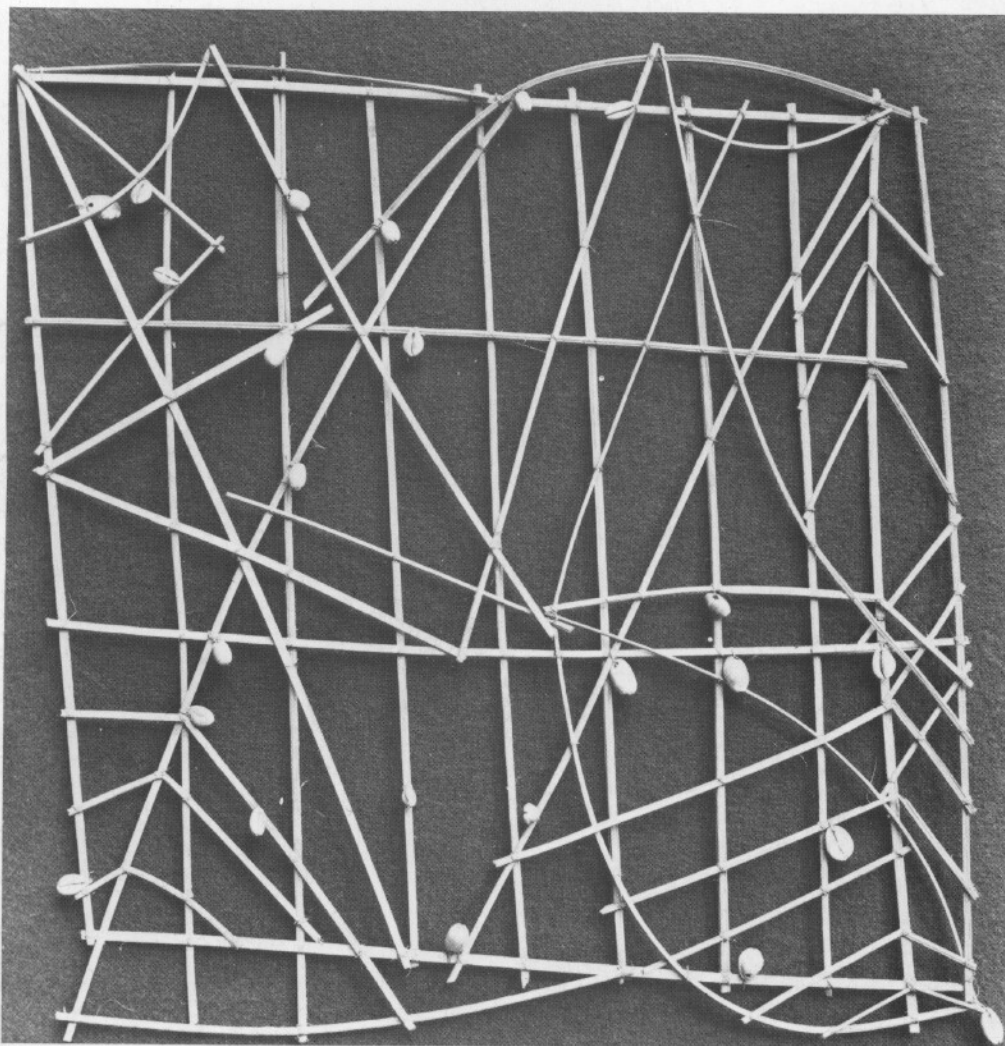


Cesare Baj

**PETIT COURS COMPLET
D'ORIENTATION TOPOGRAPHIE ET
NAVIGATION**
à l'usage des excursionnistes, des sportifs et des navigateurs

**INSTRUCTIONS POUR L'USAGE
DES INSTRUMENTS**



Cesare Baj

**PETIT COURS COMPLET
D'ORIENTATION TOPOGRAPHIE ET
NAVIGATION**
à l'usage des excursionnistes, des sportifs et des navigateurs

**INSTRUCTIONS POUR L'USAGE
DES INSTRUMENTS**

**Abréviation et symboles
employés dans le texte et sur les instruments**

| | | | |
|-----------|---------------------------------------|----------|-----------------------|
| A | azimut | NM | milles nautiques |
| °C | grades centigrades | Nm | nord magnétique |
| Cb ou Cc | prou du compas | Nv | nord vrai |
| Cm | proue magnétique | QDM | voyez p. 21 |
| Cv | proue vraie | QDR | voyez p. 21 |
| Cal/kg.mn | kilocalories au kilogramme par minute | QTE | voyez p. 21 |
| D | déclinaison magnétique | QUJ | voyez p. 21 |
| D/Do | voyez pag. 37 | Rb ou Rc | route du compas |
| E | est | Rm | route vraie |
| °F | grades Fahrenheit | Rilpo | relèvement polaire |
| g | grammes | Rlb | |
| h | hauteur | ou Rlc | relèvement compas |
| imp.gall. | galons impériaux | Rlm | relèvement magnétique |
| KTS | noeuds (milles nautiques par heure) | Rlv | relèvement vrai |
| l | litres / dérive | S | sud |
| lb | livres | statute | milles statutaires |
| dér | dérive | US gall. | galons américains |
| long. | longitude | (V) | soleil vrai |
| m | mètres | W | ouest |
| (M) | soleil moyen | | |
| mb | millibar | γ | point du Bélier |
| MPH | milles statutaires par heure | d | déviaton magnétique |
| N | nord | δ | déclinaison du soleil |
| nautical | milles nautiques | φ | latitude |
| Nb | nord du compas | | |

Orientation, topographie et navigation®

© Cesare Baj 1985

Patents pending in most important countries

Tous droits réservés

Production:

FOX snc

Via Toti 8/a

22012 Cernobbio (Como) - Italy

Distribution en France:

La Maison de l'Astronomie

33, Rue de Rivoli

Paris

PREFACE

La composition abstraite reproduite sur la couverture est une carte nautique des indigènes des Iles Marshall, dite "rebelib", réalisée avec des baguettes et des coquilles de 2 dimensions différentes. Les grandes représentent certaines îles de l'archipel, tandis que les petites situent les "noeuds", c'est à dire les points de rencontre des différents fronts de houle qui déferlent aux alentours des îles. Les baguettes représentent la houle et les courants océaniques. Les insulaires sont habitués à naviguer jour après jour parmi les îles, passant d'un noeud à un autre en tenant compte de la houle. Pendant des milliers d'années l'Homme a navigué sur terre et sur mer avec des méthodes similaires, observant la nature, les paysages, les vents, le soleil et les étoiles. Aujourd'hui il est capable de naviguer sous l'eau, dans l'air et dans l'espace interplanétaire à l'aide d'instruments sophistiqués. Malgré cela chacun de nous se trouve parfois devant des problèmes de navigation fondamentaux: quelle est ma position? Quelle est la direction du but? Combien de temps faudra-t-il pour l'atteindre? En résumé les problèmes de navigation ne sont pas propres aux avions ou aux bateaux mais existent aussi lors d'une promenade dans un bois, en canoë, en vélo ou pour circuler dans une ville inconnue.

Ce kit contient des instruments pour résoudre tous les problèmes fondamentaux avec une notice explicative qui représente, malgré sa brièveté, un véritable cours de navigation reprenant toutes les notions des pilotes de navigateurs et des alpinistes. Il peut être d'un intérêt pédagogique certain, surtout pour l'autodidacte. Chacun peut éprouver de la satisfaction à savoir naviguer à l'aide d'instruments très simples, en observant attentivement les éléments naturels.

Cesare Baj

**PETIT COURS COMPLET
D'ORIENTATION, TOPOGRAPHIE ET
NAVIGATION**
à l'usage des excursionnistes, des sportifs et des navigateurs

La Terre

Les coordonnées géographiques

Pour définir la position d'un point à la surface de la Terre il suffit d'indiquer sur quel méridien et sur quel parallèle il se trouve. Ceci définit la latitude et la longitude. La latitude est la distance angulaire du lieu considéré mesurée sur un méridien depuis l'équateur de 0 à 90° vers le nord et de 0 à -90° vers le sud. La longitude est la distance angulaire entre le méridien du lieu et celui de Greenwich appelé méridien fondamental. La longitude est mesurée de 0 à 180° vers l'ouest et de 0 à -180° vers l'est. Au lieu des signes + ou - on précise souvent W ou E pour ouest, est. Quelquefois, pour des raisons que nous verrons plus loin, il est utile d'exprimer la longitude en heures et en minutes de temps, avec 1 heure = 15° et 1° = 4 minutes... etc. Exemple 9° est s'écrit -00h 36m (1° = 4m; 9° = 4 × 9 = 36m).

Cercles importants

La Terre a une forme particulière, dite géoïde, mais pour les besoins de la navigation elle est considérée comme sphérique. Un plan passant par le centre la divise en 2 parties égales et trace à la surface de la sphère un cercle d'un diamètre maximal appelé "grand cercle" (Fig. 1). Un plan ne passant pas par le centre divise la Terre en 2 parties inégales et trace un petit cercle à la surface. Les arcs de grand cercle ont la propriété importante d'être les lignes géodésiques de la surface sphérique et représentent la plus courte distance entre 2 points.

L'axe de rotation de la Terre coupe la surface en 2 points opposés appelés pôle nord et pôle sud. Les grands cercles passant par les pôles sont des Méridiens. L'équateur est le grand cercle perpendiculaire à l'axe des pôles tandis que tous les cercles parallèles à l'équateur sont des petits cercles appelés "parallèles". Le pôle est un parallèle de rayon nul c'est à dire un point.

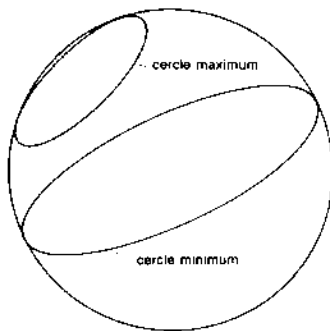


Fig. 1

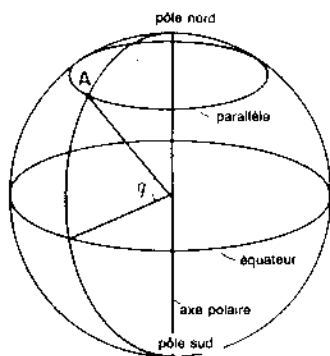


Fig. 2 L'angle φ représente la latitude de A.

4

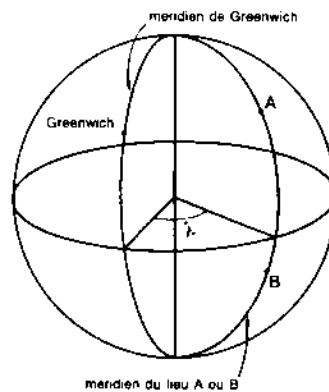


Fig. 3 L'angle λ représente la longitude de A et B.

La sphère céleste

Les astres sont disposés sur la surface interne d'une sphère, dite sphère céleste, de rayon infini et concentrique à la Terre (Fig. 4). Du fait de la rotation de la Terre, l'ensemble des astres semble tourner autour d'un axe, l'axe du monde, qui est la prolongation de l'axe terrestre définissant ainsi les pôles célestes nord et sud. De la même manière il existe un équateur céleste et des cercles analogues aux méridiens et aux parallèles.

Les coordonnées équatoriales

Pour définir la position d'un point sur la sphère céleste on utilise les coordonnées équatoriales, ainsi appelées parce qu'elles se réfèrent à l'équateur céleste; ce sont l'ascension droite (analogue à la longitude) et la déclinaison (analogue à la latitude). La première est mesurée de 0 à 360° (ou 0 à 24 heures) à partir d'un point origine. La seconde est mesurée de 0 à 90, ou de 0 à -90°, à partir de l'équateur respectivement vers le nord ou vers le sud.

