Article de Le Goff :
http://www.math.unicaen.fr/irem/publi/echo/pp20_1.pdf

La mesure par visée des grandeurs inaccessibles

Jean-Pierre LE GOFF,
Cercle d'Histoire des Sciences de l'IREM de B.-N.
Caen, septembre 2003.

Comment mesurer des grandeurs linéaires rectilignes lorsque celles-ci sont inaccessibles ? Le problème est aujourd'hui aisément résolu, à l'aide des ondes, qu'il s'agisse de laser ou d'ultra-sons, qui servent en outre à apprécier horizontalité et normalité en doublant les traditionnels niveaux et fils à plomb.

Au cours des siècles passés, on a vu apparaître différents procédés, dont je vais donner le principe pour quelques-uns d'entre eux. Je décrirai, au passage, les instruments requis, sous une forme telle qu'ils puissent être construits de nouveau, avec d'éventuelles adaptations, et de façon qu'ils puissent servir à diverses activités pédagogiques. Cette approche devrait enfin mettre en évidence un type d'« objets mathématiques » – théoriques ou pratiques – dont je dis souvent qu'ils peuvent être prétexte à utilisation(s) dans différents niveaux du cursus, "de la maternelle à l'université" : il suffit de "changer de point de vue". Dans le cas qui nous occupe, j'indiquerai quelques voies propres à être suivies aux cycles 2 et 3 de l'école élémentaire, au collège et au lycée, laissant à chacun le soin de concevoir son travail autour de ces suggestions, voire de les détourner au profit d'autres niveaux ou d'autres objectifs.

À titre de compléments, le lecteur pourra consulter un article et sa bibliographie, à paraître dans les Actes des Journées de Rouen sur "*Les instruments scientifiques dans le patrimoine*" (Rouen, avril 2001).

*
*   *

I) De quelques instruments et de leur principe.

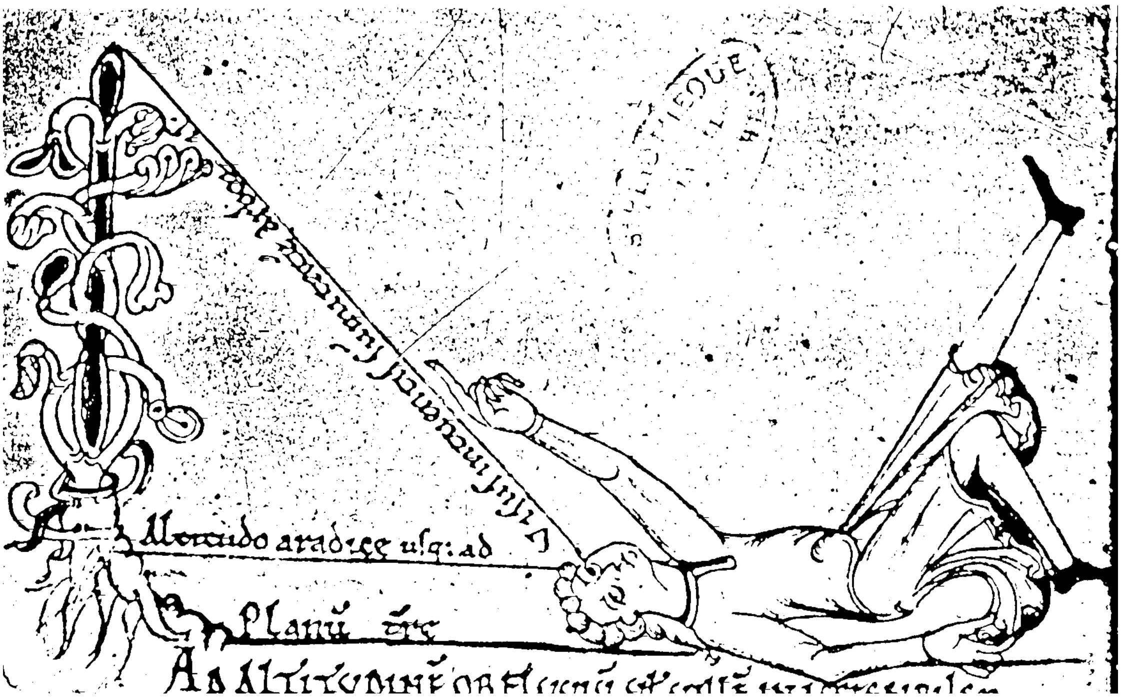
I-A) Le tapis de sol.

Ce n'est pas une invention ancienne ! En fait l'instrument, ici, est l'œil humain et ses propriétés supposées au Moyen-Âge, dans les traités d'optique (des *Perspectivæ*, dans lesquelles on traite plutôt d'optique physiologique) ou de géométrie pratique. Il faut ajouter à cela le sens de l'horizontalité et de la verticalité, à la fois atavique et acquis du fait de la pesanteur, de la perception visuelle et de l'ambulation. La méthode que l'on va décrire ne requiert donc que le corps humain, le tapis de sol n'étant là que pour éviter d'éventuels chocs culturels avec des parents soucieux d'hygiène et de bienséance.

Ce procédé est décrit dans le *Manuscrit du Mont Saint-Michel*, que l'on peut voir à la Bibliothèque d'Avranches (Ms. 235) et dont la partie de géométrie pratique a été traduite par Jacqueline Leparmentier et Michel Levard (IREM de B.-N.) :

Pour trouver la hauteur dans un plan sans astrolabe.

Sans astrolabe, si tu veux connaître la hauteur de quelque chose dans un lieu plan et accessible, couche-toi sur le dos de sorte d'être étendu par terre, bien droit, de la tête aux pieds et que la chose dont tu cherches à connaître la hauteur soit placée du côté de la tête. En regardant vers l'arrière, avance et recule jusqu'à en apercevoir le sommet. La hauteur sera comme la distance comprise entre sa base et ta tête. Cela se comprendra mieux si on l 'expose au moyen d'une figure.



