



printemps des sciences

Avec le soutien de la Ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique

Terre à terres

10 - 16 mars 2008

Atelier de Physique pour les jeunes :  
Mesurer la Ville - Mesurer la Lune

Gustavo Lucena Gómez      glucenag@ulb.ac.be

Martin Casier      marcasie@ulb.ac.be

du lundi 10 au vendredi 14 mars 2008

- Rapport pédagogique -





*« L'idéal est pour nous ce qu'est une étoile pour le marin.  
Il ne peut être atteint mais il demeure un guide. »*

Albert Schweitzer

## Introduction

Dans le cadre du Printemps des Sciences 2008 organisé par l'ULB, Infor-science, en coopération avec l'expérimentarium, a organisé plusieurs ateliers de Physique destinés à différents niveaux de l'enseignement primaire et secondaire.

Nous avons accueilli, du lundi 10 au vendredi 14 mars, neuf classes d'écoles différentes et de niveaux allant de la cinquième primaire à la première secondaire dans le cadre de l'atelier *Mesurer la Ville - Mesurer la Lune*.

Le présent document a pour but de fournir aux enseignants accompagnant les élèves lors de l'atelier une base d'informations sur les sujets abordés lors de l'activité ou relatifs à celle-ci ainsi qu'un résumé du travail accompli avec et par les élèves. Nous nous sommes efforcés de rédiger un document clair, explicatif mais également concis. Ce rapport ne se veut donc évidemment pas exhaustif mais se veut plutôt être un reflet écrit de l'activité.

Si un enseignant, lisant ce texte (ou ayant été présent lors de l'activité) se sent l'envie de nous faire partager une critique, suggestion, remarque ou autres, nous serions tous deux ravis d'en tenir compte pour une éventuelle prochaine fois et d'en prendre bonne note. Si quelqu'un, lisant ce texte, désire l'obtenir en format PDF il suffit de nous contacter et nous le lui enverrons avec plaisir.

Ce rapport a été écrit en L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X. Pour plus d'informations vous pouvez consulter le site introductif : <http://www.latex-project.org/>.

## 1 Buts de l'atelier

L'atelier s'organise autour d'un thème principal : la construction (par groupes de deux) et l'utilisation par l'élève d'une arbalète (ou bâton de Jacob), un instrument simple de mesure d'angles et de distances.

Les buts de l'activité sont multiples :

- Montrer aux élèves qu'il est possible d'obtenir des résultats physiques intéressants et utiles à partir d'instruments très simples à utiliser et à fabriquer.
- Faire ressentir à l'élève que l'on peut en apprendre beaucoup sur des objets inaccessibles à partir de peu de choses.
- Eveiller chez l'élève un intérêt pour la physique en général et plus particulièrement une curiosité du monde qui l'entoure, qui est le point de départ de la Physique, sinon de la Science.
- Proposer une activité instructive et amusante qui combine compréhension de concepts théoriques, travail manuel et prises de mesures, qui sont finalement les trois idées clés qui guident toute démarche scientifique quelle qu'elle soit.

L'élève sera donc avant tout appelé à participer.

## 2 Présentation succincte de l'instrument

Avant de passer aux sections suivantes, où nous détaillerons les diverses utilisations du bâton de Jacob ainsi que son voyage historique fabuleux, présentons brièvement ce qu'est une arbalète et à quoi elle sert.

L'instrument que vous pouvez observer sur l'image ci-dessous s'est vu attribuer plusieurs noms tout au long de l'histoire (*cf.* section (3)) : bâton de Jacob, verge d'or, tayan astronomique, bâton astronomique, arbalète ou encore arbalestrille désignent le même objet.



FIG. 1 – Bâton de Jacob simple en bois

Ceci une version « basique » de l'arbalète.  
Il se compose de 2 parties principales :

- Un long morceau de bois central appelé verge ou flèche.
- Un morceau de bois perpendiculaire à la flèche, glissant sur celle-ci et généralement plus court ; le marteau, ou traversin.

Son principe d'utilisation est simple : on aligne d'abord la flèche de manière à pointer l'horizon avec celle-ci. Ensuite on fait glisser le marteau de manière à pointer un objet avec le bout du marteau. On peut aussi pointer l'horizon non pas avec la flèche mais avec l'autre bout du marteau, comme le montre l'image ci-dessous.