Le mouvement du Soleil sur la sphère céleste

Apparemment le Soleil se meut parmi les étoiles fixes et effectue en une année le tour complet de la sphère céleste. En réalité ceci est dû à la révolution de la Terre autour du Soleil, qui se déplace ainsi chaque jour sur le fond des étoiles fixes, comme on peut le voir sur la figure 5. En juillet par exemple le Soleil est dans la constellation des Gémeaux, en Août dans celle du Cancer, et ainsi de suite. S'il était possible de représenter la position du Soleil tous les jours de l'année, on obtiendrait un cercle, appelé écliptique, incliné de $23^{\circ} 27'$ sur l'équateur et coupant ce dernier en deux points dits équinoxe puisque à ce moment la durée du jour égale celle de la nuit (figure 6). Le point de l'équinoxe de printemps reçoit le nom de point gamma, dont le symbole est celui du Bélier. Ce point revêt une importance particulière car il sert d'origine à certaines coordonnées célestes dont l'ascension droite définie plus haut. Dans sa course annuelle parmi les étoiles le Soleil traverse les douze constellations du zodiaque. De l'équinoxe de printemps à celle d'automne il se trouve au dessus de l'équateur, et en dessous pendant les 6 autres mois de l'année. Sa déclinaison varie donc continuellement pour passer de $-23^{\circ} 27'$ au solstice d'hiver à $+23^{\circ} 27'$ à celui d'été en passant par zéro aux équinoxes.

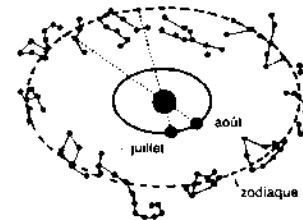
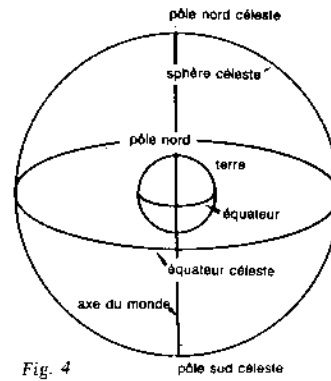
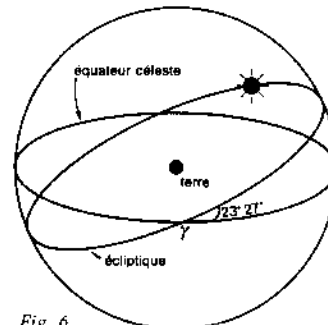
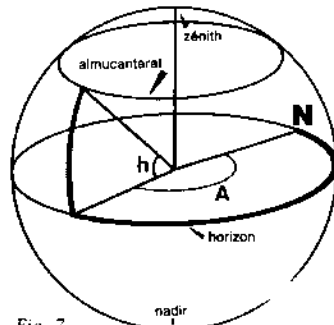


Fig. 5 Le mouvement annuel apparent du Soleil sur la sphère céleste est dû en réalité à la révolution de la Terre autour du Soleil.

La sphère locale

Chaque observateur peut s'imaginer au centre d'un disque constitué par l'horizon du lieu où il se trouve (Fig. 7). Le zénith se trouve exactement sur sa verticale vers le haut et le nadir à l'opposé vers le bas. La sphère qui l'entoure s'appelle sphère locale dont il ne voit que la moitié située au dessus de l'horizon.



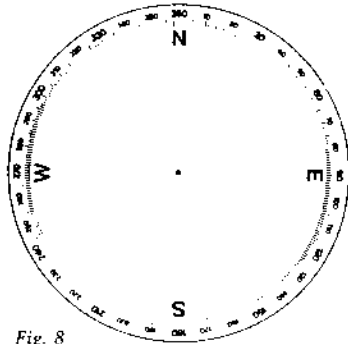


Fig. 8

Les coordonnées horizontales (ou Alt-azimutales)

Pour définir la position d'un point sur la sphère locale on utilise deux coordonnées qui sont la hauteur et l'azimut. La hauteur est la distance angulaire entre ce point et l'horizon mesurée à la verticale du point. L'ensemble des points de même hauteur forment un petit cercle appelé almucantar. La hauteur, comme la latitude et la déclinaison, se mesure de 0 à 90° vers le zénith et de 0 à -90° vers le nadir. L'azimut est l'angle entre le demi-plan vertical contenant le point observé et le demi-plan fondamental contenant le nord. Il est mesuré de 0 à 360° en partant du nord vers l'est (Fig. 8). Par exemple on dira que Genes vu de Ravenne est dans l'azimut 270. Certaines directions remarquables sont appelées par leur nom traditionnel: nord-est pour 45°, est pour 90° etc. En général on utilise 3 chiffres et on écrira 045 pour 45 et 360 pour le nord. Il ne faut pas oublier que l'azimut d'un point terrestre ne suffit pas à définir sa position, mais seulement la direction dans laquelle il se trouve. Ainsi le sommet d'une montagne et la ville de New York peuvent être dans le même azimut bien que séparés par des milliers de kilomètres. Les azimuts respectifs de deux points fixes sur la Terre sont constants. Sur la sphère céleste au contraire la hauteur et l'azimut des astres varient sans arrêt mais il existe heureusement une étoile, la Polaire, dont la position coïncide presque avec celle du pôle nord, la rendant ainsi pratiquement fixe sur la sphère céleste ce qui permet de visualiser le plan vertical contenant le nord (Fig. 10).

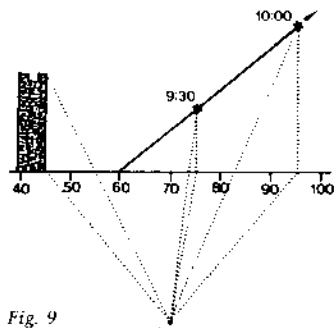


Fig. 9

Orientation d'une rose des vents

Lorsque l'on connaît la direction origine il est très facile d'en déduire les autres directions en utilisant une rose graduée ou rose des vents dont l'origine du nom remonte à l'époque où ces roses indiquaient le nom des vents et leur direction. En pratique il suffit de connaître une direction quelconque et de faire en sorte que la graduation correspondante de la rose soit en coïncidence avec elle pour que toutes les autres directions soient conformes. Ceci peut se faire à partir d'un azimut connu que ce soit un astre ou un point terrestre.

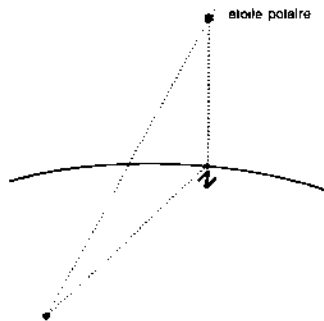


Fig. 10

La cercle méridien

Le plan contenant le pôle nord et le zénith définit le cercle méridien qui lui-même partage en deux parties égales le trajet apparent d'une astre au dessus de l'horizon. En passant au méridien l'astre culmine ce qui signifie qu'il atteint à ce moment sa hauteur la plus grande. On parle aussi de passage inférieur lorsqu'il s'agit d'un astre proche du pôle passant sans se coucher au méridien côté nord (pour l'hémisphère nord), atteignant ainsi sa hauteur minimum. Les parcours de tous les astres fixes sont donc symétriques par rapport au méridien. Si par exemple un astre se lève en un point d'azimut 160 il se couchera nécessairement dans le 200. Il en est de même pour les temps de parcours qui sont égaux de part et d'autre du méridien. C'est ainsi que la hauteur d'un astre une heure avant son passage sera la même qu'une heure après.

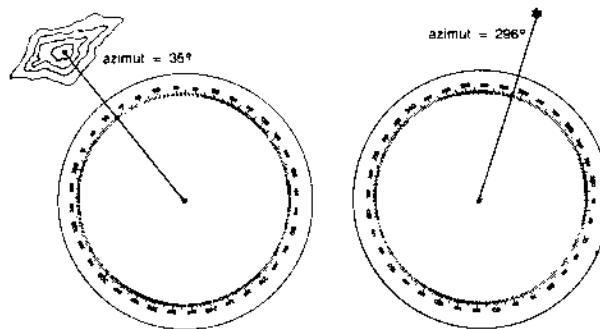


Fig. 11 Orientation d'une rose de compas à partir de deux points d'azimut connu: le sommet d'une montagne (à gauche) et une étoile (à droite).

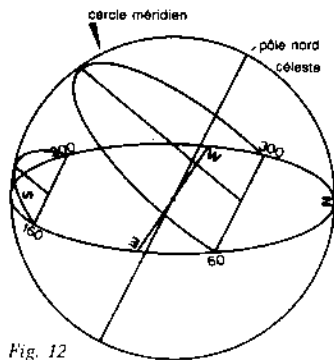


Fig. 12

Le ciel à différentes latitudes

En examinant la rotation de la sphère céleste à différentes latitudes on fait apparaître les règles générales ci-dessous (Fig. 13):

- La hauteur du pôle céleste au-dessus de l'horizon est constante et égale à la latitude.
- L'équateur céleste coupe l'horizon aux points est et ouest et le point où il coupe le méridien est à une hauteur de $(90 - \phi)$, ϕ étant la latitude.
- Les astres ayant une déclinaison supérieure à $(90 - \phi)$ ne se couchent jamais et sont appelés circumpolaires.
- Pour être visible en un lieu donné un astre doit avoir une déclinaison supérieure à $(90 - \phi)$.

Examinons trois cas particuliers.

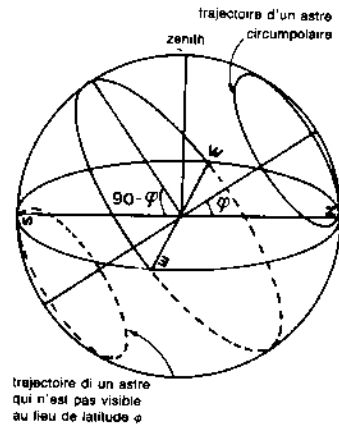
Au pôle nord (Fig. 14) le pôle céleste est au zénith et l'équateur à l'horizon. Tous les astres sont circumpolaires à une hauteur fixe au-dessus de l'horizon. Les astres ayant une déclinaison négative ne sont jamais visibles, ce qui est le cas du Soleil pendant 6 mois de l'année.

A 40° de latitude nord (Fig. 15) le pôle céleste est à 40° au-dessus de l'horizon. L'équateur coupe l'horizon à l'est et à l'ouest et le méridien à une hauteur de $90 - 40 = 50^\circ$. Les astres visibles sont ceux de déclinaison supérieure à $(40 - 90) = -50^\circ$; ainsi un astre de déclinaison -52° sera toujours sous l'horizon tandis que celui de déclinaison -48° culminera à 2° au moment de son passage au méridien.

A l'équateur (Fig. 16) le pôle nord céleste et le pôle sud céleste correspondent respectivement aux points nord et sud de l'horizon et l'équateur céleste passe par le zénith. A l'équateur tous les astres sont visibles toute l'année et aucun n'est circumpolaire.

Déclinaison et arc diurne

L'arc diurne est la partie du parcours apparent d'un astre située au-dessus de l'horizon. Les astres circumpolaires sont toujours au-dessus de l'horizon tandis que les autres culminent à une hauteur fonction de la déclinaison et de la latitude du lieu. Examinons la figure 17 pour un astre de déclinaison sud, soit -40° . Il se lève du côté est mais non loin du sud et culmine au méridien à une hauteur de 10° au-dessus de l'horizon pour se coucher vers l'ouest en un point proche du sud. Son trajet au-dessus de l'horizon n'est donc qu'une petite partie de son parcours apparent. Prenons maintenant l'exemple d'un astre de déclinaison 40° nord. Celui-ci se lève et se couche presque au nord et son parcours est presque totalement au-dessus de l'horizon. Puisque le temps nécessaire pour effectuer un tour complet est toujours de 24 heures le premier astre restera au-dessus de l'horizon moins longtemps que le deuxième. Les astres se trouvant sur l'équateur céleste (déclinaison 0°) se lèvent toujours à l'est, se couchent toujours à l'ouest et restent toujours 12 heures



trajectoire d'un astre qui n'est pas visible au lieu de latitude ϕ .

Fig. 13 Les cercles en pointillé représentent le parcours de astres sous l'horizon et ceux en trait plein le parcours au-dessus de l'horizon. On voit ainsi les astres circumpolaires et ceux qui sont toujours sous l'horizon pour la latitude considérée.