On aura compris que l'auteur suppose que l'œil O, lorsque la tête est maintenue dans le prolongement du corps, peut tourner dans sa cavité (vers le haut en position verticale, vers l'arrière dans la position décrite) et peut embrasser ainsi jusqu'à 45 degrés d'amplitude, du rayon visuel principal (supposé horizontal en position debout et vertical en position conchée) jusqu'en limite de vision sous la paupière.

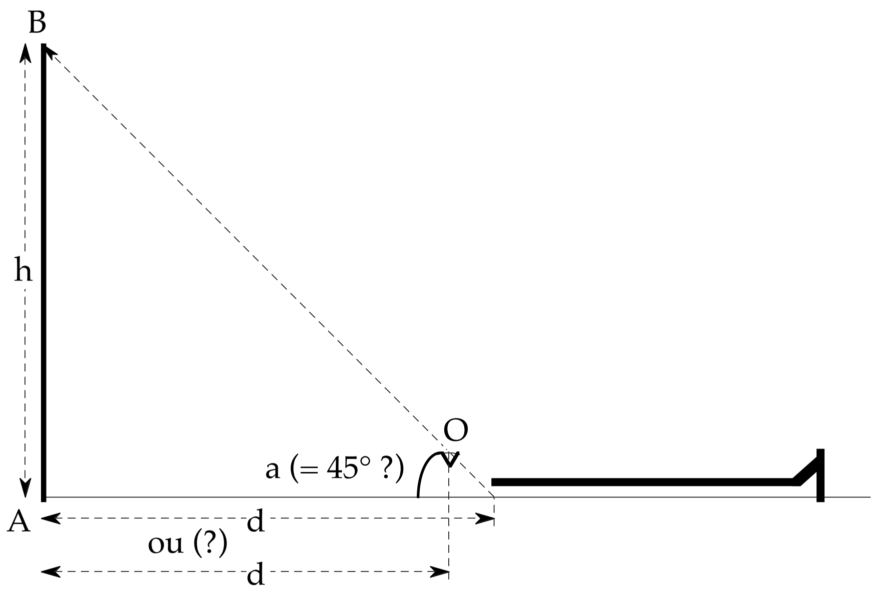


Fig. 1.

AB est la grandeur de longueur *h* cherchée. Le texte induit donc la formule :

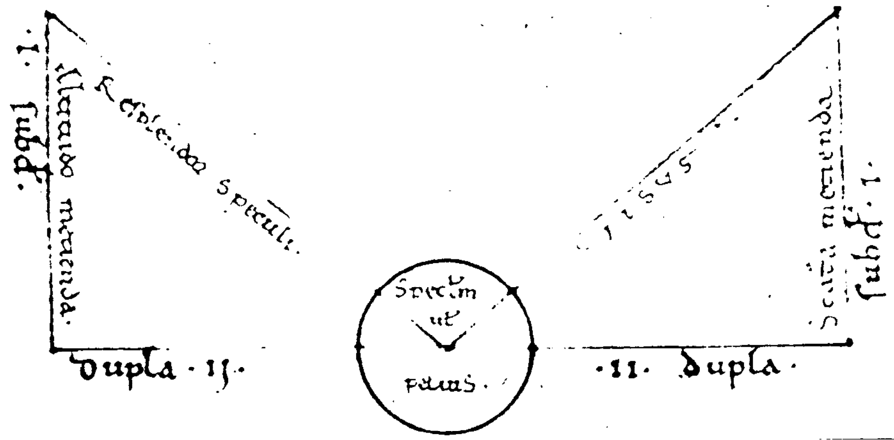
$$h = d.$$

* * * * *

I-B) La coquille Saint-Jacques pleine d'eau.

Le même manuscrit donne une description de son utilisation, nous livrant du même coup son principe :

> *Pour déterminer la mesure d'une hauteur avec un miroir ou avec de l'eau.*
>
> *Plaçons un point sur un miroir ou au centre d'une coupe pleine d'eau. Un géomètre posera de niveau dans un champ plat l'une des surfaces réfléchissantes et la déplacera avec soin jusqu'à apercevoir à l'emplacement du point le sommet de la hauteur dont la mesure est recherchée. À la vue du sommet, on mesurera avec soin l'intervalle compris entre les pieds du mesureur et le point sur le miroir ou le centre du récipient d'eau puis on la comparera non moins précautionneusement à la taille de l'homme. Cet intervalle sera à la taille de l'homme comme la longueur qui s'étend du point vers la base de la hauteur sera à la mesure de la hauteur.*



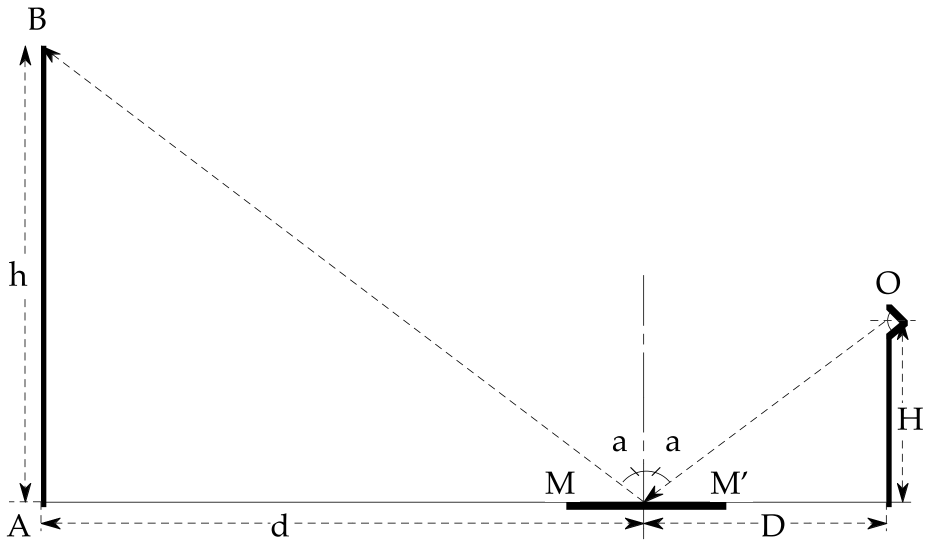


Fig. 2.

