapport à l'horizon. Cette gravure publiée par la Nature en 1887 suggère assez bien les conditions d'une visée : tangage et roulis amplifiés par la hauteur de la hune, déplacement relatif de la cible, horizon incertain, ligne de flottaison estimée, fumée, etc... On apprécie ainsi l'intérêt des petits instruments présentés, intégrant l'observation et le calcul simultanés.

Nous reviendrons de façon plus circonstanciée sur cette formule lors de l'examen de l'instrument du Lieutenant de Vaisseau de Kérillis.

Avant de poursuivre, signalons en une courte digression que ces expressions sont encore relativement simples. Les travaux de géographie, de navigation ou d'astronomie impliquant l'usage de la trigonométrie sphérique sont productifs de formules bien plus complexes pour le calculateur. Les tables de loga-

rithmes devinrent alors incontournables dès leur invention et le demeurèrent longtemps, la règle à calcul ordinaire étant le plus souvent insuffisante pour ces travaux. Imaginons alors ce que devait être une journée de travail pour un génie comme Kepler lequel concevait nécessairement de telles formules pour étayer ses travaux avec les notations de l'époque... Ne disposant que d'une assistance technique réduite pour le calcul, il devait exploiter lui-même manuellement ses formules. Ce furent des heures, voire des jours ou des semaines de calculs inévitables mais harassants pour le corps et l'esprit, corvées matérielles qu'il fallait en outre distraire du temps consacré à l'observation et à la découverte.

À titre indicatif, avec un logiciel classique sur un PC, la production d'une table pour des valeurs de h en mètres variant de 0 à 30 avec un pas de 1 et des valeurs de γ en minutes variant de 0 à 400 avec un pas de 2, donc exactement 6231 valeurs numériques à calculer, nécessite bien moins d'une heure de travail essentiellement consacrée à la programmation, le calcul lui-même ne durant que quelques fractions de seconde⁹. Manuellement, avec une table de logarithmes cela aurait nécessité au moins un millier d'heures d'un travail assidu¹⁰.

On imagine alors sans peine le soulagement que toute invention ou innovation dans l'art du calcul pouvait apporter aux innombrables prédécesseurs des informaticiens. Admirons donc les quelques instruments qui suivent même si leur finalité était de pointer rapidement une cible.

Mesurage des grandeurs connues.

Les grandeurs connues des équations sont celles dont les valeurs peuvent être déterminées directement par mesurage. Les inconnues sont les grandeurs dont les valeurs restent alors à calculer à l'aide des équations.

Les longueurs connues sont mesurables par arpentage (B accessible), opération rendue éventuellement inutile par la lecture d'une carte. Les angles sont mesurables par goniométrie.

Les instruments portables présentés comportent tous un module de mesurage d'angles ou goniomètre et un module de calcul, excepté l'ancêtre dû à Jacques Besson, ce qui en fait leur intérêt. Même si le principe du goniomètre fondé sur la superposition d'images est identique pour les trois instruments, sa réalisation et son couplage avec le module de calcul diffèrent d'un instrument à l'autre.

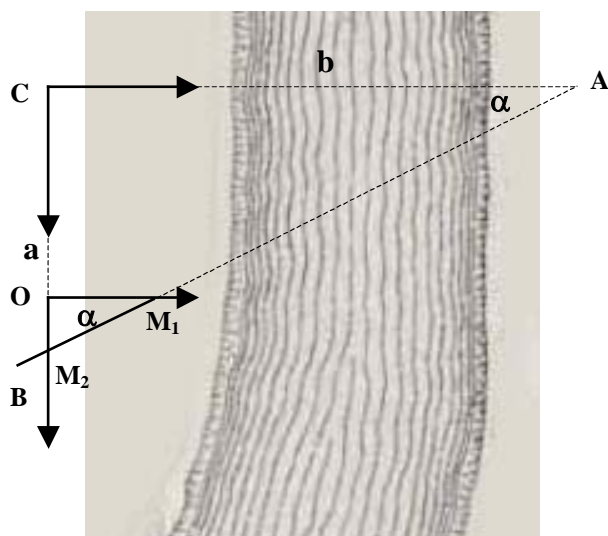
9 Ce qui fut réellement exécuté pour contrôler les nomogrammes du Lt de Vaisseau de Kérillis. Notons que la formule (i) est exprimable de diverses manières, celle présentée ayant semblé la plus commode pour le calcul. Rappelons que les plus âgés d'entre nous, comme l'officier cité, ignoraient ces performances à leurs débuts professionnels !

10 En fait certainement bien plus, car autrefois la feuille de calcul, préparée par le mathématicien, était souvent confiée à trois calculateurs travaillant séparément ; le travail était repris, toujours séparément, là où un désaccord apparaissait dans les résultats obtenus par ces modestes manouvriers de la recherche. Ce témoignage est un souvenir de mon professeur de « Taupé », Normalien Agrégé qui fit son service militaire, juste avant la première guerre mondiale, dans les rangs du Service Géographique de l'Armée, ancêtre de l'I.G.N.

3 LE COMPAS DE JACQUES BESSON (VERS 1571)

Le compas de Jacques Besson appartient à la fin du XVI^e siècle. Ce fut un modeste instrument, probablement en bois ; il fut vendu, comme c'est encore l'usage pour nos modernes instruments de calcul, accompagné d'un petit manuel d'utilisation¹¹. Les compas sont perdus à moins qu'un rescapé attende quelque part d'être découvert par un collectionneur chanceux. Heureusement quelques manuels ont été conservés, rares puisque l'exemplaire de la Bibliothèque Nationale n'est communicable par précaution que sous la forme d'un microfilm. Un essai de reconstitution de l'instrument est proposé dans la précédente monographie concernant le compas de proportion ; cet essai, éventuellement contestable et révisable, exprime cependant la volonté de l'inventeur de créer un instrument permettant à la fois le mesurage et le calcul. Le résultat est bien modeste et l'on peut s'interroger sur son utilité réelle d'autant mieux que Jacques Besson assure par ailleurs la paternité d'un autre instrument si étrange qu'un lecteur non averti pourrait le considérer comme tombé d'un vaisseau *alien* de Druillet !

Revenons tout de même à cet instrument et supposons que la cible A soit de l'autre côté d'une rivière d'environ cent pieds de large au moins. Beaucoup de rivières européennes répondent à ce critère. L'encombrement de l'instrument est de l'ordre de douze pouces soit un pour cent approximativement de la largeur de la rivière : tout cela pour bien préciser que les proportions dans la figure 7 sont rudement malmenées.



7 : Calcul d'une distance avec le compas de Jacques Besson.