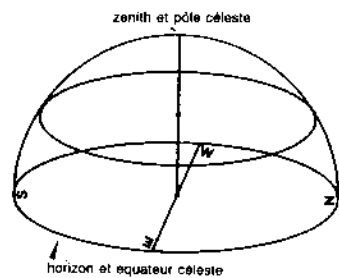


Fig. 14

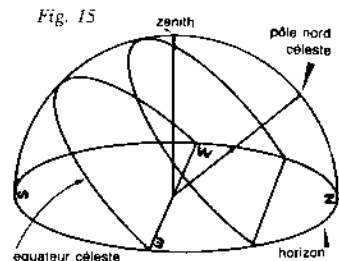


Fig. 15

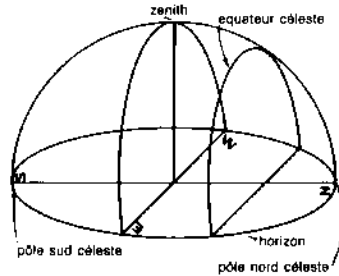


Fig. 16

res au-dessus de l'horizon quelle que soit la latitude. On a déjà indiquée qu'au cours d'une année la déclinaison du Soleil variait de $+23^{\circ} 27'$ à $-23^{\circ} 27'$. On comprend donc mieux que la durée d'une journée, c'est-à-dire le temps passé par le Soleil au-dessus de l'horizon, soit plus longue lorsque la déclinaison est positive et plus courte dans le cas contraire. De même il est évident que le Soleil se lève et se couche chaque jour d'autant plus au nord que sa déclinaison va en augmentant, soit en hiver et au printemps, et d'autant plus au sud dans le cas contraire en été et en automne. A l'équinoxe la journée dure 12 heures dans n'importe quel lieu et le Soleil se lève exactement à l'est pour se coucher exactement à l'ouest. Cas particulier de l'équateur: la journée dure 12 heures toute l'année, quelle que soit la déclinaison du Soleil, comme le montre la figure 16.

Le temps

Le phénomène évident que l'homme constate depuis les temps les plus reculés est la rotation apparente et régulière du Soleil autour de la Terre, qui de surcroît conditionne la vie de chacun. Il est donc normal que la mesure du temps se fasse à partir de l'observation du Soleil. Le jour solaire est l'intervalle de temps entre deux passages du Soleil au méridien, mais cette unité est trop longue et la pratique a consacré sa division en 24 heures à partir de minuit. Pour connaître l'heure en observant le Soleil on divise son parcours dans le ciel en 24 parties et à un moment quelconque on regarde où il se trouve. On peut donc imaginer le ciel comme une immense horloge avec une seule aiguille — le Soleil — qui défile à une vitesse à peu près uniforme sur la sphère locale représentant un cadran divisé comme indiqué ci-dessus.

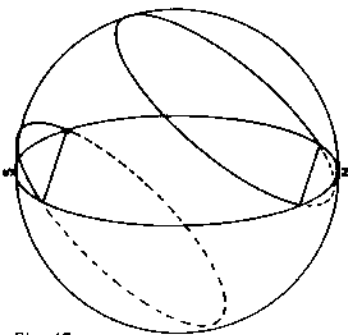


Fig. 17

Voyons maintenant en détail les caractéristiques de ce cadran et divisons la sphère locale en 24 fuseaux égaux, allant du pôle nord céleste au pôle sud céleste, dont l'origine correspond avec le cercle méridien (Fig. 18). Dans son mouvement apparent le soleil mettra le même temps à parcourir chaque fuseau quelle que soit sa déclinaison et sera toujours à midi vrai au méridien, alors qu'à 11 heures il était au début du fuseau précédent. L'heure peut donc être définie selon la position du Soleil dans un fuseau et les cercles origines de chaque fuseau s'appellent les cercles horaires gradués de 0 à 24 depuis le méridien en tournant vers l'ouest. L'angle formé par le plan passant par le cercle horaire avec le plan méridien s'appelle l'angle horaire de ce cercle. Tous les astres se trouvant à un certain moment sur le cercle horaire de 4 heures ont un angle horaire de 4 heures. L'heure peut donc être définie comme étant l'angle horaire du Soleil, augmentée de 12 heures puisque le jour civil commence à minuit. Si le Soleil a un angle horaire de 2,5 heures l'heure solaire est donc 14h 30m et si cet angle est 13 heures l'heure solaire sera $12 + 13 = 25$ dont on retranche 24 pour trouver 1 heure.

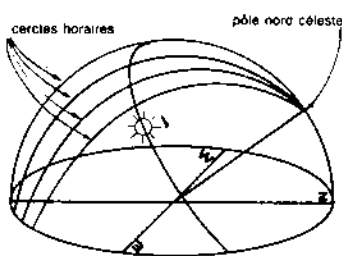


Fig. 18 L'horloge du ciel: le Soleil est l'aiguille, les cercles horaires sont la graduation du cadran.

Temps solaire et temps sidéral

La révolution apparente du Soleil autour de la Terre est de 24 heures. Supposons qu'au même moment le Soleil et une étoile passent ensemble au méridien (Fig. 19). 24 heures plus tard le Soleil sera de nouveau au méridien mais l'étoile sera déjà passée depuis 4 minutes, ayant effectué sa rotation en 23h 56m du fait du mouvement du Soleil réalisant le tour de la sphère céleste en un an. Chaque jour le Soleil passe donc au méridien avec un retard de 4 minutes sur les étoiles. L'intervalle de temps entre deux passages consécutifs d'une étoile au méridien s'appelle le jour sidéral. Le temps sidéral est l'angle horaire du point gamma, c'est à dire l'angle horaire des astres qui ont une ascension droite égale à zéro. On remarque qu'à un moment quelconque le temps sidéral est donné par l'ascension droite des astres qui passent au méridien. Le jour sidéral représente le temps réel mis par la Terre pour effectuer une rotation complète sur son axe.

Temps local et temps du fuseau horaire

A un certain moment l'angle horaire d'un astre, donc l'heure, est le même pour tous les lieux se trouvant sur un même méridien. L'heure d'un endroit diffère de celle d'un autre endroit d'un angle égal à la différence de longitude existant entre le deux endroits et c'est pour cette raison que les longitudes seront exprimées en heures et non en degrés. Par exemple s'il est 9h 44m dans une certaine localité (Fig. 20), quelle heure sera-t-il dans un lieu de longitude 65°, soit 4h 20m, à l'ouest de la précédente? Pour répondre il faut remarquer qu'en allant vers l'ouest il est plus tôt et qu'il est plus tard en allant vers l'est. Dans le cas présent le deuxième lieu est à l'ouest de sorte qu'on écrit: 9h 44m — 4h 20m = 5h 24m. Pour éviter que dans des endroits proches les uns des autres il y ait des heures différentes on a imaginé des fuseaux horaires de 15° = 1 heure de longitude à l'intérieur desquels l'heure en vigueur est celle du méridien central. Le méridien central du fuseau zéro est celui de Greenwich et dans ce fuseau toutes les pendules sont réglées sur l'heure civile locale de Greenwich. Le fuseau suivant en allant vers l'est comprend l'Italie et la Suisse où l'heure civile locale est celle du méridien 15° est, appelé méridien de l'Etna puisqu'il passe par le cratère de ce volcan. Les limites d'un fuseau horaire ne suivent pas toujours le méridien mais parfois les frontières des pays. Certains pays sont même divisés en plusieurs fuseaux horaires.

Voyons maintenant comment passer de l'heure du fuseau à l'heure locale. Il faut d'abord connaître la longitude exacte du lieu considéré pour calculer l'intervalle en minutes par rapport au méridien central et appliquer cette correction, positive si le lieu est à l'est du méridien ou négative dans le cas contraire. Par exemple Turin se trouve 7° 30', soit 30m, à l'ouest du méridien de l'Etna. Si une montre réglée sur l'heure du fuseau marque 19h 38m, à Turin il sera en réalité 19h 38m — 00h 30m = 19h 08m.

Bien souvent on doit faire l'opération inverse, soit trouver l'heure du fuseau en partant de l'heure locale. On peut ainsi se demander quelle est l'heure du fuseau s'il est 12h 00m toujours à Turin (Fig. 21) ou en d'autres termes quelle heure indiquera notre montre lorsque le Soleil passera au méridien. C'est donc la question inverse de la précédente entraînant le même calcul en changeant les signes ce qui donne: 12h 00 + 00h 30 = 12h 30. En cas de doute il est conseillé de faire un schéma identique à celui de la figure 21. Pour faciliter les calculs on peut faire un tableau donnant la différence de longitude des principales villes avec le méridien central.

Si l'on veut des résultats précis dans l'utilisation des instruments il est indispensable d'effectuer cette correction de différence de longitude. Tous les cadrans solaires et l'horloge nocturne par exemple, donnent l'heure vraie locale car si on le règle sur l'heure de la montre sans apporter de correction il indiquera la position du Soleil ou des étoiles telle qu'elle serait en un lieu situé sur le méridien central du fuseau. Si par exemple on veut régler l'astrolabe à Turin à 22h 15 de notre montre on devra le faire pour 21h45, heure locale à Turin quand il est 22h15 du fuseau. Après quelques expériences on arrive facilement à dominer le problème. Il faut se rappeler que sans correction les erreurs seront d'autant plus grandes que l'on se trouve éloigné du méridien central.

On peut résumer tout ceci en deux formules:

heure locale = heure fuseau — différence de longitude avec méridien central.

heure fuseau = heure locale + différence de longitude avec méridien central.

Il ne faut pas oublier de donner à la différence de longitude le signe — quand la localité est à l'ouest du méridien et le signe + quand est à l'est.

Temps vrai et temps moyen

L'intervalle de temps entre deux passages du Soleil au méridien est le jour vrai. Pour des raisons qui ne sont pas utiles à exposer ici, le jour

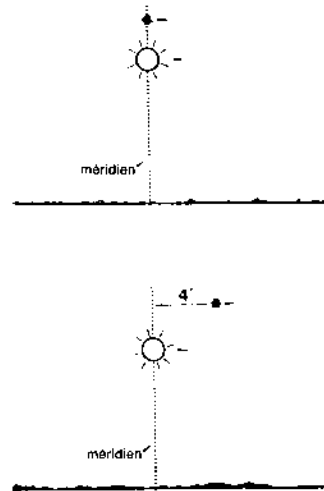


Fig. 19 Chaque jour le Soleil passe au méridien avec environ 4 minutes de retard par rapport aux étoiles.

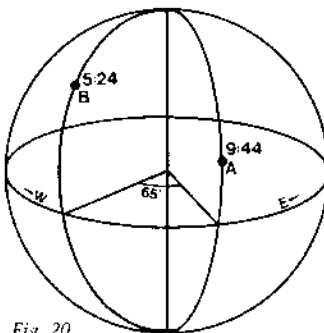


Fig. 20

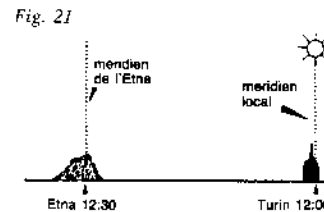


Fig. 21

vrai n'a pas toujours la même durée. Mais puisque pour la vie de chaque jour il est indispensable d'avoir des jours de durée constante, on a adopté comme unité un intervalle de temps qui est la moyenne de tous les jours vrais d'une année et qu'on appelle jour moyen. C'est pourquoi à certaines périodes de l'année le Soleil peut se trouver en avance sur l'heure moyenne indiquée par une montre et à d'autres périodes être en retard. On a donc simultanément l'heure vraie qui est l'angle horaire du Soleil plus 12 heures et l'heure moyenne qui est l'angle horaire d'un soleil moyen imaginaire plus 12 heures. L'écart entre l'heure vraie et l'heure moyenne s'appelle équation du temps qui est donné sur un graphique imprimé sur la Règle astronomique. Si nous voulons par exemple déterminer l'instant en temps moyen, c'est à dire l'heure de notre montre, au moment du passage du Soleil au méridien (Culmination) un jour quelconque nous devons tenir compte de la correction de l'équation du temps. C'est ainsi que le 16 Septembre le graphique montre que le Soleil est en avance de 5 minutes sur le soleil moyen et qu'il passera donc au méridien à 11h55 au lieu de midi. On résume en écrivant les deux formules ci-dessous:

heure moyenne - heure vraie + équation du temps

heure vraie - heure moyenne - équation du temps

Dans l'exemple ci-dessus l'équation du temps vaut -5 minutes ce qui donne:

heure moyenne = 12h00m - 5m = 11h55m

Si nous voulions savoir, toujours pour ce jour là, quelle est l'heure vraie quand notre montre indique 12h00 locale nous écririons:

heure vraie = 12h00m - (-5m) = 12h05m

L'heure légale

Suivant la saison certains pays d'Europe, dont la France, adoptent temporairement l'heure du fuseau voisin à l'est du fuseau normal. Dans ces conditions quand une montre indique 17h30 il est en réalité 16h30. Pour régler un astrolabe à 20 heures, en heure légale, on affichera 19 heures. Réciproquement si un astrolabe indique qu'un événement doit se produire à 14h15, il faut savoir que l'heure de la montre sera alors 15h15. Cette correction s'ajoute à la différence de longitude avec le méridien central du fuseau. A Côte, par exemple, en été, si une montre indique 18h24 il est en réalité 18h24 - 1 heure = 00h24 = 17h00.