Au plan d'eau sur lequel flotterait un brin d'herbe si possible immobile, nous substituerons un miroir MM′ (Fig. 2) marqué d'une ligne médiane. Encore faudra-t-il réfléchir à la pertinence de ce choix et l'expérience confrontée aux résultats d'une mesure "directe" (avec des instruments de mesure plus précis, ce qui reste à définir) permettra aux uns (le prof.) ou aux autres (les élèves) de se convaincre qu'il faut y adjoindre un niveau à bulle et qu'une seule direction pour coincer la bulle ne suffit pas, à moins qu'elle ne soit dans le plan de mesure. Il en existe de multidirectionnels, dont la bulle doit être centrée à l'intérieur de la calotte circulaire d'un dôme et non d'une section de tore.

Quant au principe, il relève de la similitude de deux triangles grâce à l'égalité des angles d'incidence et de réflexion en catoptrique. Le texte induit donc un calcul de quatrième proportionnelle :

$D : H :: d : h$ (écriture traditionnelle de la phrase "D est à H comme d est à h)
ce qui donne la formule : $h = (H \times d)/D$.

* * * * *

I-C) Le bâton de Gerbert.

Cet instrument porte le nom de Gerbert d'Aurillac (dit aussi d'Aquitaine ou de Reims, *ca*. 938 – 1003). Ce savant théologien naquit en Auvergne, devint moine clunisien, puis archevêque de Reims, où il avait enseigné la dialectique et la logique, et enfin pape de 999 à 1003, sous le nom de Sylvestre II. Initiateur d'un mouvement de renouveau scientifique, il est l'auteur d'un *Traité sur l'Astrolabe* et le concepteur d'un globe céleste reproduisant le mouvement des astres. Le principe du bâton est très simple (Fig. 3a) et il ne nécessite pas le calcul d'une quatrième proportionnelle que l'on trouve dans les méthodes plus générales faisant appel à des triangles quelconques, avec des instruments tels que les *Quarts de Cercle*, l'*Alidade à bras articulé* (associé à un *compas de proportion* quand on veut s'épargner les calculs, Fig. 3b), le *Quartier* de Davis, le *Triquetrum*, le *Grapgomètre* et le *Trigonomètre* de Danfrie (voir l'annexe).

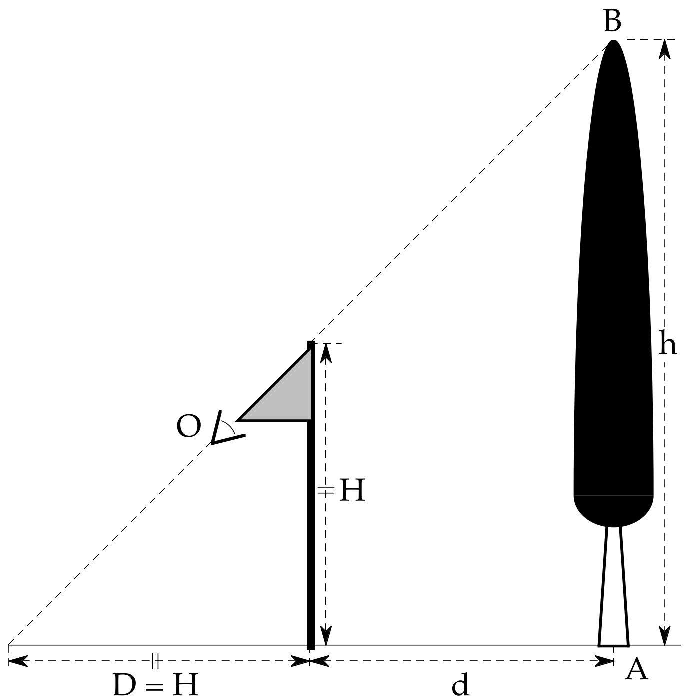


Fig. 3a

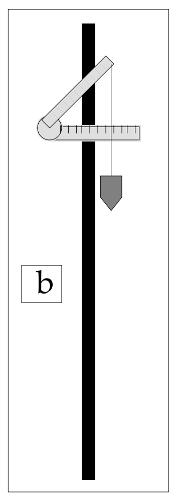


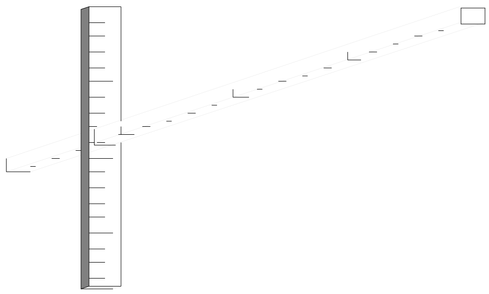
Fig. 3b

La figure 3a montre que, si c'est bien la similitude du triangle de côtés H et D, et du triangle de côtés h et $D + d$ qui permet de calculer h, une simple addition permet de conclure : $h = H + d$, puisque le triangle grisé est un triangle rectangle isocèle. On voit les limites de l'appareil : si la grandeur AB est très grande et si le triangle est fixe, il faut reculer l'engin "d'autant". J'ai transformé l'objet en rendant le triangle mobile ; avantage : le pied peut rester fixe et mesurer bon nombre de grandeurs inaccessibles autour de soi, dans certaines limites (que l'on peut rechercher avec des élèves) ; inconvénient : on ne peut plus mémoriser *H* une fois pour toutes et il est nécessaire de disposer d'une graduation sur le bâton. Enfin ce genre de dispositif(s) nécessite la planéité du lieu (ou pour le moins l'égalité de niveau des pieds du bâton et de l'objet mesuré) et la verticalité du bâton : prévoyez fil à plomb et niveau à bulle.