La taille du compas est fortement grossie sur le dessin par rapport à la largeur de la rivière ; CB est également amplifié mais avec moins d'exagération que le compas. Cela étant, avec une bonne approximation :

Soit, en reprenant la formule (a) et en tenant compte que $\gamma = \pi/2$

$$CA = CB \frac{OM_1}{OM_2} \quad \text{ou} \quad b = a \times \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha}$$

Le rapport OM_1/OM_2 dans la forme $x/32$ (x entier au plus égal à 32), donc le rapport CA/CB et finalement CA .

Tout cela est bien rudimentaire mais restons néanmoins admiratifs : ce furent les balbutiements de notre instrumentation intégrée moderne.

L'hypothèse de prédécesseurs pour cette invention est tout à fait plausible ; encore faut-il les trouver... Une autre remarque s'impose : la rusticité de l'instrument permet de le construire facilement avec des moyens de

Item, si on dresse vne iambe du cō pas en equierre, ainsi colloqué cōme nous venons de dire, sur le trauers d'v nriuiere, posée pour exemple. Et l'autre, le long de la riue, où est le geo metre. Certes, en changeant de statiō sur ladicte riue: & puis inclinant l'Indice ou costé subtendent, depuis le tenon de la iambe dressée sur le trauers de la riuiere, tirāt vers l'autre iambe, de forte qu'on puille veoir le mesme signe, & marque qu'on a premierement discerné du delà de la riuiere le long di-je; de l'arête de l'Indice, en cette seconde fois, cōme on a fait par celle de la iambe la premiere fois: lors vrayement on trouuera par les mesures qui sont au dedans, entre la tette du compas, souz l'arête de l'Indice, le lōg de l'vne & l'autre iambe, la proportiō née quantité du trauers de la riuiere proposée.

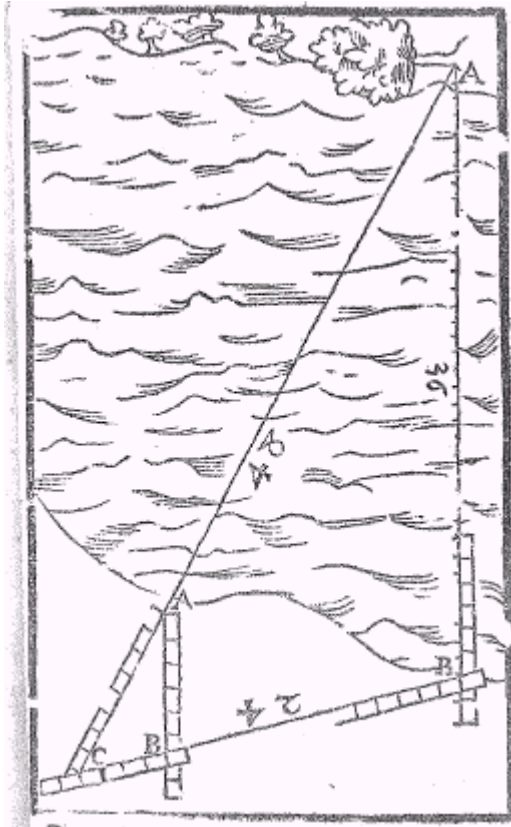
6 : Fragment du manuel d'utilisation du compas de Jacques Besson, 1571, i.

Le compas est ouvert en équerre (fig. 7) ; l'observateur, en C proche de la berge, pointe une branche du compas vers la cible A, l'autre branche étant orientée le long de la berge ; Jacques Besson est muet sur la manière d'assurer ce parallélisme. De petites aiguilles fichées sur les branches du compas doivent en principe faciliter ces visées préliminaires. L'observateur se déplace ensuite en B sans oublier d'estimer le nombre de pieds qu'il parcourt ainsi et en supposant que la berge soit à peu près rectiligne à cet endroit ; l'instrument impose en outre que CB soit inférieur à CA même si le manuel oublie de le préciser. Parvenu en B et maintenant le compas orienté comme précédemment, l'observateur vise à nouveau A en utilisant la pièce mobile de l'instrument que Jacques Besson nomme : « Indice ». Rappelons que ce compas porte du côté intérieur de ses branches deux lignes de trente-deux parties égales. Par construction l'extrémité M_1 de l'indice pivote autour de la graduation 32 de la première ligne ; la visée étant assurée, l'indice croise alors la seconde branche¹² à proximité d'une graduation M_2 sur la seconde ligne¹² ; nous supposons ici que la position B de l'observateur et celle de M_2 proche de son œil sont très voisines et peuvent être confondues pour le calcul.

L'observateur connaît immédiatement le rap-

11 Besson, 1571, i.

12 Rappelons que si le compas est en équerre comme c'est le cas ici, la distance entre les graduations 32 de chaque branche représente exactement la longueur de la pièce nommée Indice. Pour cette raison CB est obligatoirement inférieur à CA.



8 : Usage du compas de l'instrument de Flamand, 16..., iv, p.24. Bel exemple de croquis remplaçant un long discours.

en amenant par rotation du miroir **Mm** l'image de A à l'aplomb de celle de R puis, recommençant sa visée depuis B, il obtient $\beta' - \gamma$. Pour cette opération, l'instrument est muni d'une molette graduée avec vernier (fig. 11). Les échelles lui permettent ensuite de calculer rapidement b mais il n'existe pas de couplage entre le mesurage et le calcul comme dans les instruments suivants.

Calcul

La conception de ces échelles repose sur la formule (a) transformée :

$$(j) \quad \log b = \log a + \log \sin \gamma - \log \sin(\beta' - \gamma)$$

ou, cette relation étant à l'origine de la disposition des échelles :

$$(k) \quad \log a + \log \sin \gamma = \log b + \log \sin(\beta' - \gamma)$$

Le calcul pourrait être effectué avec n'importe quelle règle classique. Cependant la disposition des échelles logarithmiques est particulière à cet instrument pour faciliter l'exploitation des mesures obtenues. Elles sont réparties en deux groupes et pour chacune d'entre elles la plage de valeurs est limitée aux seules valeurs utiles en pratique.

Le premier groupe est formé de l'échelle « Parallaxe » sur le socle et de l'échelle « Base » sur la règlette (fig. 12).

fortune permettant ainsi d'obvier l'indisponibilité de moyens perfectionnés pour procéder à des calculs immédiats.

Ce type d'instruments fut donc par la suite imité ou réinventé sous des formes voisines, longtemps après la disparition de Jacques Besson : la figure 8 ci-contre est extraite d'un ouvrage abondamment illustré de Claude Flamand¹³ parmi bien d'autres abordant ce sujet.