Formules

Les formules récapitulatives sont donc les suivantes:

heure vraie locale = heure moyenne fuseau
- différence de longitude avec méridien central
- équation du temps

heure moyenne fuseau = heure vraie locale
+ différence de longitude avec méridien central
+ équation du temps

Si l'on veut par exemple calculer l'heure vraie locale à Aosta (différence de longitude avec le méridien central en minutes: 30m 44s ouest) le 17 Janvier (équation du temps: -10 minutes) à 15h30 du fuseau, on écrira:
heure vraie locale = 15h30 - 0h30m44s - 0h10m = 14h49m16s

Grandeurs et unités de mesure

Malgré tous les efforts d'unification, il existe beaucoup de systèmes d'unités qui obligent souvent à effectuer des conversions. Avant d'examiner les principes il est utile de faire un petit rappel de physique à propos de vecteurs qui sont très importants en navigation.

Grandeurs scalaires et grandeurs vectorielles

De nombreuses grandeurs peuvent être définies par un nombre, comme la température, les longueurs ou la masse; elles sont dites scalaires. Les opérations arithmétiques sur les grandeurs scalaires sont sans problème: on dira $1 \text{ kg} + 0,5 \text{ kg} = 1,5 \text{ kg}$. D'autres grandeurs nécessitent 3 éléments pour être définies, à savoir la direction, le sens et le module. Ce sont des grandeurs vectorielles qui peuvent être représentées par un segment orienté appelé vecteur. La direction est celle de la droite portant le segment; le sens est indiqué par une flèche et le module est la longueur du segment. La vitesse et la force sont deux exemples de grandeurs vectorielles. Les opérations qui les concernent sont plus compliquées puisqu'il faut tenir compte de leur orientation. La résultante de deux vecteurs \vec{a} et \vec{b} (la flèche indiquant qu'il s'agit d'un vecteur) peut être obtenue en portant l'origine de \vec{b} sur l'extrémité de \vec{a} et en joignant par une droite l'origine de \vec{a} et l'extrémité de \vec{b} (Fig. 22). La méthode est valable pour plusieurs vecteurs (Fig. 23). Pour obtenir la résultante de deux vecteurs on peut aussi construire un parallélogramme où les vecteurs \vec{a} et \vec{b} sont dits composants de \vec{c} comme indiqué sur la figure 24. Un vecteur peut toujours être mis sous la forme de deux vecteurs composés, selon deux directions fixées à l'avance, par la méthode du parallélogramme. Quand on doit par exemple déterminer l'influence du courant sur la route d'un navire on utilisera le calcul vectoriel (Fig. 25). La construction du parallélogramme donnera la résultante des 2 vecteurs, c'est à dire la route et la vitesse du navire.

Distances

Le principales unités de distance sont le kilomètre et le mille marin (1852m). En Amérique on utilise le mille terrestre de 1609 mètres. D'autres unités courantes sont le pouce (2,54 cm), le pied (1 pied = 12 pouces = 30,48 cm), le yard (1 yard = 3 pieds = 0,9144 m) et la brasse (1 brasse = 6 pieds = 1,8288 m). Une unité fréquemment utilisée par ceux qui font de la marche est le pas. Cette unité variable, en moyenne de 60 cm, est très utile lorsqu'on se déplace sur des surface inégales. Pour connaître la longueur moyenne de votre pas il faut parcourir une ou plusieurs fois une base de longueur connue, en comptant les pas. Si par exemple en 300 mètres on compte 515 pas, la longueur moyenne du pas sera $300/515 = 58 \text{ cm}$. On recommence l'expérience en montée et en descente pour obtenir la longueur dans des conditions différentes. Il existe des instruments spéciaux, appelés podomètres, que l'on porte à la ceinture et qui enregistrent le total des pas depuis la dernière mise à zéro. Souvent on peut apporter une correction en fonction de la longueur du pas et obtenir directement la distance parcourue (Fig. 26). Sur le terrain les distances sont mesurées par des instruments spéciaux. Pour l'évaluation des distances à partir d'une carte voir le chapitre correspondant.

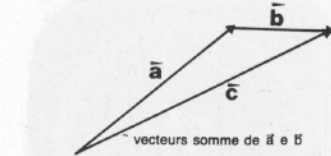
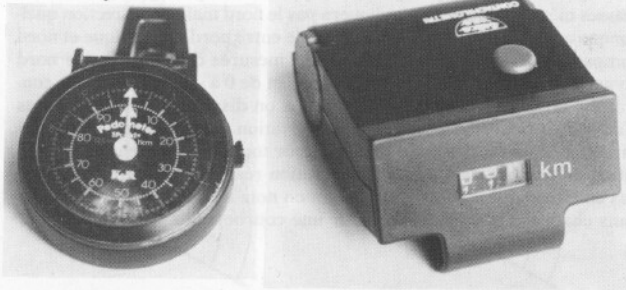


Fig. 22 Somme des deux vecteurs.

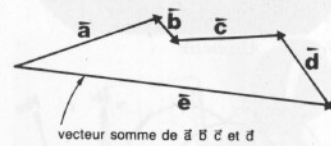


Fig. 23 Somme de plusieurs vecteurs.

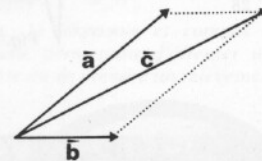


Fig. 24 Somme de 2 vecteurs par la méthode du parallélogramme. Il s'agit de même vecteurs que ceux de la figure 22.

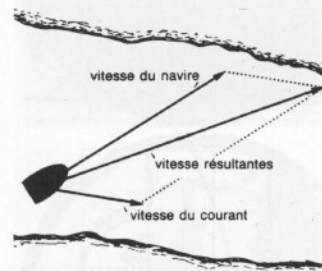


Fig. 25

Fig. 26 Deux types de podomètres donnant la distance parcourue en fonction de la longueur du pas.

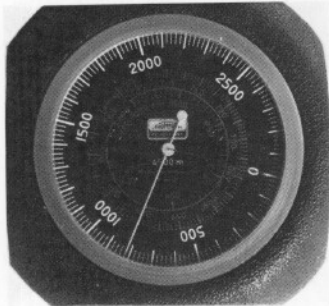


Fig. 27 Altimètre

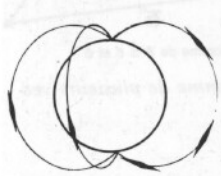


Fig. 28



Fig. 29

Vitesse

Outre le km/h et le m/s, on utilise aussi le noeud (un mille marin par heure), le mille statuaire par heure (mph) et le pied par minute.

Pression

La pression est mesurée en millimètres ou en pouces de mercure, en millibar, en kg/cm² ou en livre par pouce carré.

Altitude et profondeur

L'altitude est généralement exprimée en mètres ou en pieds, la profondeur en yards ou en brasses. L'altitude peut être mesurée avec précision au moyen d'altimètres qui ne sont autres que des baromètres anéroïdes directement gradués en mètres ou en pieds. Ces appareils doivent être étalonnés de telle sorte qu'ils indiquent zéro au niveau de la mer. Si cette donnée n'est pas disponible on peut effectuer le réglage à partir de l'altitude du lieu où l'on se trouve, renseignement habituellement indiqué sur le mur des mairies, des gares ou des refuges de montagne. Les profondeurs sont mesurées par des instrument spéciaux, qui peuvent être portatifs, ou par des sondeurs à partir d'un bateau. Un moyen simple est la corde à noeuds espacés régulièrement.

Angles

Les angles ne sont pas seulement mesurés en système sexagésimal de 360° pour une circonférence, mais aussi en système centésimal de 400° ou encore par d'autres systèmes à utilisation spécifique. Dans cet ouvrage il sera uniquement question du système sexagésimal.

La boussole (ou Compas)

Nous avons déjà indiqué que l'étoile polaire indiquait le nord avec une bonne précision. N'importe quel autre astre dont on connaît l'azimut peut également servir de référence. Mais les étoiles ne sont pas toujours visibles et bien souvent on n'a pas le temps de calculer leur azimut à l'instant de l'observation. Pour cette raison la boussole est l'instrument le plus pratique pour s'orienter à partir du principe de l'aiguille aimantée dirigée vers le nord du champ magnétique terrestre (Fig. 28).

La déclinaison magnétique

La pôle magnétique ne se trouve pas exactement au pôle géographique (nord vrai) mais fait avec ce dernier un angle appelé déclinaison (D) mesuré de 0 à 180° lorsque le nord magnétique est l'est du nord vrai et de 0 à -180° dans le cas contraire. Pour limiter l'effet de la déviation on dispose des petits aimants autour de la boussole au cours d'une opération délicate appelée compensation, effectuée en principe une fois pour toutes au moment de l'installation du compas. Une fois cette opération réalisée on contrôle le compas en effectuant un tour d'horizon et on note les déviations résiduelles dans chaque direction pour établir une courbe de déviation.

La déviation

Si la boussole se trouve à bord d'un navire, d'un avion ou d'une voiture son aiguille aimantée sera perturbée par le champ magnétique dû aux masses métalliques et elle n'indiquera pas le nord mais une direction quelconque appelée nord du compas. L'angle entre nord magnétique et nord compas est la déviation (Fig. 31), qui est mesurée de 0 à 180° si le nord compas est à droite du nord magnétique et de 0 à -180° dans le cas contraire. Pour limiter l'effet de la déviation on dispose des petits aimants autour de la boussole au cours d'une opération délicate appelée compensation, effectuée en principe une fois pour toutes au moment de l'installation du compas. Une fois cette opération réalisée, on contrôle le compas en effectuant un tour d'horizon et on note les déviations résiduelles dans chaque direction pour établir une courbe de déviation.

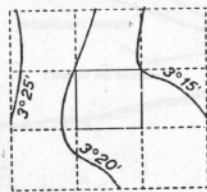


Fig. 30 La partie haute est un extrait d'une carte aéronautique. La ligne discontinue marquée par une flèche est l'isogone des 3° W. La partie basse est une carte au 1/25.000 de la déclinaison magnétique pour la zone considérée. Les lignes d'égale déclinaison sont espacées de 5'.

La boussole en pratique

Le mot compas est utilisé par les marins pour désigner la boussole. Il existe différentes sortes de compas. Sur la figure n. 33 on peut voir un compas de relèvement et un compas de navigation. Nous parlerons du compas de relèvement au prochain paragraphe. Tous les autres compas sont conçus pour que la direction du nord magnétique coïncide avec celle de l'aiguille aimantée ce qui entraîne l'orientation correcte de la rose des vents. Pour obtenir les directions vraies on compensera l'effet de la déclinaison comme indiqué ci-dessus (Fig. 34).

Les milleures boussoles ont leur axe monté sur rubis spécialement taillé et l'élément mobile portant l'aiguille est immergé dans un liquide pour diminuer les frottements et amortir les oscillations. Avant d'effectuer une lecture il faut attendre que la rose soit stabilisée et s'être assuré que l'on se trouve à plus de cinq mètres d'une masse métallique. Ne pas lire l'instrument si le véhicule est en phase d'accélération ou en virage. La lecture se fait en observant le cadran verticalement de manière à éviter des effets de parallaxe. Une fois le compas bien orienté il est facile de se repérer sur le terrain. Pour conserver une direction on cherchera un point remarquable le plus loin possible évitant ainsi de regarder trop souvent la boussole.