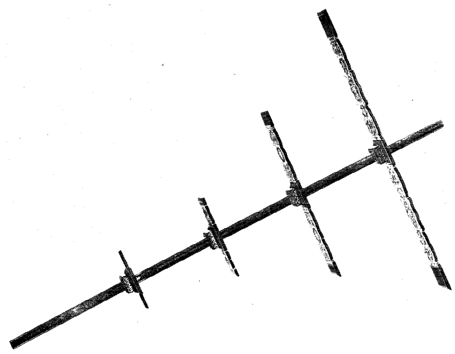
* * * * *

I-D) L'arbalestrille ou bâton de Jacob.

L'appareil tire son nom de sa forme :

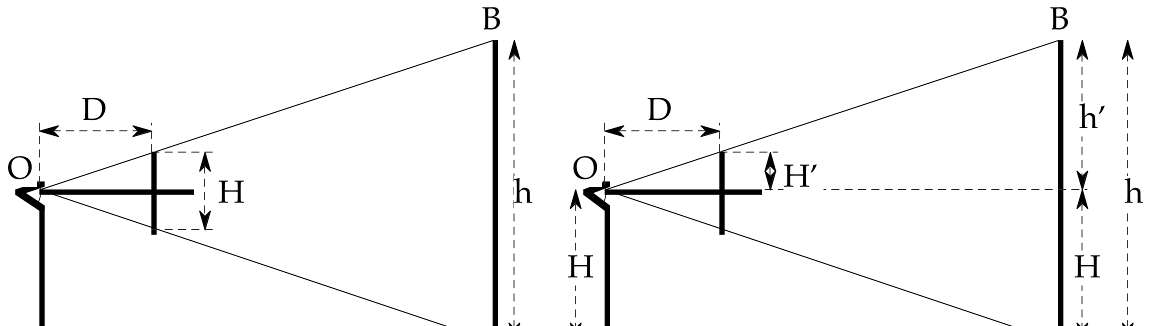


Le principe du *Bâton de Jacob*.



Une *arbalestrille* à visée multiple.

Le bâton sert d'alidade, c'est-à-dire de ligne de visée, et supporte une ou plusieurs règle(s) qui coulissent en leur milieu et en restant orthogonales à la ligne de visée. Lorsque les extrémités d'une règle coïncident avec celles de la grandeur à mesurer, on a une situation d'homothétie, à la condition que la régle soit parallèle à la grandeur linéaire visée. Cette condition étant trop restrictive (il faudrait, pour des grandeurs érigées verticalement, que le bâton soit horizontal, ce qui suppose que l'œil soit au même niveau que le milieu de la grandeur mesurée, ce qui n'en fait guère quelque chose d'inaccessible en hauteur !), on peut viser un point de la grandeur avec le bâton lui-même et son extrémité supérieure avec l'extrémité d'une règle ; on ajoute alors le résultat du calcul d'une quatrième proportionnelle obtenue dans une configuration de triangles rectangles homothétiques à la hauteur de l'œil par rapport au plan horizontal commun aux pieds de l'observateur et de la grandeur observée (Fig. 4, ci-dessous).



Dans le cas d'une visée centrale : h s'obtient par une règle de trois : $D : H :: d : h$ de nouveau, ce qui donne la formule : $h = (H \times d)/D$. Dans le cas d'une visée orthogonale, c'est h' que l'on obtient comme quatrième proportionnelle à partir des données D et H' relevées sur l'appareil ($D : H' :: d : h'$, d'où $h' = (H' \times d)/D$) et que l'on ajoute à la hauteur H de l'œil pour avoir h : $h = (H' \times d)/D + H$.