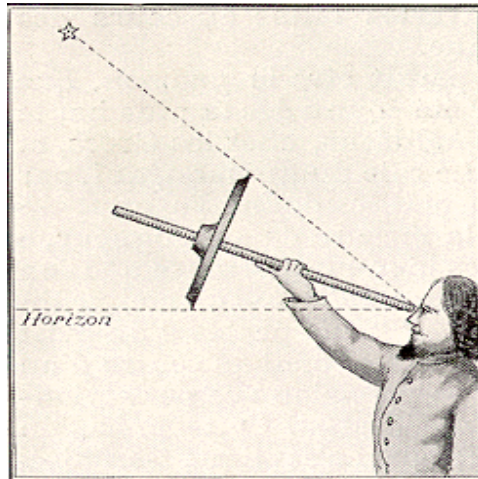


FIG. 2 – Utilisation du bâton de Jacob. Ici on pointe l'horizon avec le bord inférieur du marteau et non pas avec la flèche.

Notons d'emblée que l'arbalète construite pendant l'activité est fixe, c'est à dire que le marteau est fixé à la flèche. On pointe alors l'objet non pas avec le bord du marteau mais on s'arrange simplement pour « lire » sur ce dernier à quelle hauteur se trouve l'objet. La prise de mesure est donc sensiblement différente de celle de nos ancêtres mais le principe reste le même.

On a alors accès à l'angle séparant l'horizon et l'objet. D'autres utilisations de l'instrument permettent aussi de mesurer directement des distances et des longueurs (*cf.* section (4)).

Cet instrument peut paraître rudimentaire mais permet (et surtout a permis) néanmoins une précision tout à fait raisonnable (*cf.* section (3)). L'instrument s'est bien sûr complexifié avec le temps et en voici une version moins basique :

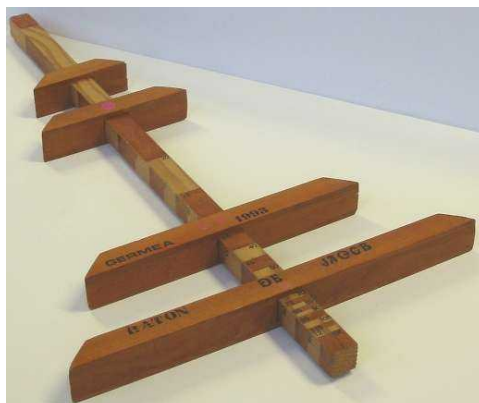


FIG. 3 – Un bâton de Jacob un peu plus complexe, avec notamment plusieurs marteaux.

### 3 Histoire du bâton de Jacob

Le bâton de Jacob, dont nous allons retracer ici le parcours historique, possède un grand nombre de noms différents : bâton de Jacob, verge d'or, tayon astronomique, bâton astronomique, arbalète, arbalestrille, . . . désignent tous le même instrument. Celui-ci a été utilisé à de nombreuses fins et dans différents domaines. Chacun des domaines y apporta des spécificités propres au travail qu'on voulait effectuer, et c'est ainsi qu'une multitude de noms désignent le même objet, pionnier dans son domaine : le bâton de Jacob.

La date de « naissance » du tayon astronomique est plutôt nébuleuse et incertaine. D'aucuns affirment que les Babyloniens le possédaient déjà en 500 avant notre ère (sous une forme plus archaïque, certes, mais les principaux éléments du bâton moderne s'y retrouveraient déjà) et qu'eux-mêmes s'étaient inspirés d'un instrument chaldéen encore plus ancien.

D'autres font remonter l'arbalestrille à des temps moins éloignés, plus exactement à 1342 après J.C. A cette époque il aurait été, sinon pas inventé, du moins construit sous sa forme actuelle par l'astronome catalan Levy Ben Gerson. Connaissant l'identité de l'inventeur, on peut se demander pourquoi l'un des noms les plus répandus de l'instrument est bâton de Jacob. Pour notre part, même après des recherches approfondies nous n'arrivons à aucune certitude.

Cet instrument a été d'une grande utilité en astronomie, car il permettait de mesurer la hauteur angulaire d'une étoile par rapport à l'horizon et donc de se repérer dans le ciel. Ces mesures permirent de grandes avancées dans la cartographie du ciel et de manière générale en astronomie, et qui dit repère céleste dit évidemment repère terrestre.

Le XIV<sup>ème</sup> siècle est le tout début des grandes découvertes maritimes<sup>1</sup> qui firent connaître au continent européen d'alors une prospérité incroyable.