Route et cap

La Route est la trajectoire réelle suivie ou à suivre. L'angle de route, souvent appelé simplement route, est l'angle entre la direction du nord et celle de la route. La route est dite vraie (Rv), magnétique (Rm), ou encore compas (Rc) selon qu'elle se réfère au nord vrai, au nord magnétique ou au nord du compas (Fig. 35). Le cap est la direction de l'axe du navire (ou de l'avion) c'est à dire l'angle que fait cette direction avec le nord. Comme ci-dessus on aura le cap vrai (Cv), le cap magnétique (Cm) et le cap compas (Cc). Routes et caps sont comptés comme les azimuts de 0 à 360° depuis le nord dans le sens des aiguilles d'une montre.

La dérive

Dans quelles circonstances route et cap sont-ils différents? Cela se produit lorsque le navire (ou avion) est soumis à une (ou plusieurs) force s'exerçant dans une direction différente de celle de son axe. Par exemple (Fig. 37) un avion volant au cap 085, sans vent, suivra la route vraie 085. S'il est soumis à un venant de la gauche il dérivera vers la droite et suivra une autre route, disons 095. Lorsqu'il s'agit d'un navire la dérive peut être la somme de deux dérives différentes: d'une part la dérive due au courant par rapport au fond de la mer et d'autre part la dérive due au vent que l'on constate en examinant les directions différentes du cap et du sillage. La dérive est positive si le navire dérive vers la droite et négative dans le cas contraire. Pour un véhicule terrestre ce problème n'existe pas et on a toujours route = cap que l'on soit à pied, en vélo ou à dos de chameau. Par contre si l'on est en avion ou en bateau, ou si l'on traverse une rivière à la nage, il faut alors tenir compte de la dérive.

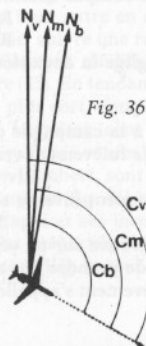
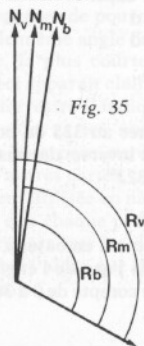


Fig. 31

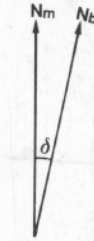


Fig. 32

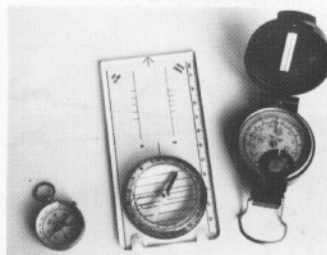
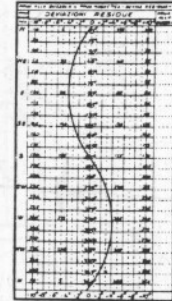


Fig. 33 Boussole et compas de poche permettant d'orienter une carte ou de prendre un relèvement.

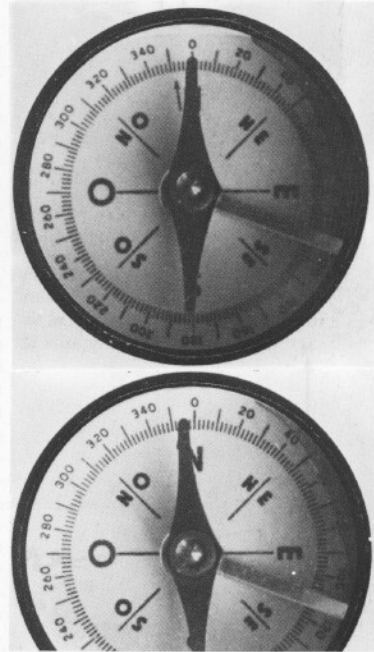


Fig. 34 Régulation de la rose graduée pour avoir indiqué toutes les directions magnétique (en haut) et les directions vraies (en bas) dans un endroit dont la déclinaison magnétique est de 5° W.

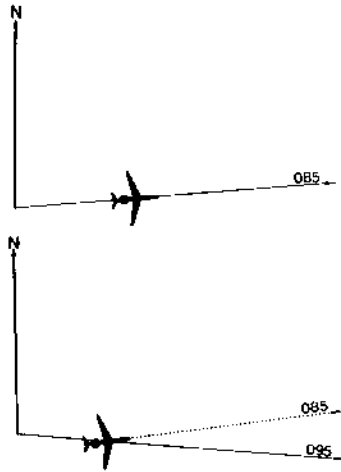


Fig. 37 En haut, route vraie d'un avion en air calme pour un cap de 085. En bas, route suivie par le même avion avec du vent venant de gauche.



Fig. 38

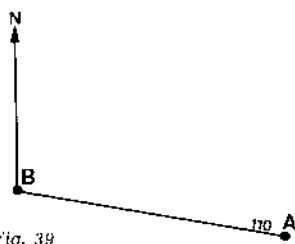


Fig. 39

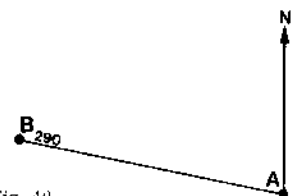


Fig. 40

Calculs de route et de cap

Les routes tracées sur les cartes se rapportant au réseau des méridiens, donc au nord vrai, sont des routes vraies. Les caps lus au compas sont évidemment des caps compas. Le navigateur doit par conséquent résoudre les deux problèmes suivants:

- 1 — Quel doit être le cap compas pour suivre une route vraie donnée?
- 2 — Quelle est la route vraie correspondant à un cap compas?

Ce sont deux problèmes inverses qui nécessitent de connaître la déclinaison magnétique, la déviation du compas, la dérive due au courant et la dérive due au vent. On applique les formules suivantes avec D = Déclinaison et d = déviation:

$$C_c = R_v - D - d - \text{dér} \quad \text{pour les avions}$$

$$R_v = C_c + D + d + \text{dér} \quad \text{pour les avions}$$

ou

$$C_c = R_v - D - d - \text{dér}(\text{vent}) - \text{dér}(\text{courant}) \quad \text{pour les navires}$$

$$R_v = C_c + D + d + \text{dér}(\text{vent}) + \text{dér}(\text{courant}) \quad \text{pour les navires}$$

A terre la dérive disparaît et si, de plus, on néglige la déviation on considère seulement le cap magnétique:

$$C_m = C_v - D$$

$$C_v = C_m + D$$

Premier exemple: un avion suit une route au 243. La déclinaison magnétique donnée par la carte aéronautique est de -4° . La déviation au cap 243, à partir de la courbe de déviation, est de 1° . La dérive, calculée suivant une méthode exposée par ailleurs, est de -7° . On demande le cap compas pour suivre la route vraie:

On écrit: $C_c = R_v - D - d - \text{dér} = 243 - (-4) - 1 - (-7) = 253$.

Deuxième exemple: on donne $C_c = 178^\circ$; $D = -4^\circ$; $d = -1^\circ$; $\text{dér} = 9^\circ$. On demande la route vraie: $R_v = 178 - (-4) - (-1) - 9 = 182^\circ$

Troisième exemples: en voiture dans le désert il faut suivre une route au 165 avec $D = 7^\circ$ et $d = -1^\circ$: on trouve $C_c = R_v - D - d = 165 - 7 + 1 = 159$

Quatrième exemple: dans un bois suivre une route au 228° . Quel est le cap compas si $D = +9^\circ$?

On obtient $C_c = R_v - D = 228 - (+9) = 219$

Les relevements

Le relèvement R_l du point A vu du point B est l'angle entre la direction du nord et BA (Fig. 39). Le relèvement inverse, c'est à dire celui de B vu du point A est obtenu en ajoutant 180° au précédent (fig. 40). En toute rigueur ceci n'est vrai que si A et B sont sur l'équateur ou sur un méridien ou encore, en pratique, s'ils sont proches, par exemple en vue l'un de l'autre. Pour les grandes distances le relèvement de B par A n'est pas l'inverse de celui de A par B mais ceci est sans importance si on se limite à des relevements optiques ou de navigation de quelques centaines de kilomètres au maximum.

Les relevements sont comptés depuis le nord vrai, le nord magnétique ou le nord compas comme les routes et les caps:

$$R_{lv} = R_{lc} + D + d$$

$$R_{lc} = R_{lv} - D - d$$

Si l'on néglige la déviation on emploiera:

$$R_{lv} = R_{lc} + D$$

$$R_{lc} = R_{lv} - D$$

Exemple: à la campagne on relève un clocher au 325° du compas. On demande le relèvement vrai et le relèvement inverse; déclinaison -3° .

$$R_{lv} = 325 + (-3) = 322^\circ$$

et le relèvement inverse sera:

$$322 - 180 = 142^\circ$$

Si l'on se trouve sur un véhicule, ou en avion, ou en bateau, il est parfois utile de prendre des relevements depuis l'axe de l'engin (fig. 41). Un tel relèvement s'appelle un gisement et se compte de 0 à 360° depuis

l'axe dans le sens des aiguilles d'une montre. Parfois on le compte de 0 à 180° depuis l'axe vers la droite ou vers la gauche. Pour trouver le relèvement réel on effectue l'opération suivante:

$$\text{relèvement} = \text{cap} + \text{gisement}$$

Si le total est supérieur à 360° on retranche 360°.

Premier exemple: un bateau a un cap vrai de 225°. On relève un phare à 30° sur la droite. Quel est le Relèvement vrai?

$$\text{Rlv} = \text{cap} + \text{gisement}$$

$$\text{Rlv} = 225 + 30 = 255^\circ$$

Deuxième exemple: on donne cap vrai = 70° et gisement = 40° sur la gauche:

$$\text{Rlv} = 70 - 40 = 30^\circ$$

Les relèvements sont très utilisés pour déterminer la position du navire ou celle d'un point quelconque. On utilise le compas de relèvement (fig. 42). Il comporte une alidade permettant de viser les objets et un système de miroirs et lentilles pour lire la rose graduée. Le relèvement obtenu est magnétique, on utilisera la formule

$$\text{Rlv} = \text{Rlm} + D$$

pour avoir le relèvement vrai.

Les cartes

L'Echelle de la carte

On appelle Echelle d'une carte le rapport entre la longueur d'un segment sur la carte et la longueur du segment correspondant sur la surface de la Terre. Sur une carte au 1/50.000 par exemple, 1 cm sur la carte correspond à 50.000 cm, soit 0,500 km sur le terrain.

Caractéristiques des cartes de navigation

La surface sphérique n'est pas — comme les surfaces coniques ou cylindriques — développable sur un plan de sorte qu'il n'est pas possible d'obtenir une représentation fidèle de la surface de la Terre. Pour la navigation, cependant, il est indispensable d'avoir des cartes conformes, c'est à dire reproduisant fidèlement les angles tels qu'ils sont sur la terre (fig. 43), puisque les routes, les relèvements et les calculs de navigation en général consistent toujours à mesure des angles. Une autre caractéristique importante est d'obtenir une carte avec une échelle identique sur toute sa surface. Ainsi sur une carte au 1/1.000.000 1 cm représentera toujours 10 kms. Cependant toutes les cartes n'ont pas cette caractéristique qui n'est pas toujours nécessaire comme, par exemple, en navigation à grande distance. Pour le navigateur, et dans bien d'autres cas, certaines caractéristiques sont particulièrement intéressantes, notamment celle de pouvoir obtenir la distance la plus courte entre deux points, ne serait-ce que pour des questions d'économie. On a vu que cette distance minimum entre deux points était un arc de grad cercle, encore appelé orthodromie (fig. 44). Une autre projection intéressante pour le navigateur est celle qui permet la conservation des angles lorsque l'on trace la droite reliant deux points sur la carte. Cette droite, appelée loxodromie, n'est pas la plus courte sur la terre, sauf dans le cas particulier de 2 points situés sur un méridien ou sur l'équateur, mais elle présente l'avantage de pouvoir aller d'un point à un autre en conservant toujours le même angle de route. En effet pour suivre une route orthodromique, la plus courte, il faut continuellement modifier la route comme ceci apparaît clairement sur la figure (45). En tendant un fil sur un globe terrestre il indiquera le chemin le plus court, donc l'orthodromie. Certaines cartes, notamment celles de Mercator, sont dites loxodromique pour permettre de tracer directement les routes correspondantes. D'autres cartes, comme la projection Lambert, sont plus particulièrement utilisées en navigation orthodromique (fig. 46), mais il faut bien voir que chaque projection a ses avantages et ses inconvénients. On remarquera que les distances sont mieux respectées sur la projection Lambert alors que sur celle de Mercator elles le sont seulement à l'équateur.