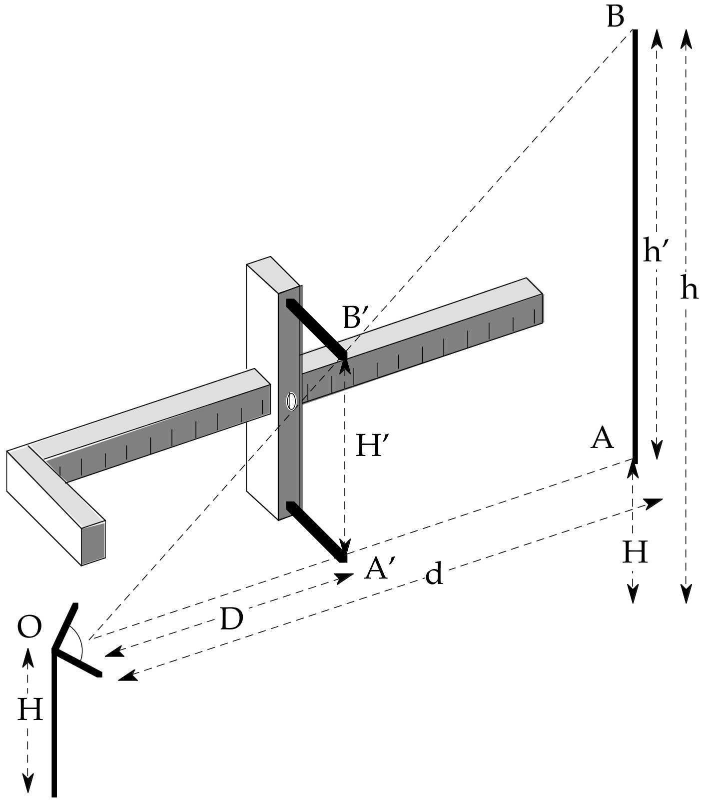


Fig. 5

On peut aussi concevoir un instrument de visée conduisant à la même configuration ; c'est ce que propose l'ouvrage *Pythagore & Thalès* (Fig. 5) et qu'a fait réaliser Alfred Rossi (pour le rallye de l'IREM de B.-N.). Les extrémités A' et B' des pointes fixées sur la barre transverse doivent être alignées avec celles, A et B, de l'objet à mesurer. Le bâton-support ne sert plus d'alidade à proprement parler, mais en donne la direction : il est équipé d'une barre d'appui à poser sur le front, de sorte que la ligne alidade fictive, qui joint l'œil à B', lui soit parallèle. Pour une grandeur verticale, il suffit alors que la ligne alidade soit horizontale et l'on retrouve le principe de l'arbalestrille, seconde manière : $h = (H' \times d)/D + H$. À noter que la graduation du bâton doit tenir compte de la position de l'œil relativement à la barre d'appui : il est légèrement en retrait et l'échelle servant à mesurer D ne commence pas à zéro ; on voit par là que cet instrument de mesure n'est pas universel et dépend de l'habileté et de la lucidité de son utilisateur.

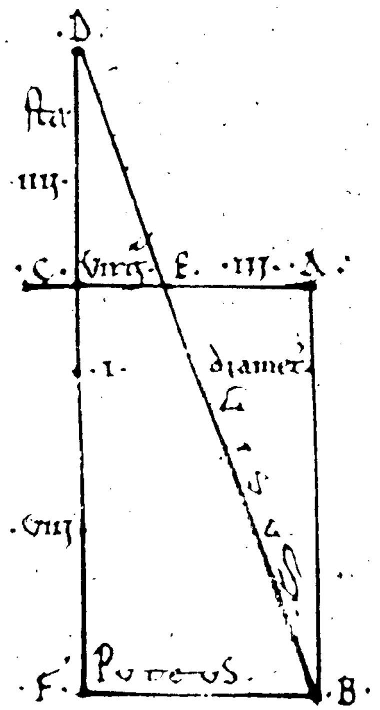
* * * * *

I-E) Un dernier cas : la mesure de profondeur (d'un puits, par exemple).

Voici ce qu'en dit le *Manuscrit du Mont Saint-Michel* (figure ci-dessus) :

De même pour mesurer un puits avec une perche.

Comme nous l'avons déjà dit pour le puits ci-dessus [l'auteur a proposé une autre méthode avec un *astrolabe* ou *mediclinium*], *que tout d'abord un géomètre relève avec soin jusqu'où le contour du puits semble circulaire. Que l'on cherche* *ensuite la valeur de son diamètre. Une fois le nombre trouvé, que le mesureur se place sur le haut du puits et qu'il pose sous ses pieds une canne ou une perche d'une longueur quelconque pour la déplacer d'avant en arrière jusqu'à apercevoir le sommet de la canne aligné avec le fond opposé du puits. Une fois l'alignement réalisé, que la partie de la canne qui s'étend au-dessus du puits soit repérée avec soin par une entaille auprès des pieds du mesureur. Avec non moins de soin, que l'on compare cette partie à la taille du mesureur. Le rapport établi entre cette partie du bâton et la taille du mesureur sera le même entre le diamètre et la taille du mesureur augmentée de la profondeur du puits. Par exemple : soit AB la profondeur d'un puits, AC son diamètre, CD la taille du mesureur, CE la perche comparée à la taille et utilisée pour la recherche de la profondeur, DF la partie opposée* [à AB]. *DF est donc quatre fois AC. Ôtons DC, il reste la profondeur CF du puits.*



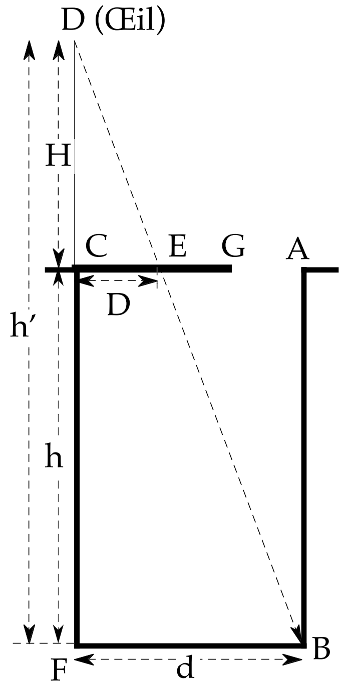
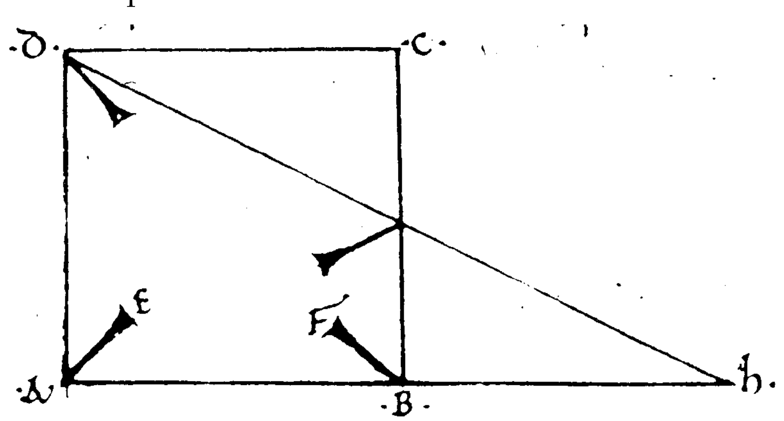


Fig. 6

Il est clair (Fig. 6) qu'après avoir relevé $D = \mathrm{CE}$ sur la canne CG, l'on a : $D : H :: d : h'$. Donc, connaissant H : $h = h' - H = (H \times d)/D - H$.

Le *Manuscrit* propose bien d'autres procédés, dont l'un fait usage d'une planchette ci-dessous reproduite :



Saurez-vous en deviner le principe ?