4 TÉLÉMÈTRE DU CAPITAINE AUBRY (VERS 1900)

Cet instrument est décrit dans La Nature du 2 février 1900². Le télémètre possède deux éléments : un goniomètre. et quatre échelles logarithmiques sur le même support pour une exploitation immédiate des mesures angulaires (fig. 9, 12).

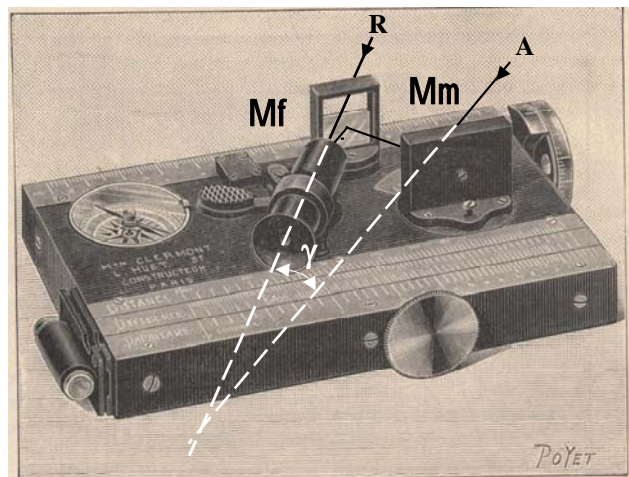
Dans l'article, les grandeurs γ , a et $\beta' - \gamma$ sont respectivement nommées : « Parallaxe », « Base », « Différence » ; Les échelles correspondantes sont disposées de bas en haut dans cet ordre sur l'instrument (fig. 11). La distance calculée est lue sur la quatrième échelle. Les angles sont exprimés en millièmes¹⁴ et les distances en mètres.

Mesurage

Nous sommes dans la situation où l'opérateur peut accéder à B depuis C (fig. 2).

L'optique de mesurage est amplement décrite dans l'article de G. Vitoux pour les amateurs de tels instruments¹⁵.

En résumé¹⁶, visant R depuis C (fig. 10), l'artilleur mesure γ



9 : Télémètre Aubry (La Nature, Vitoux, xiii, p.205).

13 Flamand, 16..., iv.

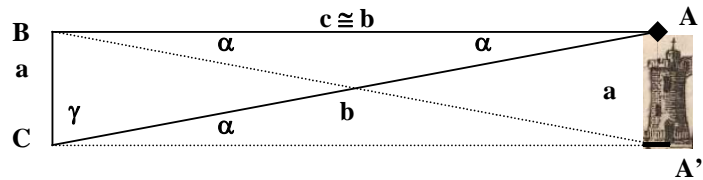
14 Le millième de radian est en pratique l'angle sous lequel on voit une mire de 1m placée à 1000m. En toute rigueur cette mire est vue sous un angle égal à $\arctg(1/1000)$. La confusion de l'angle et de sa tangente n'est valable que pour des mires limitées à quelques mètres, telles que celles utilisées par les topographes, c'est à dire pour des angles petits.

15 Cependant son principe, identique à celui de l'instrument du Lt de Vaiss. de Kétilis est sommairement rappelé dans la figure 10.

16 Le Lt de Vaiseau Nennique confronté au difficile problème de se faire comprendre ailleurs qu'en mer annonçait aux lecteurs : « Pour être compris de tout le monde, nous serons obligé d'entrer dans certains détails de la construction du sextant qui n'est guère connu que des marins » ; 1876, vi, p.333. Notons que le télémètre du Lt de Vaiseau Hennique est en fait un sextant et que son usage nécessitait l'usage de tables pour l'évaluation finale des distances.

précédents afin que la relation (k) soit vérifiée. La vérification effectuée sur la figure 11 donne pour le produit $b \times \sin(\beta' - \gamma)$: 26,2¹⁸.

En fait, le principe de l'instrument de calcul est rigoureux : lorsque la réglette est strictement rentrée, la graduation 20 de la « Base » est face à la graduation 1570 de la « Parallaxe ». Ce cas correspond à une visée à angle droit vers A depuis C. La distance correspondant à une différence de vingt millièmes devrait alors être 1000m avec une erreur que l'épaisseur d'un trait de gravure ne devrait même pas permettre de distinguer, ce qui n'est pas constaté sur la figure. La restitution due à l'artiste graveur est donc infidèle !



13 : Calcul de l'altitude.

Il existe une manière de procéder que quelques auteurs signalent volontiers tant elle est simple : depuis C, choisi de manière à viser A à angle droit, on chemine ensuite dans une direction orthogonale à AC jusqu'à un point B¹⁹ pour lequel $\gamma = 785$ millièmes, soit 45° . Dans ce cas, $b=a$. La méthode est véritablement simpliste mais l'ingénieur, surtout s'il est militaire, capable de travailler ainsi en toute quiétude en campagne, est une pure vision de l'esprit devant être rangée dans les cas d'école improbables.

Remarque.

Il existe une manière de procéder que quelques auteurs signalent volontiers tant elle est simple : depuis C, choisi de manière à viser A à angle droit, on chemine ensuite dans une direction orthogonale à AC jusqu'à un point B¹⁹ pour lequel $\gamma = 785$ millièmes, soit 45° . Dans ce cas, $b=a$. La méthode est véritablement simpliste mais l'ingénieur, surtout s'il est militaire, capable de travailler ainsi en toute quiétude en campagne, est une pure vision de l'esprit devant être rangée dans les cas d'école improbables.

Angle de site et altitude du point visé

Dans ce qui précède nous avons supposé implicitement que le cheminement CB était horizontal ; pour des parcours de 20 à 60 mètres en rase campagne cette hypothèse est réaliste et quelques inégalités de terrain restent ici sans effet notable sur la précision souhaitée. Par contre le point visé A, plus éloigné, est généralement à une altitude différente et l'évaluation de son angle de « site » est nécessaire s'il s'agit par exemple de régler un tir. Une correction du résultat obtenu précédemment est possible avec le même instrument.

L'instrument est équipé à cet effet sous son socle d'un pendule et d'un cercle gradué en millièmes avec vernier permettant de mesurer l'angle de site par une simple visée. Utilisant les mêmes notations que celles de la figure 3 précédente mais avec des significations différentes représentées dans la figure 13,

- la base $CB = a$, virtuelle, est l'inconnue à calculer, égale à l'altitude ou hauteur réelle recherchée $A'A$,
- la différence des visées imaginaires de A' depuis C puis depuis B est égale à l'angle de site α effectivement mesuré,
- l'approximation $c \cong b$, b étant la distance précédemment calculée, est acceptable pour la suite des calculs, $A'A$ étant petit devant CA' .