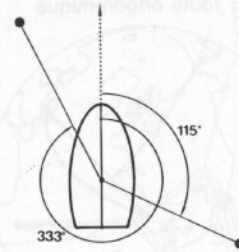


Fig. 41



Fig. 42 Utilisation d'un compas de relèvement: on vise l'objet et à l'aide de la loupe on lit le relèvement sur la rose graduée.

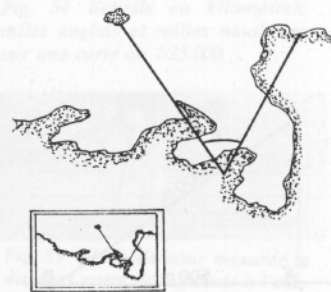


Fig. 43

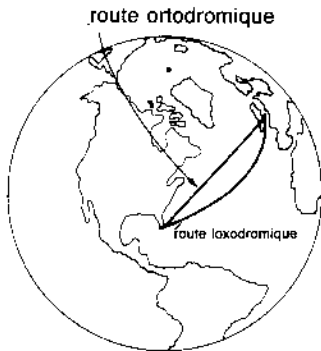


Fig. 44 Route orthodromique et route loxodromique entre Londres et Miami.

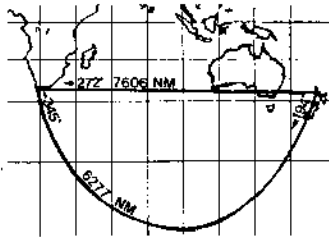


Fig. 45 Route orthodromique et route loxodromique sur une carte de Mercator où la loxodromie est une droite.

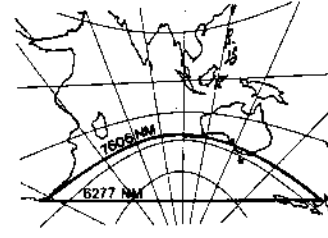


Fig. 46 Les mêmes routes que sur la figure 45 mais sur une carte où l'orthodromie est une droite.

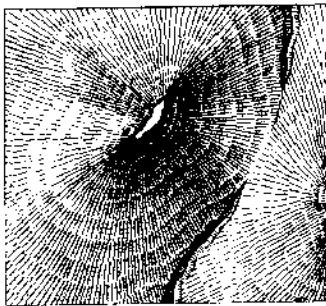
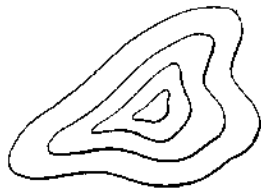


Fig. 47 En haut représentation du relief par des courbes de niveau et en bas par des hachures.

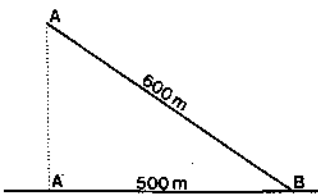


Fig. 48

La représentation des reliefs

Lorsque l'on utilise une carte il est important de savoir comment le relief est représenté (fig. 47). Certaines cartes utilisent les courbes de niveau, reliant les points de même altitude au dessus du niveau de la mer. D'autres cartes utilisent des couleurs différentes selon l'altitude et enfin il existe des techniques de dessin à hachure pour donner une idée du relief. La distance verticale entre une courbe de niveau et la suivante est appelée équidistance. Elle peut varier du mètre à 100 mètres ou plus selon l'échelle de la carte. L'inclinaison d'une pente est mesurée en degrés (de 0° à 90°). A une inclinaison de 0° correspond une pente de 0, à 45° une pente de 100% et à 90° une pente infinie. Remarquez que les distances mesurées sur la carte sont des distances planimétriques alors que les distances réelles dépendent de la pente. Dans l'exemple de la figure 48 la distance AB (600m) est représentée par sa projection A'B sur le plan horizontal, soit à peine 500m. Il faut donc tenir compte de la pente en calculant les distances.

Familiarisation

Pour bien utiliser une carte il faut se familiariser avec les symboles. Il faut s'entraîner à se faire une idée précise du terrain observer l'hydrographie, l'altimétrie et les repères remarquables et estimer les distances à partir de l'échelle. En mesurant 5 cm sur une carte au 50.000 on doit être capable de visualiser cette distance comme 2.500 mètres. En fin il est utile d'évaluer les angles avec une certaine précision sans utiliser d'instruments.

Orientation de la carte

Une des opérations fondamentales dans une situation réelle est d'orienter la carte. Ceci peut se faire en réalisant la coïncidence entre un point de la carte et le même point sur le terrain, ou encore en utilisant une boussole. Dans ce cas il suffit que l'aiguille soit parallèle aux méridiens, le pôle nord de l'aiguille dirigé vers le nord de la carte (fig. 50). Si la déclinaison magnétique est importante on en tiendra compte de telle sorte que l'angle entre l'aiguille et le méridien soit égal à la déclinaison (fig. 51). Quand on observe ou que l'on se déplace dans une certaine direction, il est conseillé de tenir la carte pour qu'elle soit en coïncidence avec la réalité (fig. 52). On s'entraînera à ne pas avoir systématiquement le nord en haut et le noms à l'endroit. Pour connaître les particularités du terrain en partant de la carte, ou réciproquement, une orientation correcte est indispensable. La qualité principale d'un bon navigateur est de pouvoir effectuer rapidement ces opérations avec un minimum de références extérieures.

Mesure des distances sur la carte

La distance sur la carte est mesurée en cm au moyen d'une règle puis on en déduit la distance réelle en tenant compte de l'échelle. Il est cependant possible de fabriquer une règle graduée donnant directement la distance réelle. Avec une carte au 1/600.000 sur laquelle 0,833 cm cor-

respond à 5 km il est facile de créer une échelle de 5 en 5 km. Remarquons que les cartes comportant une graduation en latitude sont de ce fait graduées en milles marins puisque une minute de latitude est pratiquement égale à un mille (fig. 53). En général des échelles en milles marins, miles anglais et kilomètres sont indiquées au bas des cartes (fig. 54). Pour effectuer des mesures de distance sur les cartes on utilise aussi le compas à pointes sèches en comparant l'ouverture aux échelles. La figure 55 montre comment utiliser la partie de l'échelle comportant des sous-divisions pour améliorer la précision de lecture. Lorsque le déplacement en latitude est très important on utilisera l'échelle à une latitude moyenne. Pour mesurer des lignes courbes on utilisera un curvimètre, instrument muni d'une roulette et d'un compteur de tours, permettant de suivre facilement un parcours sur la carte. Le curvimètre est souvent gradué en kilomètres en fonction de l'échelle de la carte. Pour des applications particulières on peut imaginer des règles avec toute autre graduation, y compris pas ou temps de parcours si la vitesse est constante (fig. 58).

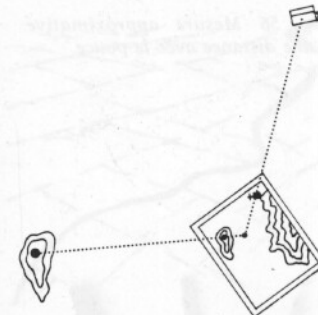


Fig. 49 Orientation d'une carte à partir des points remarquables sur le terrain.

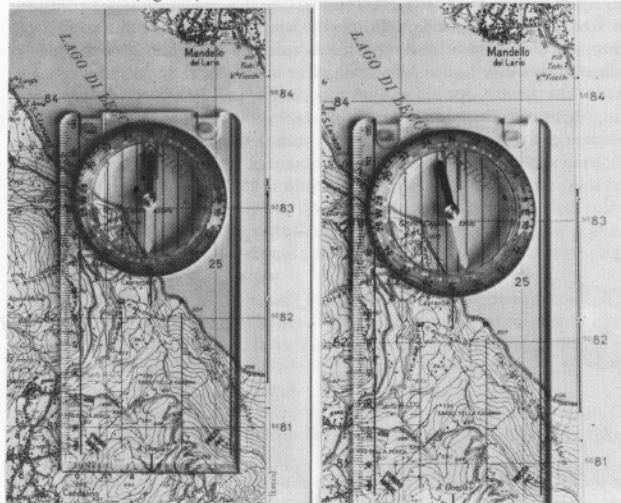


Fig. 50 A gauche orientation d'une carte à l'aide d'une boussole dans un lieu de déclinaison nulle. L'aiguille est parallèle aux méridiens. Fig. 51 A droite orientation d'une carte avec une déclinaison de 12° W.

Mesure des angles sur les cartes

Pour mesurer les angles sur les cartes on utilise le rapporteur qui peut se présenter sous des formes très diverses et être muni d'accessoires rendant l'utilisation plus aisée suivant les utilisations. Mais il comporte toujours un cercle gradué sur lequel on effectue les mesures. Si on veut mesurer des angles de route, des azimuts ou d'autres angles relatifs au nord géographique, on met le rapporteur avec les graduations 360° — 180° le long d'un méridien ou parallèle à un méridien, avec le 0 dirigé vers le nord. Pour mesurer l'azimut d'un ou plusieurs endroits éloignés du point A, on trace des lignes qui unissent A et les susdits endroits. Avec le rapporteur en direction nord (fig. 59). Attention! Les cartes ne reproduisent pas les lignes qui unissent les points à un azimut égal, comme si elles étaient des lignes droites. A moins qu'on ne dispose pas de cartes azimutales, la méthode ne peut être utilisée que pour des distances petites, dans l'ordre de quelques dizaines ou centaines de kilomètres à des latitudes moyennes. Sur des cartes qui rectifient la loxodromie (comme celle de Mercator) on mesure l'angle de route entre A et B en traçant la route et mesurant l'angle qu'elle forme en direction

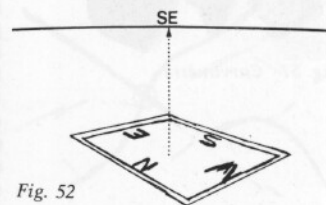


Fig. 52



Fig. 53 Une minute d'arc sur un méridien quelconque correspond à un mille nautique (1,852 km).

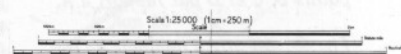


Fig. 54 Echelle en kilomètres, miles anglais et milles nautiques sur une carte au 1/25.000.

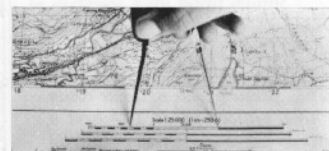


Fig. 55 Méthode pour mesurer la distance entre deux points à l'aide d'un compas à pointes sèches.

Fig. 56 Mesure approximative d'une distance avec le pouce.

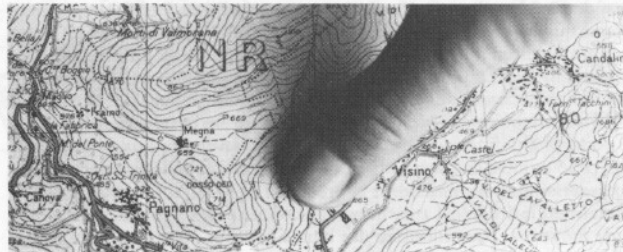


Fig. 57 Curvimètre

nord, c'est à dire avec un méridien dans n'importe quel point (fig. 60). Sur des cartes qui ne rectifient pas la loxodromie mais qui en principe rectifient l'orthodromie (comme celle de Lambert ou la gnomonique) on est obligé de mesurer l'angle de route à moitié parcours entre A et B (si le parcours n'est pas très long). Si traites et mesurer l'angle de route à moitié de chaque traite (fig. 61). Une des applications pour mesurer l'angle sur les cartes est le schéma azimutal ou table d'orientation. Supposez que nous voulons mettre dans un certain endroit une plaque indiquant les directions dans lesquelles se trouvent des endroits signifiants. On mesure les azimuts des endroits, partant du point en question (bien qu'ils ne soient pas très distants) et on prépare la plaque (fig. 62). Si le schéma azimutal doit représenter l'azimut des endroits très distants, on utilise une carte azimutale.