*
*   *

II) Quelques pistes d'utilisation.

Dans le cas I-A, on pourrait penser qu'il n'y a guère qu'à jeter le bébé avec l'eau du bain. À ceci près que ce peut être fort intéressant, avec des élèves, de "mesurer" le degré de fiabilité d'une méthode aussi empirique. On pense alors aux statistiques et aux probabilités, telles que certains géomètres en ont fait usage, en particulier pour améliorer l'exactitude de leurs mesures en matière d'arpentage et de topographie aux XVIIème siècle (mesure du méridien) ou du XIXème siècle (établissement des cartes d'état-major) : une mesure correcte, étant donné l'inexactitude relative des instruments (à quoi s'ajoutent les maladresses éventuelles des manipulateurs et les erreurs de report des données), sera une mesure moyenne d'un plus ou moins grand nombre de mesures, une fois écartés les résultats aberrants (ce qui suppose d'ailleurs un choix conventionnel, mais lui aussi raisonné, du seuil de tolérance à l'aberration). Bref, on peut multiplier les mesures pour chaque élève, qui aura sa mesure moyenne propre ; calculer la moyenne de classe des moyennes individuelles ; comparer avec la hauteur mesurée aux instruments (avec une tolérance, qui prendra aussi tout son sens : l'étroitesse d'une fourchette dépend des instruments utilisés) ; déterminer si la "loi" du manuscrit est "fiable" ; si les mesures moyennes individuelles sont réparties autour de la mesure "vraie", comment se répartissent les écarts ; s'il existe un élève-étalon dans la classe ; etc. On voit que le champ est vaste et qu'il est de nature à élaborer des moyens de critiquer un protocole et de mettre en regard résultats théoriques d'une loi, résultats d'une pratique empirique, et résultats d'une pratique réputée véridictionnelle (la mesure aux instruments).

On notera que le texte est peu explicite sur les distances à mesurer (l'œil n'est pas au niveau du sol, voir Fig. 1), et que la figure originale ne nous montre pas un triangle isocèle : est-ce pour tenir compte de la première remarque ou est-ce dû à l'imprécision du copiste et illustrateur ? Ce sont autant de détails qu'il sera intéressant de faire émerger lors d'un débat sur les raisons des écarts observés.

On pourra, ici comme par la suite, ajouter encore à la confusion des sentiments en faisant usage d'une corde à nœuds plutôt que d'un décamètre. Encore une fois : qu'est-ce que la précision ? qu'est-ce que la tolérance ? Bref, qu'est-ce qu'une mesure ? C'est affaire de décision si l'on ne veut pas s'en laisser imposer par la matière peu (ou trop ?) subtile. Ce peut être aussi affaire de moyenne, comme on vient de le voir : l'idée est applicable à des procédés moins empiriques, comme ceux qui suivent.

Pour I-B : est-il nécessaire de connaître deux ou trois choses d'optique ou de géométrie plane et dans l'espace ? Cela dépend de ce que l'on veut faire. Si l'on a du temps, on peut donner le matériel et laisser les élèves "patauger". Si le miroir n'est pas horizontal, si les pieds de l'observateur et de l'objet observé ne sont pas dans le même plan que celui du miroir, on obtient des résultats assez peu satisfaisants au regard d'une mesure directe ou d'une mesure connue de l'enseignant et célée par lui (il peut par exemple donner un ordre de grandeur des écarts enregistrés lors des propositions) ; les élèves vont avoir à rectifier choix et procédures physiques : faut-il avancer ou reculer ? il faut prendre garde à la fixité de la tête et de l'œil qui vise pendant qu'un autre mesure, utiliser le fil à plomb pour définir la projection orthogonale de l'œil, qui n'est pas nécessairement le bout des chaussures, mais une ligne fictive au sol qu'il faudra tracer pour mesurer la distance à la ligne médiane du miroir, etc. Si les élèves ne connaissent pas la loi fondamentale de la catoptrique, on peut travailler sur un tableau de données à partir de grandeurs diverses et connues, qui peut conduire au constat d'une proportionnalité, même si l'incertitude des mesures ne manifeste qu'une "quasi-proportionnalité". Le report dans un dessin plan de la situation spatiale peut enfin conduire à la fameuse loi d'égalité des angles. On notera en outre ici que la vérification de l'horizontalité du miroir peut amener à un constat intéressant : si un élève s'y essaye avec un niveau à bulle unidirectionnel, il trouvera de l'horizontalité dans une seule direction, preuve tangible s'il en est qu'il peut exister du parallélisme local entre deux plans non parallèles (il existe des droites horizontales dans un plan qui ne le serait pas). D'où l'idée du niveau circulaire à bulle.

Pour I-C/D/E, il va falloir encore du travail en équipe. Comme pour I-B, et peut-être moins encore pour I-C, il n'est pas nécessaire de "donner la formule" : une exploitation du matériel avec collecte de données dans un tableau à partir de plusieurs grandeurs accessibles et extrapolation à des grandeurs effectivement inaccessibles, peut conduire à la détermination de la formule, ici simplement affine. Après, un schéma peut conduire à des considérations géométriques, à moins que certains n'aient anticipé et n'aient tiré leurs résultats de ce genre de considérations sur une figure. L'exposé des stratégies permet alors de mettre en évidence les différents champs où se situe ce problème (numérique, fonctionnel, géométrique) : la moisson devrait être bénéfique pour l'apprentissage du regard oblique.

La figure 3b montre comment on peut complexifier le bâton de Gerbert pour l'étude des triangles ou la trigonométrie : la mobilité de l'alidade (éventuellement équipée de pinnules de visée) pallie la difficulté relevée sur le bâton, qui m'a conduit à rendre le triangle mobile. La similitude est alors le fond de l'affaire, qu'il s'agisse de la visée par alidade mobile ou de l'arbalestrille.