Ces hypothèses simplificatrices étant admises, on déplace la réglette de manière à faire coïncider la graduation c (ou b) sur l'échelle « Distance » avec la graduation α sur l'échelle « Différence ». La graduation a sur l'échelle « Base » placée en face de l'origine 1570 ($\pi/2$) de l'échelle « Parallaxe » donne l'altitude recherchée. Ce procédé est éloigné de celui habituel en topographie lors de travaux méticuleux de triangulation.

5 STUART'S MARINE DISTANCE METER

Description sommaire

L'instrument est un télémètre avec une optique pour la visée, associée à un nomogramme donnant la distance en "cables" (encablure) en fonction de la hauteur en feet de l'objet visé²⁰. Le verso permet de noter les hauteurs de mâts pour différents bâtiments connus.

Construit par H. Hugues & Son C^o, London, il porte les références : Patt 498²¹, n°6287. Le coffret a pour dimensions :



14 : Stuarts Marine Distance Meter dans son coffret.

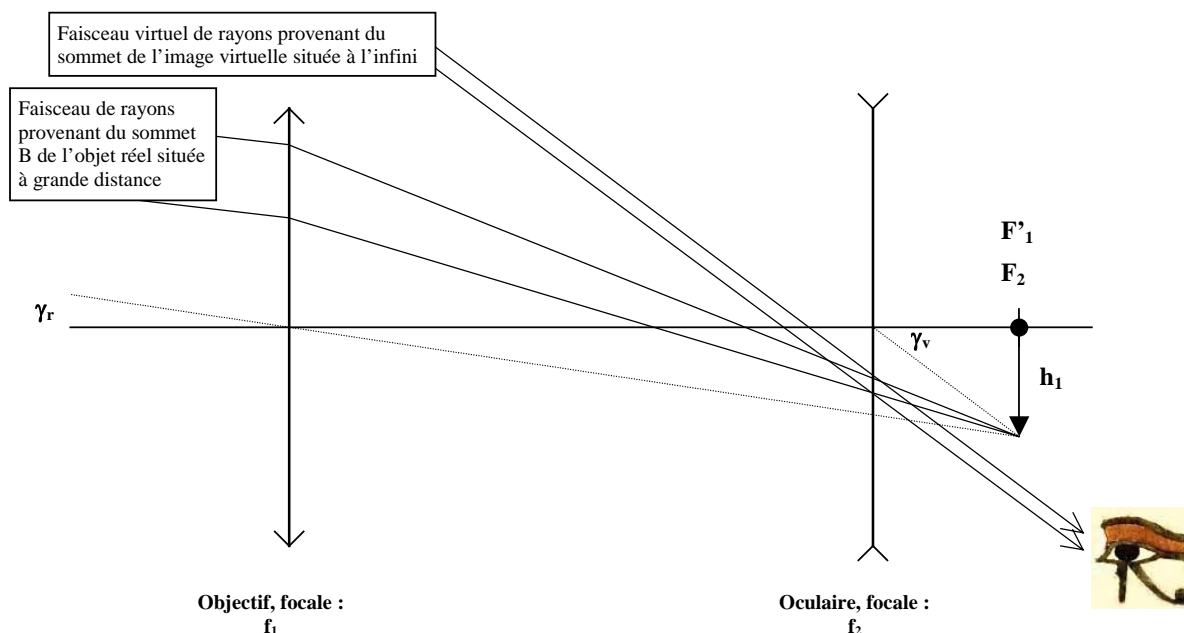
18 Cette différence est explicable par une translation d'ensemble du second groupe d'échelles difficilement appréciable sur la figure ou tout simplement par l'imprécision du dessin, les graduations représentées y étant manifestement grossièrement rendues.
 19 C'est la méthode décrite par Jacques Besson dans le chapitre précédent pour utiliser son compas.
 20 La conversion de ces unités insulaires accompagne la figure 18.
 21 L'Office Anglais des Brevets, consulté, n'a communiqué aucune réponse.

200×123×50, et pour l'instrument seul, avant le montage de la lunette : 128×97×29. C'est donc un instrument facilement transportable dans une des larges poches d'un habit d'officier de marine du XIX^e siècle (fig. 14).

Éléments théoriques et opératoires

L'instrument d'observation est une lunette terrestre composée d'un objectif convergent de focale f_1 et d'un oculaire divergent de focale f_2 .

L'objectif donne de l'objet réel observé, de hauteur h_r ²² connue et situé à une grande distance inconnue d_r ²², une image de hauteur h_1 située à proximité de son plan focal image F'_1 ; pour les calculs approchés suivants nous supposons que l'image est pratiquement dans ce plan focal ; cette image est en outre tournée de π dans ce



15 : Schéma de l'optique du Sturts Marine Distance Meter.

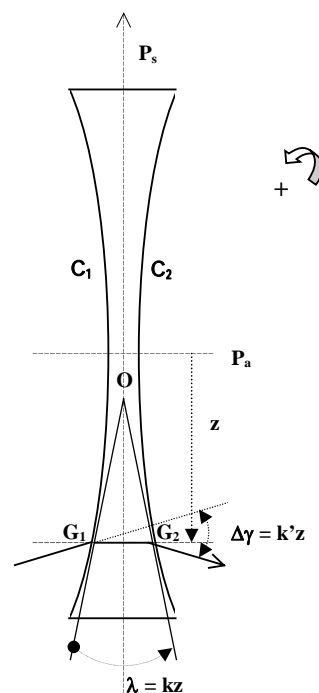
plan par rapport à l'objet. L'observateur effectuant la mise au point met en coïncidence le plan focal objet de l'oculaire F_2 avec F'_1 . L'oculaire lui restitue alors de h_1 une image virtuelle h_v située à l'infini, tournée de nouveau de π par rapport à la précédente, donc convenablement orientée par rapport à l'objet visé.

Dans ces conditions, l'angle d'observation γ_r de l'objet réel est petit, de même que l'angle d'observation γ_v de l'image virtuelle finale : les rayons incidents émis par un même point de l'objet réel sont considérés comme parallèles, de même les rayons incidents à l'œil de l'observateur, provenant de l'image virtuelle de ce même point. Le grossissement donné par la lunette est le rapport de l'angle de vision de l'image de l'objet à travers la lunette à celui de l'objet à l'œil nu :