Or pour pouvoir voyager en mer, loin de tout repère connu, il faut pouvoir se situer sur le globe terrestre. Certes, on savait déjà que la terre était ronde, et ce depuis les grecs (même si l'Europe chrétienne l'avait un peu oublié), mais on ne possédait pas encore réellement de cartes. Il s'avérait donc primordial et indispensable d'inventer des instruments de mesure permettant de savoir où l'on est, et ce à tout moment (*cf.* section (4.1)).

Le bâton de Jacob est justement l'un de ceux-là et même un des pionniers en la matière. Son inventeur l'avait imaginé pour l'astronomie mais l'avait également conçu simple et robuste. Et c'est cette simplicité et cette robustesse qui en firent le premier instrument de mesure embarqué sur les navires des grandes découvertes. Vasco de Gama n'aurait probablement jamais atteint l'Inde sans lui et qui sait, Christophe Colomb n'aurait peut-être jamais découvert le « Nouveau Continent ». Cet instrument fut en fait l'un des tous premiers à permettre de définir à quelle latitude l'observateur se tenait. On comprend donc toute l'utilité qu'il a pu avoir pour le voyage maritime, pendant lequel on se retrouve pendant de longs jours, voire mois, loin de toutes côtes salvatrices.

L'arbelète a aussi été utilisée afin de mesurer la hauteur et la distance d'objets en tout genre et en tout lieu (*cf.* section (4.2) et (4.3)). Un objet *a priori* inaccessible à toute mesure, devenait donc d'un seul coup mesurable à l'aide de l'instrument. Là aussi, le bâton de Jacob fut un pionnier, même si son utilisation dans ce domaine fut moins intense. C'est d'ailleurs principalement cette utilisation que nous mettrons en avant durant notre atelier.

Cependant, comme pour bien des choses, les années passant, notre verge d'or s'est petit à petit perdue dans les trames de l'histoire. L'homme, toujours à la recherche de nouveaux rivages de plus en plus lointains avait besoin de précision grandissante dans ses mesures et s'est donc attelé à la mise en place de nouveaux instruments plus performants. Ne pouvant arrêter le progrès, le bâton de Jacob, se fit donc malheureusement bientôt dépasser par d'autres instruments, tel le quartier de Davis, qui à son tour se fit dépasser par le quadrant, puis par le sextant, l'octant, *etc.*

Malgré son aspect un peu rudimentaire, l'arbalète permit tout de même des mesures de latitude à une trentaine de kilomètres près, ce qui à l'époque constituait une précision remarquable.

---

<sup>1</sup>Exploration des côtes africaines en 1450, route des Indes en 1498, découverte des Amériques en 1492, *etc.*

Elle reste un objet avec un rapport simplicité/précision très bon.

## 4 Fonctionnement de l'instrument de mesure

Le fonctionnement de l'arbalète est simple, même si son utilisation, elle, est parfois un peu plus délicate. Comme nous l'avons souligné plus haut (*cf.* section (3)), l'instrument a changé à travers les temps, s'adaptant à l'utilisation qu'on voulait en faire. Nous décrivons dans cette section le fonctionnement de l'arbalète à un seul marteau.

Premièrement, comme il a été dit plus haut, l'arbalète peut servir à déterminer des distances et/ou des angles. On peut d'ailleurs directement inscrire sur le bâton principal soit les angles soit les distances. Nous décrivons dans cette section les deux. Les élèves, eux, n'auront que les distances inscrites sur leur arbalète (la partie angulaire faisant appelle à la notion de tangente), mais l'arbalète ayant été originellement créée pour la mesure d'angles nous décrivons ici aussi cette version-là.

### 4.1 Mesurer des angles

L'angle séparant deux points, en particulier l'horizon et une étoile (voire l'horizon et le soleil) a toujours été une mesure fort courue parce que très utile (*cf.* section (3)).

Le principe est le suivant : si l'on pointe deux objets, l'un avec la flèche et l'autre avec le bord du marteau (de longueur  $2a$  connue), la détermination de l'angle solide  $\alpha$  séparant les deux directions revient à inverser la fonction tangeante.