*

*   *

Bibliographie sélective

Sources

ALBERTI, Leon Battista. *Ludi matematici*. Trad. italienne des *Ludi rerum mathematicorum* (ca. 1450), par R. Rinaldi. Coll. *Quaderni della Fenice*. Milan, 1980. Trad. fr. : *Divertissements mathématiques*. Présentés et trad. par P. Souffrin. Coll. "*Sources du savoir*". Paris, Seuil, 2002.

BION, Nicolas. (père & fils). *Traité de la Construction et des principaux Usages des Instrumens de Mathématique.* 4ème éd. Paris, 1752.

GALILEI, Galileo. *Le Operazioni del Compasso geometrico et militare, di Galileo Galilei, Nobil Fiorentino, Lettor delle Matematiche nello Studio di Padoua. Terza Edizione. In Padova, M. DC. IL. Per Paolo Frambotto. Con Licenzia de' Superiori.* Padoue, 1649.

MONTFERRIER, A.-S. (Alexandre-André-Victor SARRAZIN de). *Dictionnaire des Sciences Mathématiques pures et appliquées, par une Société d'Anciens Élèves de l'École Polytechnique, sous la direction de A.-S. Montferrier*. Trois volumes (AB-EX, FA-ZO, Supplément & Planches), avec de nombreuses pages manuscrites de compléments. Le tome troisième est un *Supplément contenant plusieurs Articles sur la Géodésie, la Trigonométrie et l'Astronomie, par M. le colonel Puissant*. Paris, 1er janvier 1835, 19 mars 1836 & 1840.

OZANAM, Jacques. *Usage du Compas de Proportion, et de l'Instrument universel. Pour résoudre promptement & très-exactement les Problêmes de la Géometrie-pratique, tant sur le papier que sur le terrein, sans aucun calcul. Avec un Traité de la Division des Champs.* Nouv. Éd. Paris, 1748.

—. *Récréations Mathématiques et Physiques, Qui contiennent Plusieurs problêmes d'arithmétique, de géométrie, de musique, d'optique, de gnomonique, de cosmographie, de méchanique, de pyrotechnie, & de physique. Avec un traité des horloges élémentaires. Par feu M. Ozanam, de l'Académie Royale des Sciences, & Professeur en Mathématique.* Nouvelle edition, revue, corigée & augmentée (en quatre tomes). Tome IV : titre distinct (*Recreations Mathematiques et Physiques, ou l'on traite des Phosphores naturels & artificiels, & des lampes perpétuelles. Dissertation physique & chymique. Avec l'explication des tours de gibeciere, de gobelets, & autres récréatifs & divertissans*). Chez Charles-Antoine Jombert, rue Dauphine, à l'Image Notre-Dame. Paris, 1750-1750-1768-1725.

SAVERIEN. *Dictionnaire universel de Mathematique et de Physique, où l'on traite de l'origine, du progrès de ces deux Sciences & des Arts aui en dépendent, & des diverses révolutions qui leur sont arrivées jusqu'à notre tems ; avec l'exposition de leurs Principes, & l'analyse des sentimens des plus célèbres Auteurs sur chaque matiere.* 2 vol. (A-G, H-Z). Paris, 1753.

SONNET, H. *Dictionnaire des Mathématiques appliquées comprenant les principales Applications des Mathématiques : A l'Architecture, à l'Arithmétique commerciale, à l'Arpentage, à l'Artillerie, aux Assurances, à la Balistique, à la Banque, à la Charpente, aux Chemins de fer, à la Cinématique, à la Construction navale, à la Cosmographie, à la Coupe des pierres, au Dessin linéaire, aux Établissements de prévoyance, à la Fortification, à la Géodésie, à la Géographie, à la Géométrie descriptive, à l'Horlogerie, à l'Hydraulique, à l'Hydrostatique, aux Machines, à la Mécanique générale, à la Mécanique des gaz, à la Navigation, aux Ombres, à la Perspective; à la Population, aux Probabilités, aux Questions de Bourse, à la Topographie, aux Travaux publics, aux Voies de communication, etc., etc., et l'Explication d'un grand nombre de Termes techniques usités dans les Applications. Ouvrage contenant 1900 Figures intercalées dans le Texte.* 4ème édition. Paris, Librairie Hachette et Cie, 79, Boulevard Saint-Germain, 1884.

Essais

BEAUNE, Jean-Claude (dir.) & *alii*. *La Mesure. Instruments et Philosophies*. Actes du Colloque du C. A. F. S. (Centre d'Analyse des Formes et Systèmes), Université Lyon-III, 28/29-10-1993. Coll. "*Milieux*". Seyssel (01420), Champ Vallon, 1994.

BECHMANN, R [1991]. *Villard de Honnecourt. La pensée technique au XIIIe siècle et sa communication*. Préface de Jacques Le Goff. Paris, Picard, 1991.

CHEVALLIER, R. *Sciences et Techniques à Rome*. Coll. "*Que sais-je ?*" n°2763. Paris, P. U. F.

COLLECTIF. *Sciences et techniques aux XVIIème et XVIIIème siècles*. Coll. "*Diathèque*". Paris, CNDP. 12 diapositives et livret.

DAUMAS, M. (dir.) [1962-68]. *Histoire générale des Techniques*, Paris, P. U. F., 1962-1968.

— [1953]. *Les Instruments scientifiques aux XVIIe et XVIIIe Siècles*. Paris, P. U. F., 1953.

D'HOLLANDER, Raymond. *L'astrolabe. Les astrolabes du Musée Paul Dupuy*. Toulouse, Musée Paul Dupuy, Paris, Association Française de Topographie, 1993.

GILLE, Bertrans. (dir.) [1978]. *Histoire des techniques.* Collectif, dir. B. Gilles. Coll. "*La Pléiade*". Paris, Éd. Gallimard, 1978.

— [1964]. *Les ingénieurs de la Renaissance*. Paris, Hermann, 1964.