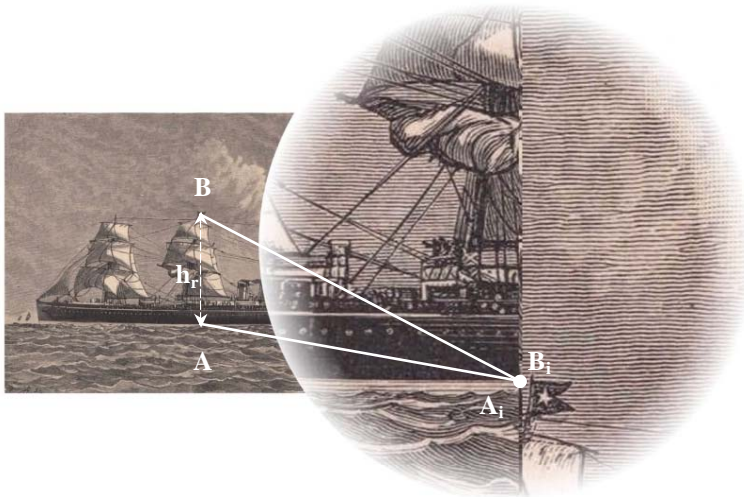
$$(l) \quad \gamma = \frac{\gamma_v}{\gamma_r}$$

Ce grossissement est sans intérêt pour les calculs ; son avantage est de faciliter l'observation et les manipulations décrites ci-après. Toujours dans les conditions précitées nous avons la relation simple :

$$(m) \quad \gamma_r = \frac{h_r}{d_r} \quad \text{ou} \quad d_r = \frac{h_r}{\gamma_r}, \quad h_r \text{ étant connu.}$$



16 : coupe des lentilles cylindriques biconcaves.



17 : Forme de l'image à la fin de l'opération.

image virtuelle coupée en deux, le haut de sa partie droite étant descendu au niveau du bas de sa partie gauche. S'agissant d'un instrument pour marin, le bas est ici le niveau de la mer²³.

Réalisation.

Ce qui suit est fondé sur l'observation directe de l'instrument et sur son usage²¹ ; cet examen plausible dans son ensemble, reste hypothétique pour le détail. Il faudrait pour l'affiner, qu'un mécanicien habile démonte ce vieil objet fragilisé par les ans et quelques intempéries pour ensuite mesurer dans un laboratoire les caractéristiques géométriques et optiques de ses éléments.

L'astuce réside dans la construction du prisme qui n'en est pas un : l'objectif est précédé d'une paire de lentilles cylindriques biconcaves taillées dans le même matériau et placées côte à côte. Celle de gauche L_g est fixe, celle de droite L_d est mobile verticalement. Deux cylindres C_1 et C_2 symétriques par rapport à un plan vertical P_s délimitent les faces de ces lentilles ; les courbes directrices, théoriquement paraboliques²⁴, ont leurs axes perpendiculaires au plan de symétrie. Le plan axial commun P_a des cylindres paraboliques est perpendiculaire au plan de symétrie P_s . L_g , fixe, est limitée à sa seule partie utile sous le plan P_a . Pour chaque lentille, les plans tangents à ces faces le long des génératrices G_1 et G_2 situées à une distance z du plan axial P_a forment un dièdre dont l'angle au sommet λ est proportionnel à z : $\lambda(z) = kz$. k dépend évidemment de la courbure des courbes directrices²⁵.

La déviation $\Delta\gamma$ d'un rayon incident en G_1 est elle-même proportionnelle à z :

$$(o) \quad \Delta\gamma = (n-1)kz = k'z.$$

La lentille L_g étant fixe par rapport à l'objectif, nommons z_0 la distance du centre de l'objectif à P_a .

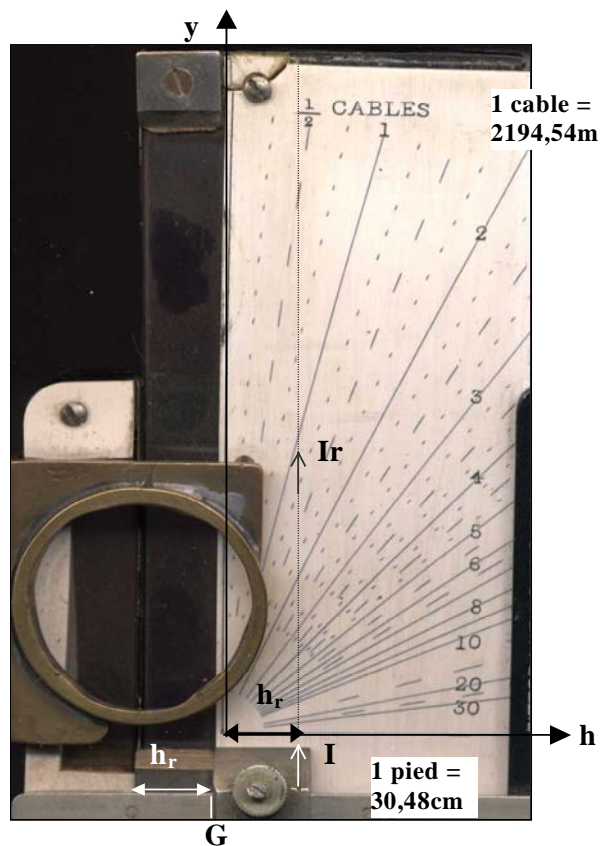
Une molette sur le côté de l'appareil permet de mouvoir la lentille de droite L_d et le nomogramme qui

Méthode.

Supposons tout d'abord que la partie droite de l'objectif soit précédée par un prisme d'indice de réfraction n et d'angle λ , supposé faible ; si le sommet du prisme est orienté vers le bas, tout rayon arrivant sur ce dispositif avec un angle γ est alors dévié vers le haut de :

$$(n) \quad \Delta\gamma = (n-1)\lambda$$

Si maintenant nous choisissons λ tel que $\Delta\gamma = \gamma_r$, tous les rayons provenant de l'objet réel et arrivant sur la partie droite du dispositif sont relevés de l'angle γ_r si bien que la moitié gauche de l'image h_1 est relevée dans le plan focal de sa propre hauteur ; finalement, l'observateur observe alors une



Le bord gauche G du curseur est positionnée sur l'échelle graduée en pieds pour la valeur h_r , hauteur de l'objet visé. L'index I est ainsi positionné pour la même valeur sur l'axe h . Lors du réglage, cet index se déplace verticalement avec la lunette jusqu'à sa position finale I_r . L'abaque donne alors la distance de l'objet visé ; entre 1, et 1,25 cable pour l'exemple de la figure.

18 :Abaque pour le calcul de la distance de la cible.

- 23 Dans cette opération il convient de bien noter que l'œil fait partie du système optique. La position de la pupille derrière l'oculaire est donc importante car elle détermine les limites des deux demi-champs d'observation. Tout déplacement de la pupille entraîne une modification des deux demi-images perçues.
24. La remarque est théorique. Dans la pratique, ce devraient être des arcs de cercles plus faciles à réaliser. Les courbures étant faibles, cette approximation constructive est certainement suffisante pour l'usage attendu de cet instrument.
- 25 Cette courbure est suffisamment faible pour que $\lambda = kz$ varie peu pour la partie de chaque lentille placée effectivement devant l'objectif ; cela afin d'éviter une déformation trop importante de chaque partie de l'image.

lui est associé.