Fig. 58 A droite règle pour mesurer des distances sur des cartes au 1/25.000 pour un marcheur ayant une longueur de pas de 64 cm. A gauche règle pour calculer sur des cartes au 1/100.000 les temps de parcours d'un navire filant 7 noeuds.

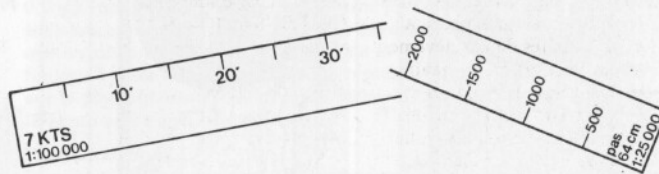


Fig. 59 Mesure des azimuts des points B, C et D par rapport à A.

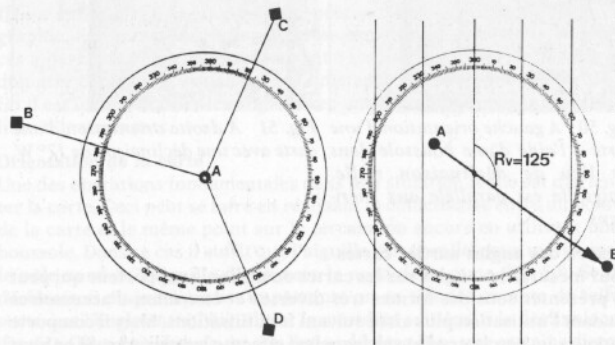


Fig. 60 Mesure d'un angle de route sur une carte de Mercator.

Fig. 61 Mesure des angles de route sur une projection de Lambert à partir du point moyen. Si besoin on partage la route en plusieurs parties.

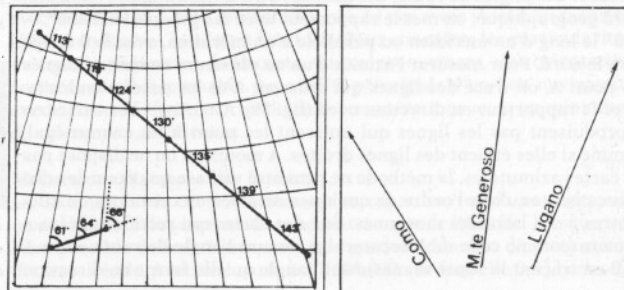


Fig. 62 Table d'orientation.

Le point

Comment indiquer une position?

On peut, s'il existe, donner le nom du lieu mais également préciser les coordonnées géographiques (latitude et longitude), ou encore les coordonnées polaires c'est à dire la distance et l'azimut à partir d'un point connu.

Le lieu géométrique

Le problème majeur du navigateur est de fixer sa position. La méthode la plus simple consiste évidemment à se référer à des points connus, ou facilement identifiables, mais comme ceci n'est pas toujours le cas on procède alors autrement. Toute ligne remarquable (Chemin de fer, rivière, côte, azimut d'un point connu etc.), rencontrée par le navigateur sera considérée comme un lieu géométrique. Faire le point consiste alors à fixer sa position sur ce lieu géométrique, ce qui peut être réalisé de différentes manières. Par exemple, quand on se trouve sur une route et que l'on connaît la distance à un lieu donné, le problème est résolu. Le point de rencontre de deux lieux géométriques fixe également la position (fig. 63 et 64) comme c'est le cas lorsque l'on relève simultanément l'azimut de deux repères connus.

Le point par deux relèvements

La position d'un point sur la terre est définie si l'on connaît en ce point les azimuts de deux autres points connus (fig. 65).

Premier exemple (fig. 66): on se déplace le long d'une côte et on relève au même moment le phare A au 30° et le château B au 320° . En portant sur la carte les deux relèvements inverses ils se couperont en un point qui est la position du navire.

Deuxième exemple: on relève un phare au 85° et, par une méthode que nous décrirons plus loin, on mesure sa distance. On porte sur la carte le relèvement inverse du phare vers la bateau puis on trace un cercle de rayon égal à la distance centré sur le phare. Le navire est à l'intersection de la droite et du cercle.

A bord des navires et des avions se trouvent des instruments de radio-navigation qui indiquent la direction de provenance des signaux transmis par des radiophares.

Premier exemple: le radiophare A nous relève au 245 et B au 170 , ce qui se lit directement sur un instrument de bord. La position est donnée par l'intersection des deux relèvements (fig. 68).

Deuxième exemple: étant en avion nous croisons une ligne de chemin de fer et au même moment nous sommes relevés au 135 par un radiophare (fig. 69). La position est évidemment à l'intersection de la ligne de chemin de fer et du relèvement.

Troisième exemple: nous nous trouvons en montagne sur une ligne de côte et nous n'avons pas de boussole. L'altimètre indique 1250 mètres (fig. 70). Au moment du midi vrai local on remarque que le soleil est juste au dessus d'un pic remarquable ce qui nous donne la direction exacte du sud. Nous sommes donc au nord de ce pic sur la ligne de côte ci-dessus.

Il faut s'efforcer d'obtenir des intersections de lieux géométriques avec des angles aussi grands que possible, l'idéal étant 90° . Des angles petits doivent être évités puisqu'une faible erreur dans la mesure de l'angle peut entraîner un écart important dans la position (fig. 71).

Le point astronomique

Il est possible de définir sa position sur la terre en observant la hauteur des astres sur l'horizon. Un moyen simple d'obtenir la latitude est d'observer la hauteur de l'étoile Polaire, comme nous l'avons indiqué plus haut.

On peut aussi mesurer la hauteur d'un astre au moment où il passe au méridien et en déduire la latitude par la formule:

$$L = (90^\circ - H) + D$$

avec L=latitude, H=hauteur et D=déclinaison.

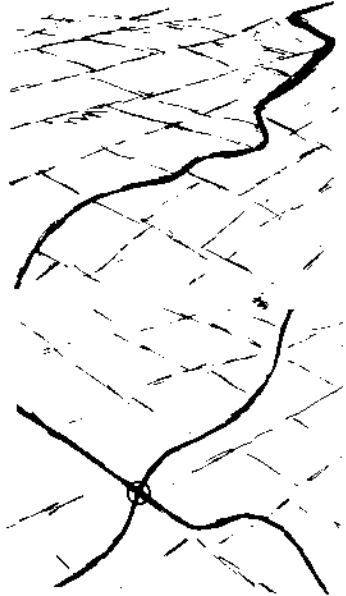


Fig. 63 En haut une ligne de chemin de fer représente un lieu géométrique. En bas l'intersection de 2 lieux géométriques donne le point.

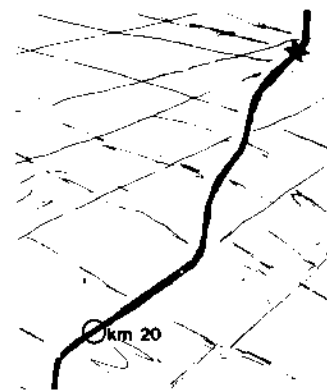


Fig. 64 On obtient aussi la position à partir d'un lieu géométrique et de la distance à un point connu.

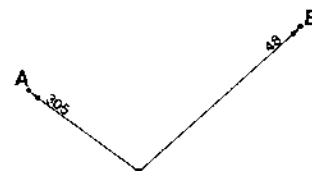


Fig. 65

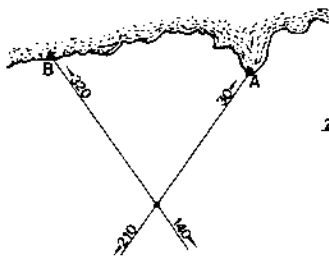


Fig. 66

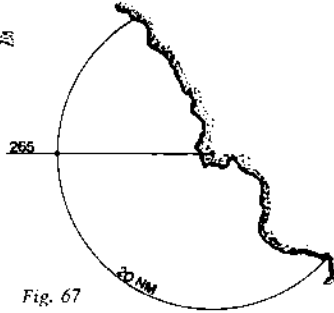


Fig. 67

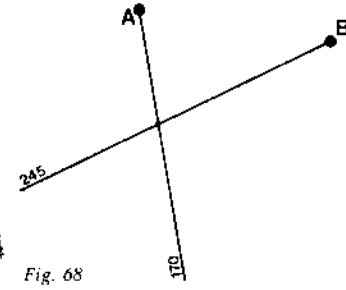


Fig. 68

Exemple: on mesure la hauteur méridienne de Pollux, soit 73° , dont la Déclinaison est 28° . On en déduit $L = 17 + 28 = 45^\circ$.

Pour le soleil on prendra sa déclinaison dans un annuaire en fonction de la date et on observera à midi vrai.

La détermination de la longitude n'a été possible qu'avec l'invention des garde-temps au 18^e siècle. En effet si un cadran solaire donne l'heure locale il ne donne aucune indication sur le décalage horaire, c'est à dire le décalage en longitude, par rapport au méridien de référence. C'est pourquoi des cartes précises n'ont pu être établies que le jour où les marins ont pu embarquer des chronomètres conservant l'heure de Greenwich pendant des mois ou des années.

Le point peut être obtenu on mesurant la hauteur des étoiles sur l'horizon par moyen d'un sextant, mais nous n'indiquerons ici que le principe du point astronomique car son utilisation demande beaucoup de pratique. A un instant donné un astre peut être vu à la même hauteur sur l'horizon depuis tous les points situés sur un cercle centré sur le point de la terre où cet astre est au zénith et dont le rayon est égal à la hauteur zénithale (fig. 72). Si l'on observe un deuxième astre on obtient donc deux cercles de hauteur qui se coupent en deux points dont l'un est la position de l'observateur. L'ambiguïté entre les deux points est facile à lever car les distances sont énormes et l'on connaît toujours sa position estimée. En fait on trace sur la carte les tangentes au cercle de hauteur, appelées droite de hauteur, au voisinage du point estimé et leur intersection donne le point.

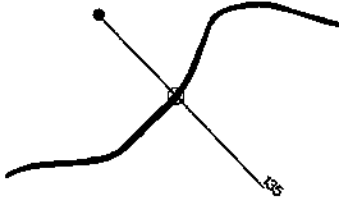


Fig. 69

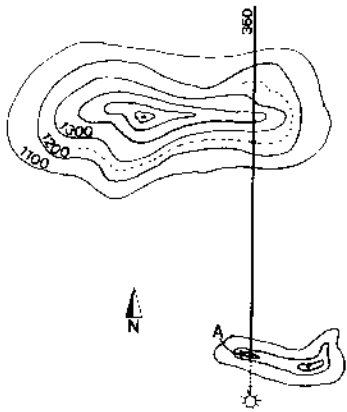


Fig. 70

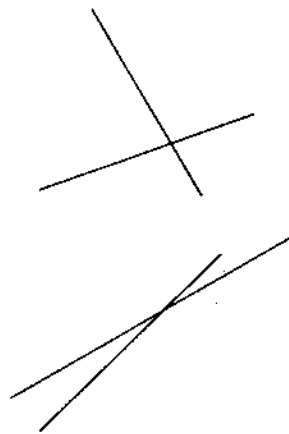


Fig. 71 En haut, recouvrement correct de 2 relèvements. En bas, mauvais recouvrement.

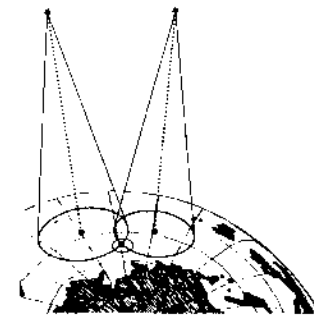


Fig. 72 Le point donné par l'intersection de 2 cercles de hauteurs.

Suivre des routes déterminées à l'avance

Le navigateur sera souvent obligé de suivre une succession de routes pour aller d'un point à un autre. Cela peut être dû à des règles de sécurité ou encore au relief et à des dangers divers qu'il convient d'éviter. En général le navigateur sera en contact visuel ou radio avec les balises marquant les points de départ et d'arrivée. Les codes suivant sont utilisés en radio:

QUJ: route vraie d'approche de la station.