— [1978]. *Les ingénieurs de la Renaissance*. Coll. "*Points-Science*" n° S 15. Paris, Seuil, 1978.

— [1980]. *Les mécaniciens grecs. La naissance de la technologie*. Coll. "*Sc. ouv.*". Paris, Seuil, 1980.

GOFFI, J.-Y. *La Philosophie de la Technique*. Coll. "*Que sais-je ?*" n°2405. Paris, P. U. F.

JACOMY, B. *Une histoire des techniques*. Coll. "*Points-Science*" n° S 67. Paris, Éd. du Seuil, 1990.

KLEMM, F. *Histoire des Techniques*. Trad. de l'allemand par A. M. v. d. Lahr-Degout. Coll. "*Bibliothèque scientifique*". Paris, Payot, 1966.

LE GOFF, Jean-Pierre [1990b]. "Aux confins de la Science et de la Technique : les instruments scientifiques au XVIIème siècle", in *Scholies, Actes du Séminaire d'Histoire des Sciences du Lycée Malherbe de Caen* n° 10, février 1990. Caen, SIHS, 1990. Nos 10-11-12 : Caen, SIHS, 1991.

— [1997]. "Du nombre dans l'art de la guerre", *in* : LE GOFF, Jean-Pierre (Éd.). *La Mémoire des nombres*, actes du Xème Colloque inter-IREM d'Épistémologie et d'Histoire des Mathématiques (Cherbourg, 17-28 mai 1994). Caen, IREM de B.-N., 1997.

— [2000a]. Rééd. in : BARBIN, Évelyne & LE GOFF, Jean-Pierre (Éd.). *Si le nombre m'était conté...* Paris, Ellipses, 2000.

— [2003]. "Petite histoire des instruments des sciences mathématiques articulée autour du XVIIème siècle", *in* : *Les instruments scientifiques dans le patrimoine*, Actes du Colloque de Rouen (6-8/04/01). Rouen, IREM de R., 2003.

MICHEL, Henri. *Les Instruments des Sciences dans l'art et l'histoire*. Préface de Maurice Rheims. Rhode-Saint-Genèse (Belgique), Albert de Visscher, 1980.

ROSMORDUC, Jean (dir.). *Histoire des sciences et des techniques*. Coll. "*Documents, Actes et Rapports pour l'Éducation*". Rennes, CRDP de Bretagne, 1997.

—. *Chronologie des sciences et des techniques*. Coll. "*Documents, Actes et Rapports pour l'Éducation*". Rennes, CRDP de Bretagne, 1997.

RUSSO, François. *Histoire des Sciences et des Techniques. Bibliographie*. Coll. "*Actualités scientifiques et industrielles*", n° 1204. Paris, Gauthier-Villars, 1954.

—. *Introduction à l'Histoire des Techniques*. Coll. "*Bibliothèque Scientifique Albert Blanchard*". Paris, Blanchard, 1986.

VÉRIN, H. *La gloire des ingénieurs. L'intelligence technique du XVIe au XVIIIe siècle*. Coll. "*L'évolution de l'Humanité*". Paris, Albin Michel, 1993.

Articles ou Ouvrages comportant des propositions pédagogiques

CERQUETTI-ABERKANE, Françoise. "Utilisation de l'histoire des mathématiques pour modifier les représentations mentales au sujet des mathématiques chez les maîtres du primaire", *in* : *Actes de la 46ème Commission Internationale pour l'Étude et l'Amélioration de l'Enseignement des Mathématiques*. Toulouse, juillet 1994.

CERQUETTI-ABERKANE, Françoise. "Une expérience d'utilisation de l'histoire des mathématiques dans une classe de CM2 (3e primaire)", *in* : *Actes de la 47ème Commission Internationale pour l'Étude et l'Amélioration de l'Enseignement des Mathématiques*. Berlin, juillet 1995.

CERQUETTI-ABERKANE, Françoise, RODRIGUEZ, Annie & JOHAN, Patrice. *Les maths ont une histoire. Activités pour le cycle 3.* Coll. "Pratique. Pédagogie à l'École". Paris, Hachette-Éducation, 1997.

CERQUETTI-ABERKANE, Françoise & RODRIGUEZ, Annie. "Utilisation de l'histoire des mathématiques dans la formation des maÎtres", *in* : LE GOFF, J.-P. (coord.). *La mémoire des nombres*. Actes du colloque inter-IREM de Cherbourg (1994). Caen, IREM de B.-N., 1997.

CERQUETTI-ABERKANE, Françoise. "Utilisation de l'histoire des mathématiques et des sciences dans l'enseignement primaire et en formation des maîtres", *in* : *Actes de la 50ème Commission Internationale pour l'Étude et l'Amélioration de l'Enseignement des Mathématiques*. Neuchâtel, juillet 1998.

CERQUETTI-ABERKANE, Françoise. "Introduction à une démarche scientifique en primaire à partir du problème de Galilée", *in* : *Repères-IREM* n° 35, avril 1999.

CERQUETTI-ABERKANE, Françoise & RODRIGUEZ, Annie. *Faire des Mathématiques avec des images et des manuscrits historiques, du cours moyen au collège*. Coll. "*IUFM-Premier Degré*" & "*CNDP-Réseau*". Créteil, CRDP de l'Académie de Créteil, 2002.

JOHAN, Patrice. "Opérons en toises, pieds, pouces. Donner du sens aux techniques d'opérations et de conversion en exploitant les unités de mesure de l'Ancien Régime", *in* : *Repères-IREM* n° 18, janv. 1995.

JOHAN, Patrice. "Géométrie des arpenteurs de l'Antiquité avec des enfants de 8 à 13 ans", *in* : *Historia e Educaçao matematica*, Actes du Congrès *History and Pedagogy of Mathematics*, Université de Braga, 1996.

*
* *
*