L_d est d'abord déplacée vers le haut de manière à ce que l'index I soit positionné sur l'axe h de l'abaque (fig. 18). Dans cette position, L_g et L_d sont strictement dans le prolongement l'une de l'autre et tous les rayons incidents sont déviés du même angle :

$$(p) \Delta\gamma_0 = (n-1)kz_0 = k'z_0.$$

Cette disposition à deux avantages.

- Malgré leur faible courbure en tout point de leurs faces, les lentilles provoquent chacune un léger astigmatisme. L'usage des deux lentilles uniformise cet astigmatisme pour les deux demi-champs de l'appareil le rendant ainsi véritablement imperceptible pour l'opérateur.

- cette disposition est vraisemblablement adoptée pour abaisser l'image de la ligne d'horizon qui occuperait autrement la ligne médiane de l'image ; on évite ainsi à l'observateur la vision totalement inutile d'une grande étendue d'eau lorsqu'il vise un objet pratiquement toujours placé près de cette ligne d'horizon.

Agissant de nouveau avec la molette l'observateur déplace vers le bas l'ensemble L_d et abaque jusqu'à ce que la haut de l'image à droite de l'objet visé de hauteur connue coïncide avec le bas dans la partie gauche. Dans ce cas la déviation relative des rayons du côté droit est

$$(q) \Delta\gamma = \Delta\gamma_0 - \Delta\gamma_d = (n-1)k(z_0 - z) = k'y,$$

y étant le déplacement de l'index I sur le nomogramme on en déduit :

$$(r) d_r = \frac{h_r}{k'y}$$

Le nomogramme solidaire du dispositif évite à l'opérateur d'effectuer ce calcul.

Usage du nomogramme

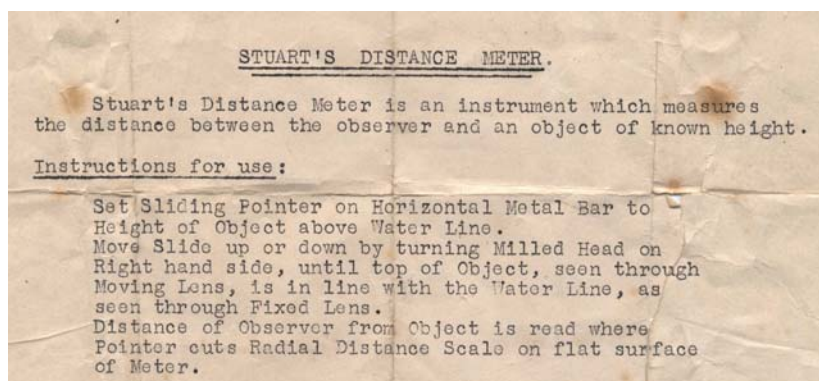
Le nomogramme est constitué d'un faisceau de droites gravées sur une plaque.

$$(s) y = \frac{h_r}{k'd_r}$$

Chaque droite correspond à une valeur fixe de d_r exprimée en *cables*.

La réglette, portant un curseur et un index I, est solidaire de L_d ; elle se déplace sur le faisceau de droites à chaque mouvement de L_d . Elle porte les graduations 0 à 230 *feet*. Le curseur mobile sur cette réglette est positionné sur la graduation correspondant à h_r . L'observateur déplace alors L_d de façon à obtenir le décalage de l'image. La pointe de l'index I associé au curseur désigne sur le nomogramme le déplacement y de L_d (I_r sur la figure 18) ; il se trouve en général entre deux droites du nomogramme, ce qui donne une fourchette de distances pour l'objet visé.

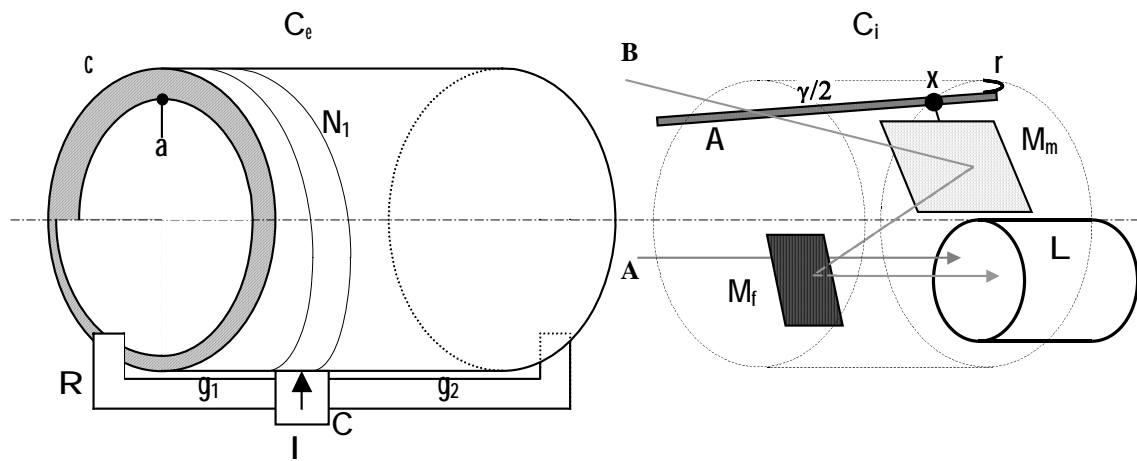
Cet instrument est très curieux. Les marins possèdent des tables de silhouettes permettant d'identifier des bâtiments. La « base de données » associée à cet instrument est bien plus modeste : il s'agit d'un emplacement au dos de l'appareil permettant de noter des noms de bâtiments et la hauteur de leurs mâts. Armé d'une longue lorgnette, l'officier de quart pouvait identifier son vis à vis ; ensuite, l'instrument de grossissement plus modeste réglé comme nous venons de la décrire, l'abaque lui fournissait immédiatement la distance en regard de la hauteur du mât.



19 : Mode d'emploi de confection supposée tardive.