Il est clair que :

$$\alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{a}{d}\right)$$

Si  $a$  est fixe, ce qui est le cas puisqu'on considère ici qu'on ne possède qu'un seul marteau, on peut graduer la flèche selon l'angle  $\alpha$  plutôt que selon la distance  $d$ . Cela permet de lire directement sur la flèche, à l'endroit où l'on a placé le marteau, l'angle entre les deux objets pointés.

S'il nous est possible d'apercevoir *polaris* (l'étoile polaire) la nuit on peut alors accéder à la latitude du lieu d'observation.

Il est également possible de trouver la latitude en utilisant le soleil, qui a l'avantage d'être facile à pointer, mais il faut alors avoir connaissance des éphémérides de déclinaison du soleil<sup>2</sup>. Moyenant cette donnée supplémentaire on peut de nouveau retrouver le graal des marins de l'époque : la latitude.

L'inconvénient de l'arbalète graduée selon les angles est que la mesure d'une distance quelconque, comme la hauteur d'un objet dont on connaît

---

<sup>2</sup>Il est à noter que des recueils de prédictions diverses liées au calendrier, appelés almanachs ou éphémérides existaient dès le XIVème siècle.



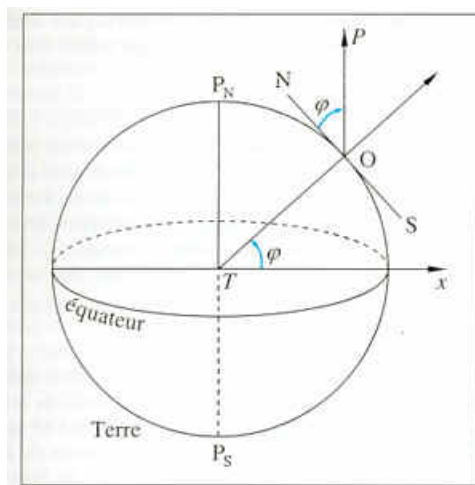


FIG. 4 – Latitude du lieu en utilisant l'étoile polaire. Ce schéma montre qu'en mesurant  $\varphi$  comme expliqué plus haut on mesure en fait la latitude.

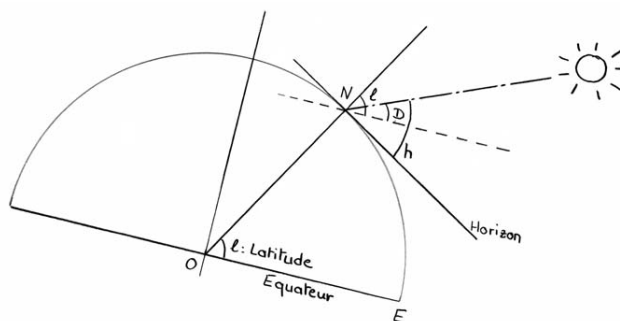


FIG. 5 – Latitude du lieu en utilisant le soleil. En connaissant  $D$ , on arrive facilement à calculer la latitude.

la distance au lieu d'observation ou la distance d'un objet par la méthode de parallaxe, passe par une mesure d'angle, il faut donc obligatoirement calculer une autre fonction trigonométrique (un sinus ou un cosinus). C'est d'ailleurs pour cela que nous ne graduons pas l'arbalète selon les angles lors de l'activité, de manière à ne pas compliquer les choses et à calculer des distances facilement...

## 4.2 Mesurer des longueurs et des hauteurs

La détermination de longueurs associées à des objets inaccessibles n'a pas été un problème vraiment crucial du temps de l'arbalète, mais c'est une utilisation simple et dynamique.

Pour fixer les idées, supposons que l'on souhaite mesurer la hauteur  $h$

d'un bâtiment. Supposons connue la distance  $D$  entre nous et le bas du bâtiment. On pointe d'une part la base du bâtiment à l'aide du bâton principal et d'autre part le sommet de l'édifice avec le marteau.

REMARQUE :

Si le bâtiment n'est pas fort éloigné, il faut s'efforcer de s'abaisser près du niveau du sol pour la mesure, à fin que la droite  $D1$  soit la plus parallèle possible à la surface de la terre. Si l'on se trouve à hauteur du sommet du bâtiment, on peut alors pointer le haut avec la flèche et le bas avec le marteau, c'est d'ailleurs la méthode que nous adoptons pour l'activité.