6 TÉLÉMÈTRE DU LT DE VAISSEAU DE KÉRILLIS (vers 1896)

La conception de cet instrument repose sur la même idée que pour le précédent : assurer le couplage d'un module de mesurage à un module de calcul afin d'obtenir en « temps réel » et sans calcul manuel la distance de la cible visée. À notre époque un ingénieur, chargé de concevoir et d'intégrer un système de traitement de l'information en temps réel dans un site industriel, commence par analyser ce site en décrivant les éléments qui le composent (morphologie) et comment ces éléments fonctionnent et coopèrent (physiologie)¹ ; ensuite il étudie le système de traitement adéquat pour assurer le contrôle du précédent. Bien qu'à une échelle moindre, c'est tout à fait dans cet esprit que le Lieutenant de Vaisseau de Kérillis agit il y a plus d'un siècle : il décrivit les



20 : Schéma de principe du fonctionnement du télémètre du Lt de Vaisseau de Kérillis.

procédés usuels de l'artillerie de marine²⁶ et montra comment l'instrument qu'il proposait était capable d'assurer simultanément en quelques secondes le mesurage nécessaire à l'évaluation de la distance de la cible et le calcul de cette distance à partir de la mesure obtenue. Deux procédés existent déterminant la conception de l'instrument :

- la méthode dite de « hauteur de mâture »,
- la méthode dite de « hauteur de l'œil ».

Des sextants munis d'un module de calcul nommé micromètre, pour convertir les angles mesurés en distances, existaient²⁷ mais apparemment sans couplage entre mesurage et calcul, c'est du moins un point sur lequel insiste le Lt. De Vaisseau de Kérillis.

Éléments constructifs (fig. 20)

L'instrument comporte un module de calcul et un module de mesurage.

Le module de calcul comporte un cylindre dit « extérieur » C_e et une règle R . C_e et R sont mécaniquement indépendants. C_e supporte, enroulés, le nomogramme N_1 pour la méthode de la « hauteur de mâture » et le nomogramme N_2 pour la méthode « hauteur de l'œil » (fig. 21). R porte des graduations g_1 et g_2 représentant les axes des abscisses de N_1 et N_2 . Un curseur C portant un pointeur I permet de choisir la « hauteur de mâture » ou la « hauteur de l'œil » pour le calcul qui sera effectué simultanément et en résultat du mesurage. L'axe des ordonnées γ pour les deux nomogrammes est matérialisé à l'intérieur du cercle directeur situé à l'extrémité frontale de C_e par une came c ; chaque rayon du cercle directeur correspond à une valeur de γ sur l'axe des ordonnées selon l'échelle imaginée par l'inventeur. Pour chaque rayon correspondant à une graduation en ordonnée, la saillie de la came c est proportionnelle à la valeur de $\sin(\gamma/2)$ portée par la graduation.

Le module de mesurage comporte un bâti inscrit dans un cylindre virtuel dit « intérieur » C_i . Ce bâti porte trois anneaux ainsi que la chaîne optique pour l'observation : une alidade A et un miroir M_m solidairement mobiles autour d'un axe X , un ressort I de poussée sur l'alidade, puis un miroir fixe M_f , enfin la lunette de visée L .

Le module de mesurage s'insère à l'intérieur du module de calcul. C_e peut alors tourner avec un frottement doux sur les trois anneaux fixés sur le bâti sans possibilité de déplacement axial. R est attachée au bâti. L'extrémité frontale de l'alidade s'appuie sur la came c qui lui impose ainsi qu'au miroir M_m une déviation vers le bas de $\gamma/2$; le ressort I maintient en permanence le contact de c et A .

Mode opératoire.

L'opérateur tourne C_e jusqu'à la coïncidence recherchée des images des points réels spécifiés par la méthode choisie. À ce moment l'alidade A été baissée de $\gamma/2$, γ étant la distance angulaire de A et B .

Par la méthode de la « hauteur de mâture » l'opérateur place préalablement le curseur à la graduation indiquant la hauteur de mâture du bâtiment dont il veut déterminer la distance : cette opération étant faite une fois pour toutes, il suffit de mettre à niveau l'image de la ligne de flottaison du navire et celle du point culminant de sa mâture (fig. 17) pour lire d'emblée en face du curseur I , sur N_1 , la distance cherchée.

Par la méthode de la « hauteur de l'œil » le curseur ayant été placé une fois pour toutes en face de la graduation marquant l'altitude de l'œil de l'observateur, il suffit pour ce dernier de mettre à niveau l'image de la

26 Un inconvénient toutefois dans la lecture de ce document : l'auteur, Officier de Marine, s'adresse dans une revue de marine à des pairs connaissant tout du service à bord, en usant d'un vocabulaire spécialisé. C'est tout de même du français et avec un peu d'attention le terrien profane finit par comprendre le marin.

27 Randier, 1999, xii, p.75.

ligne de flottaison du navire avec celle de l'horizon de la mer pour lire d'emblée en face du curseur sur **N2**, la distance cherchée ;

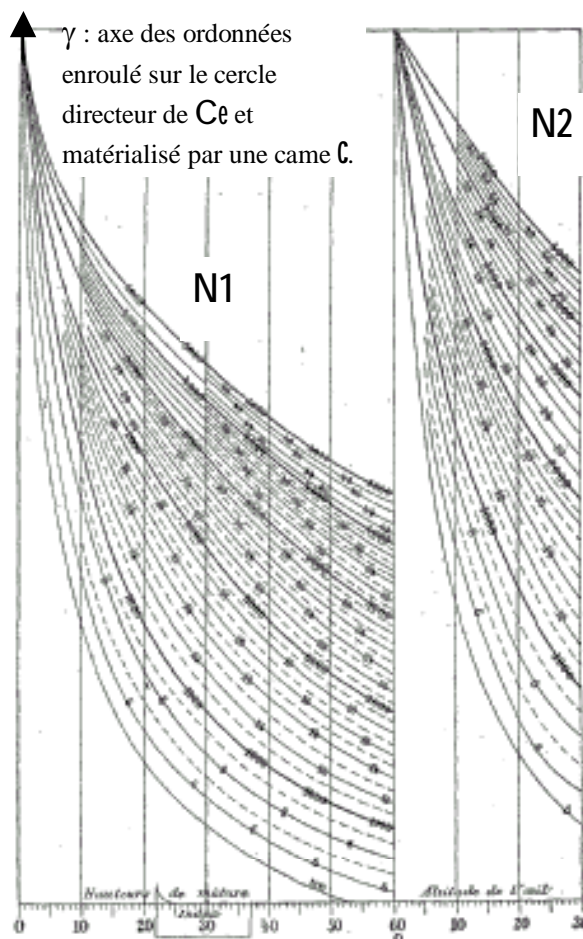
Nomogrammes

Enroulés sur l'enveloppe extérieure, ils constituent avec la règle fixe, son curseur et son index **I** le module de calcul.

Pour ce qui concerne seulement la méthode de la « hauteur de mâture » l'inventeur présente un premier nomogramme dans un plan cartésien usuel, constitué d'un faisceau de droites, correspondant chacune à une distance d_r , d'équation $h = d_r \gamma$. Ce nomogramme montre la difficulté de lecture des résultats pour les distances usuellement constatées.

Apparaît alors une particularité de l'instrument : pour faciliter la lecture de ce nomogramme, l'échelle linéaire de l'axe des γ est transformée selon une loi qui n'est pas précisée. L'allure des graduations fait penser à une échelle logarithmique mais sans certitude ; de plus l'auteur indique que le tracé de cette échelle ne peut s'obtenir que par une méthode empirique. Deux formules sont ainsi proposées selon la partie de l'échelle concernée, sans s'attarder aux spéculations qui y ont conduit. La lecture de ce nomogramme conduit bien aux résultats obtenus par calcul direct²⁸.

Le nomogramme de calcul selon la méthode de la « hauteur de l'œil » est établi selon un procédé qui semble également empirique. Sa lecture donne des résultats supérieurs d'environ 20% de ceux obtenus par le calcul direct²⁸. L'inventeur a probablement introduit dans ses formules des termes corrigeant des aberrations liées à l'observation de la ligne d'horizon.



Axes des abscisses portés par **R**, règle parallèle aux génératrices de **Cε**.

21 : Nomogrammes **N1** et **N2**.

7 CONCLUSION

Le premier instrument associe deux modules : l'un de mesure, l'autre de calcul. Cependant les deux modules associés par construction dans le même objet doivent fonctionner indépendamment.

Les deux autres, même modestes, apparaissent par contre comme des précurseurs de systèmes contemporains. Nous distinguons en effet sur le même instrument deux modules couplés selon le vocabulaire moderne : un instrument de mesure et un instrument de calcul. ; aujourd'hui nous dirions : capteur et unité de traitement. Nous sommes évidemment habitués à des systèmes bien plus sophistiqués, dans l'armement moderne le guidage du projectile étant même assuré en temps réel selon les résultats du traitement. Toutefois, nous avons là un exemple réussi de couplage d'un instrument de mesure et d'un instrument de calcul fonctionnant en « temps réel ». Il convient également de noter une différence subtile : dans l'instrument de Stuart, le module de mesure contrôle le module de calcul alors que c'est l'inverse dans l'instrument du Lt de Vaisseau de Kérillis.

Enfin dans le cas seul de l'instrument de Stuart, la table située au verso de l'instrument introduit la fonction de reconnaissance de forme ; à cette époque seul le cerveau humain était capable d'assurer cette fonction. On remarque cependant là encore la volonté de l'inventeur de placer dans le même instrument tout ce qui était nécessaire à son fonctionnement. Sans être nommé ainsi, le concept de système intégré intéressait donc déjà nos prédécesseurs : il orienta de nombreux travaux, des plus modestes comme celui que nous venons de présenter aux plus prestigieux, tels ceux de Charles Babbage.

8 BIBLIOGRAPHIE

La bibliographie concernant ces instruments très particuliers est évidemment courte. Seul ouvrage général cité, le manuel de Bion expose dans le style du XVIII^e siècle les procédés de triangulation, accompagnés de figures présentant les instruments de topographie de l'époque utilisés aussi bien par les militaires que par les ci-

vils ; les communications concernant particulièrement les instruments décrits sont rares : un appel est lancé aux lecteurs qui en trouveraient d'autres !

- i **Besson** (Jacques). Description et usage du compas euclidien. Paris, Galiot du Pré, 1571. 5ff.. N°FRBNF30100031.
- ii **Bion** (N.). Traité de la construction et des principaux usages des instrumens de mathématique. Avec les Figures nécessaires pour l'intelligence de ce Traité. Quatrième édition, revue, corrigée et augmentée par le Sr N. Bion, ... A Paris, Chez Charles-Antoine Jombert, ..., Bion Fils, ..., M.DCC.LII. 448p., 37pl. h.-t., table.
- iii **Daguin** (Pierre-Adolphe). Traité élémentaire de physique théorique et expérimentale avec les applications à la météorologie et aux arts industriels : à l'usage des facultés, des établissements d'enseignement secondaire et des écoles spéciales du Gouvernement. Tome troisième. Toulouse, E. Privat, Paris, Dezobry & E. Magdeleine, 1860. 1007p. Gallica, FRBNF37256990.
- iv **Flamand** (Claude). Premier Livre de Géométrie des lignes droites... *in* : La guide des fortifications et conduite militaire pour bien se fortifier et deffendre. Sde éd. rev. et augm. de pl fig. Montbéliard : J. Foillet, [16??]. 247 p. : fig. et tabl. Gallica, FRBNF30439655
- v **Guérout** (Georges). Le télémètre Groussillier-Zeiss. *in* : la Nature, 28^{ème}. ann., 2^e. sem., n°1434, 17 nov. 1900. p.387.
- vi **Hennique** (Lt de Vaiss. de). Étude sur le sextant appliqué à la mesure des distances. *in* : Revue maritime. Ministère de la marine, Service historique de la Marine, Paris, 1876. pp.329/370.
- vii **Kérillis** (Lt de Vaiss. de). Nouveau télémètre donnant d'emblée la distance et la hauteur de mâture. *in* : Revue maritime. t129. Ministère de la marine, Service historique de la Marine, Paris, 1896. pp.216/236. SSN 0335-380X. (0373-3688). Notice FRBNF34374990 (Gallica).
- viii **Lacroix** (Silvestre-François). Manuel d'arpentage ou Instruction élémentaire sur cet art et sur celui de lever les plans. Paris, Roret, 1834. xip., 185p., 4pl. Notice n° : FRBNF37260782.
- ix **Lecyre** (Alfred). Étude sur un télémètre répéteur à retournement, appareil nouveau permettant une détermination rapide et approximative des distances par un seul observateur, sans mesure de base, sans emploi de mire auxiliaire et sans aucune connaissance des dimensions de l'objet visé. Paris : Gauthier-Villars, 1867. 55 p., fig. Notice FRBNF30769344
- x **[Nature (La)]**. Le télémètre de poche du Lieutenant Gaumet. *in* : la Nature, 7^{ème}. ann., 2^e. sem., n°331, 4 oct. 1879. pp.2772/279.
- xi **[Nature (La)]**. Télémètre de poche. *in* : la Nature, 15^{ème}. ann., 2^e. sem., n°753, 5 nov. 1887. pp.362/363.
- xii **Randier** (Jean). L'instrument de marine. Édition Marcel-Didier Vrac, Le Touvet, 1999.220p. ISBN 2-910821-26-9.
- xiii **Vitoux** (Georges, Dr). Un nouveau télémètre. *in* : la Nature, 28^{ème}. ann., 1^{er}. sem., n°1396, 24 févr. 1900. pp.205/207.
- xiv **Vitoux** (Georges, Dr). Le télémètre du Commandant Gérard. *in* : la Nature, 35^{ème}. ann., 1^{er}. sem., n°1764, 16 mars 1907. pp.258/260.