Si la flèche est à présent graduée selon  $d$ , on peut lire cette donnée directement sur la flèche. De par les triangles semblables qui apparaissent alors, il est clair que l'on a la relation :

$$\frac{a}{d} = \frac{h}{D}$$

d'où l'on tire que :

$$h = \frac{aD}{d}$$

On obtient donc facilement la hauteur du bâtiment. Cette manière de faire (arbalète graduée en distance  $d$ ) a l'avantage qu'elle ne fait pas intervenir les angles dans les calculs. On obtient donc ainsi une mesure de hauteur, de largeur (ou autre) d'un objet éloigné, et ce par un calcul on ne peut plus simple ! Bien entendu, l'arbalète graduée comme ceci ne nous permet pas de mesurer des angles solides facilement, ce qui a été le problème crucial pendant tout un temps (*cf.* section (3)).

Un autre inconvénient est qu'il est nécessaire de connaître la distance  $D$ , ce qui n'est pas toujours possible. Mais...

### 4.3 Mesurer des distances

Comme nous l'avons vu plus haut, pour mesurer des longueurs inaccessibles (hauteurs, largeurs de bâtiments, etc.), il est nécessaire de connaître la distance qui nous sépare de l'objet en question. C'est d'ailleurs parfois un paramètre intéressant en soi.

Pour simplifier la chose, disons que nous souhaitons connaître la distance  $D$  entre nous et un objet relativement lointain. Supposons que l'on puisse trouver un objet encore bien plus lointain, idéalement à l'infini (mais encore visible !), de manière à ce que le premier objet (d'étude) présente un phénomène de parallaxe par rapport au deuxième objet (de référence). Cela veut dire que la référence est considérée fixe et l'objet intéressant « bouge » par

rapport à cette dernière lorsque l'observateur se déplace transversalement. L'observateur s'aligne alors une première fois avec les deux objets et se déplace ensuite, de manière à « déplacer » l'objet par rapport à l'objet de référence. Le même principe est appliqué en astronomie pour déterminer la distance d'une étoile proche, en utilisant comme objet de référence le fond d'étoiles lointaines, comme indiqué sur le schéma ci-dessous.

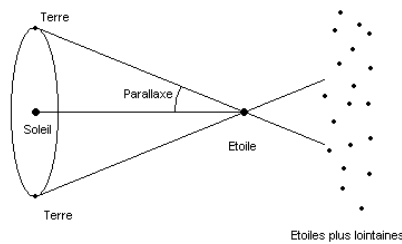


FIG. 6 – parallaxe d'une étoile

REMARQUE :

Cette utilisation de l'arbalète peut s'avérer plus délicate que la précédente, en ceci qu'elle requiert de trouver deux bons objets satisfaisant aux critères décrits plus haut, ce qui n'est pas toujours facile...

La flèche est toujours graduée selon  $d$  et le déplacement transversal de l'observateur est noté  $t$ . Des triangles semblables apparaissent à nouveau et l'on peut facilement arriver à la formule :

$$D = \frac{td}{a}$$

On obtient donc aisément la distance nous séparant du bâtiment. Cette méthode ne fait pas non plus intervenir d'angles, ce qui rend difficile leur mesure mais permet la compréhension du procédé par tous. La méthode permet aussi de mettre en évidence dans la vie de tous les jours la parallaxe, qui est l'un des nombreux phénomènes couramment rencontrés en physique.

L'inconvénient majeur est qu'il faut souvent effectuer un grand déplacement transversal pour obtenir une mesure correcte.

## 5 Organisation de l'atelier

L'atelier s'organise en plusieurs étapes :

- Présentations de l'atelier et prise de contact avec les élèves. Remise aux élèves d'une feuille de route pour la demi-journée.
- Introduction théorique et historique de l'arbalète et de son fonctionnement.
- Explication du bricolage à suivre, fabrication par les élèves de leur propre instrument de mesure.
- Sortie pour prise de mesures sur le terrain.
- Retour en classe pour analyse des données relevées.
- Discussion sur la précision, la veracité des différentes mesures, comparaisons.

L'activité dure 2h30 au total.

### 5.1 Présentation théorique

La présentation théorique dédiée aux élèves est une version simplifiée de la section précédente. Les notions abordées sont :

- les triangles
- les rapports
- les distances
- la précision d'une mesure
- l'incertitude d'une mesure
- les homothéties (éventuellement Thalès)
- les angles (éventuellement)

### 5.2 Fabrication de l'arbalète

Dans cette section nous expliquons brièvement comment les élèves sont amenés à construire leur propre arbalète. Nous précisons qu'il y a d'autres possibilités de construction de cet instrument mais que nous n'en parlerons pas ici. Si nous avons choisi cette construction c'est qu'après discussion avec Philippe Leonard, nous en sommes venus à la conclusion que c'est une méthode simple, rapide et qui donne de bons résultats sans être ennuyeuse. Elle possède également l'avantage d'être économe.

Nous présentons également certaines améliorations qui peuvent être apportées à notre version de l'arbalète, mais que nous n'avons pas appliqué pour des raisons diverses.

### **Matériel utilisé**

L'arbalète que nous fabriquons ici ne nécessite que peu de matériel :

- Carton standard
- Papier millimétré
- Colle Prit
- Cutter
- Latte graduée

### **Le bricolage**

Tout d'abord on découpe au cutter les deux morceaux de carton qui deviendront l'arbalète. Les dimensions sont données aux élèves avant et ils doivent donc d'abord dessiner à la latte le bout de carton qu'ils veulent découper.

Après, sur la partie amovible on dessine et on découpe ensuite la petite fente qui permettra d'y glisser le bâton principal. Il faut insister sur le fait que cette fente doit être sensiblement plus étroite que l'épaisseur du carton, pour que le tout puisse tenir sans colle. L'élève doit aussi tracer une ligne au crayon tout le long du bâton principal, au milieu de sa largeur, de manière à viser plus facilement. Après cela il faut encore coller le papier millimétré le long de la partie amovible, d'une part ou de l'autre de la fente. Ne reste que l'assemblage : on glisse le bâton principal perpendiculairement dans la partie amovible.

Il faut absolument insister sur le fait que le carton se plie relativement facilement et qu'il faut donc faire attention lors de son maniement. L'idée est donc d'inciter les élèves à traiter le matériel et l'instrument de mesure avec un certain soin, malgré sa réalisation un peu rudimentaire.

Pour résoudre le problème de la fragilité du carton (surtout problématique pour le bâton principal, généralement plus long), nous proposons de coller deux tiges en bois de section carée ( $3 \times 3$ mm suffit amplement) de part et d'autre du bâton principal. Cette modification apporte une robustesse non négligeable à l'instrument sans l'alourdir ni en compliquer la fabrication. En outre, c'est un ajout relativement économe mais qui permet de combiner deux matériaux de base dans la réalisation de l'arbalète, ce qui a aussi un

aspect didactique : utilisation de colles différentes pour le papier millimétré et pour le bois, utilisation d'un matériau dans un but précis : sa facilité de maniement et de découpage pour le carton, sa solidité pour le bois. Nous n'avons pas pu nous permettre cette petite variante lors des ateliers, le budget ayant été déterminé à l'avance, mais nous la conseillons vivement à celui qui veut se fabriquer une arbalète un peu plus solide en peu de temps.

### 5.3 Mesures

Les élèves sont amenés, après la fabrication, à utiliser leur arbalète pour mesurer des distances et des hauteurs (*cf.* section (4.3) et (4.2)). Pour plus d'informations sur les mesures effectuées on peut se référer à la feuille de route que nous remetons aux élèves en début d'activité et qui comporte, entre autres, les mesures à faire.

### 5.4 Précision

Si la précision du bâton de Jacob de certaines époques a été remarquable, l'arbalète fabriquée à l'atelier est bien sûr moins précise. Cette notion a été abordée au long de l'activité de manière uniquement qualitative (comparaison des mesures entre les élèves, comparaison avec la valeur réelle), le calcul d'erreur étant un peu compliqué. Nous n'aborderons pas ici la détermination de la précision de l'arbalète fabriquée, nous limitant simplement à dire que l'on peut faire mieux mais avec plus de temps et de matériel.

# Bibliographie

1. **Roger Duquette et Ernest P Lauzon**, *topométrie générale*, Presses Intl Polytechnique, 1996
2. <http://2007.artsetmetiers.net/pdf/CNAM-%20LATITUDE.pdf>
3. [http://www.forumdepartementaldessciences.fr/services/catalog/doc\\_en\\_pdf/a\\_la\\_decouverte.pdf](http://www.forumdepartementaldessciences.fr/services/catalog/doc_en_pdf/a_la_decouverte.pdf)
4. [http://www.math.unicaen.fr/irem/publi/echo/pp20\\_1.pdf](http://www.math.unicaen.fr/irem/publi/echo/pp20_1.pdf)