QTE: route vraie d'éloignement de la station.

QDM: route magnétique d'approche de la station.

QDR: route magnétique d'éloignement de la station.

Prenons l'exemple d'une situation typique en navigation aérienne (fig. 73): pour arriver à l'aéroport l'avion doit rejoindre le point A, puis il doit suivre une route magnétique d'approche au radiophare B de 272° (QDM = 272°), jusqu'à ce qu'il se trouve sur la route magnétique d'approche du radiophare C de 238° (QDM = 238°). De ce point il doit suivre cette route jusqu'à l'aéroport. Les avions disposent de goniomètres et autre récepteurs qui leur permettent de vérifier constamment leur route (fig. 74) en effectuant si besoin de petites corrections de cap. Une route obligatoire peut souvent être maintenue grâce à l'alignement de deux références alignées avec la direction désirée (fig. 75).

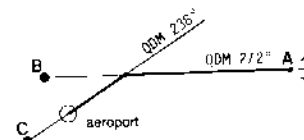


Fig. 73

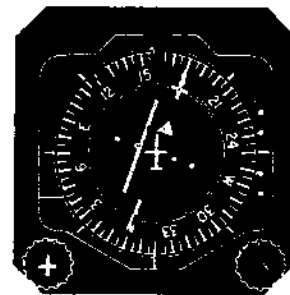


Fig. 74 Instrument moderne de navigation aérienne donnant la position, dite radiale, par rapport à un radiophare. Sur le cadran sont figurés le cap de l'avion et la trace de radiales pré-sélectionnées.

Methodes de navigation

La navigation observée

La navigation est dite observée lorsqu'un contact permanent est maintenu avec des repères connus. C'est le cas de la navigation en vue de terre ou en avion si l'on survole une route. La navigation observée est la plus simple mais elle suppose des repères nombreux qui ne sont pas toujours disponibles, de sorte qu'elle n'est pas considérée comme une méthode fondamentale.

La navigation estimée

Dans ce cas la position est estimée en fonction de la route suivie, de la vitesse et de la durée. Par exemple un navire doit aller de A à l'île B, en évitant la zone représentée sur la figure 76. La vitesse est de 8 noeuds (15 km/h). La route est divisée en deux tronçons (AC et CB) et pour chacun d'eux il faut connaître le temps de parcours. Le tronçon AC est long de 120 kms, soit 8 heures à 15 kms/h, tandis que CB fait 150 kms, soit 10 heures de route. La côte étant perdue de vue peu après le départ on naviguera à l'estime au 197° pendant 8 heures et au 163° pendant 10 heures. Le point C est un point estimé. En pratique on tiendra compte de l'incertitude sur les différents éléments de l'estime, soit la vitesse, la tenue du cap, la déclinaison, la dérive, ce qui en fait une navigation assez difficile. On voit que toutes ces erreurs provoquent une incertitude qui va en augmentant avec le temps de parcours d'où l'importance de bien connaître chaque élément en particulier et d'effectuer des contrôles à chaque fois que possible. Les deux appareils de base sont le compas magnétique et le chronomètre. Dans la préparation d'un itinéraire on s'efforcera de trouver des points intermédiaires permettant de contrôler la position. Malgré tous les appareils modernes existant aujourd'hui la navigation estimée reste fondamentale et indispensable en cas de défaillance du matériel. Enfin elle apporte beaucoup de satisfaction à celui chargé de la conduire.

Navigation par relèvement

Il s'agit d'une navigation estimée contrôlée périodiquement par des relèvements optiques ou radio.

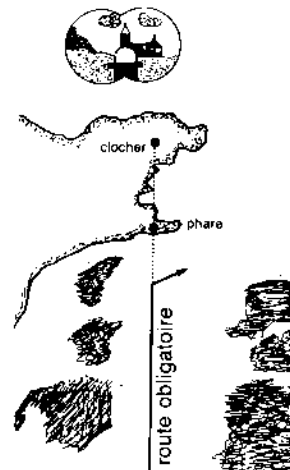


Fig. 75

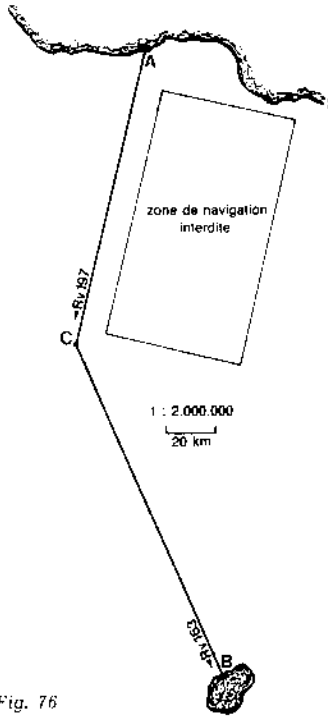


Fig. 76

Exemple d'une navigation mixte

Prenez l'exemple d'un excursionniste effectuant une navigation qui illustrera les différentes méthodes exposées. On se trouve dans une zone de forêt épaisse avec des hauteurs et des marais. Partant du point A (fig. 77) on doit atteindre le passage F en évitant la zone de marais indiquée par la carte. A cause des nuages on ne voit pas les sommets. On décide de suivre la rivière jusqu'au point B de tourner vers le sud-est et de continuer jusqu'à C, en suivant la route au compas et en comptant les pas pour avoir la distance parcourue. Ensuite on continuera de C à D et de D à E suivant le même principe. Si la visibilité était meilleure on pourrait effectuer une navigation observée à l'aide des sommets a et b, mais pour le moment on se prépare à une navigation estimée. En pratique la navigation se déroule de la manière suivante: on suit la rivière jusqu'en B puis, compas à la main et podomètre à la ceinture, on reste au cap 220° sur une distance de 2400 pas, soit 1400 mètres. On s'estime alors au point C et on continue au 275° pour une distance prévue de 6600 mètres. Mais après avoir parcouru 7500 pas, donc au point estimé C', la visibilité s'améliore permettant le relevement des sommets a et b que l'on porte sur la carte. On obtient une position en C'' permettant de corriger la route au 290° vers D. Puisque a est visible on continue jusqu'à relever ce sommet au 350° , route que l'on suit à vue pour arriver en E puis en F par bonne visibilité. Au cours de ce trajet nous avons donc effectué une navigation observée de A à B, estimée de B à C', relevée C' à D et observée ensuite. On retrouve des situations analogues en bateau et en avion.

La préparation de la route

Définition de la route

En réalité il est presque toujours impossible de suivre une route directe d'un point à un autre pour des raisons évidentes qui tiennent à la nature du terrain, à la météo, à la réglementation... etc. Le travail du navigateur est de déterminer le meilleur parcours possible en respectant les règles suivantes:

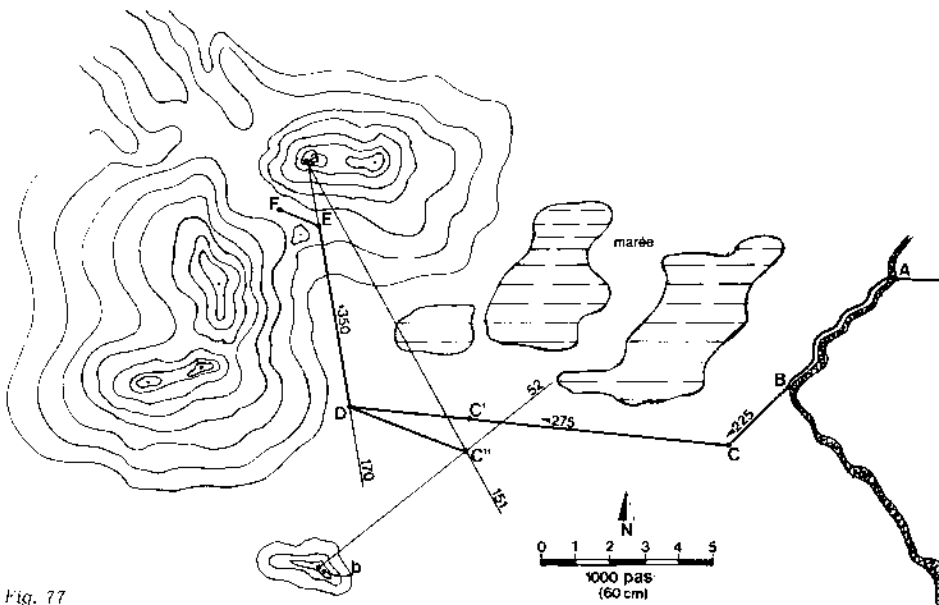


Fig. 77

| | ROUTE VRAIE | D | ROUTE MAGNETIQUE | DISTANCE PARTIALE PNS | DISTANCE PARTIALE METRES | DISTANCE TOTAL METRES | VITESSE m/h | TEMPS PARTIAL (min) | TEMPS TOTAL (min) |
|----|----------------|-----|---------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------|---------------------------|-------------------------|
| AB | -4° | - | - | 4.800 | 2.880 | 2.880 | 3000 | 58' | 58' |
| BC | 225° | -4° | 229° | 2.400 | 1.660 | 4.320 | 4.000 | 22' | 1.20' |
| CD | 275° | -4° | 279° | 11.000 | 6.600 | 10.920 | 4.000 | 39' | 2.59' |
| DE | 350° | -4° | 354° | 5.283 | 3.170 | 14.090 | 3.500 | 54' | 3.53' |
| EF | -4° | - | - | 1.200 | 720 | 14.810 | 2.000 | 22' | 4.45' |

Fig. 78

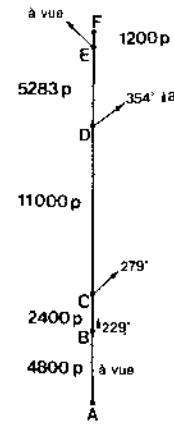


Fig. 79.

1. **Securite.** Eviter les obstacles et les terrains dangereux. Le parcours ne doit pas présenter de difficultés qui dépasseraient les capacités des participants, et doit pouvoir être réalisé avec les réserves de vivres et de matériel dont on dispose.
 2. **Regulation.** Principalement en navigation aérienne et maritime mais aussi en d'autres domaines. Le navigateur doit se renseigner sur ce point.
 3. **Meteorologie.** Le choix du parcours tiendra compte des prévisions météo et son évolution.
 4. **Economie.** De temps et de carburant suivant le prix dans les endroits d'approvisionnement possibles.
- De tout cela il résulte que le parcours final sera une ligne brisée effectuée en plusieurs étapes.

Etude de la route

Une fois la route déterminée il faut la tracer sur la carte et l'étudier en détail. Il faut imaginer le paysage, en visualisant les différents aspects tels qu'ils se présenteront à nous, sur l'avant mais aussi sur la droite et sur la gauche. On retiendra les noms connus et les angles sous lesquels se couperont les chemins, les rivières... etc, ainsi que le temps approximatif de parcours d'un point à un autre. Cette phase de familiarisation est importante en cas d'événement imprévu nécessitant une décision rapide.

Le tableau de marche

Si besoin on établira un tableau de marche. Prenons l'exemple de la randonnée décrite en fig. 77. Pour chaque partie du trajet il est utile de mentionner route vraie et route magnétique, la longueur en pas et en mètres et le temps estimé du parcours (fig. 78). On peut utiliser le "petit plan de Dufour", d'après le nom du général français qui l'a inventé (fig. 79). Toutes les portions de trajet sont reportées sur une droite indéfinie. A chaque point de changement de route on trace une petite flèche orientée avec l'indication de la nouvelle route magnétique. Sur le parcours sont indiqués tous les éléments remarquables tels que relief, distance, temps, relèvements possibles... etc. On portera aussi les consommations prévues de carburant. Si on se déplace sur mer ou en l'air on tiendra compte des vents et des courants. A titre d'exemple nous représentons un tableau de marche concernant le trajet aérien de Côme à Turin Caselle (fig. 80). Les fractions de trajet sont étudiées en fonction des restrictions de navigation aérienne dans le nord de l'Italie, des routes obligatoires dans la partie finale du parcours, des radiophares et repères visuels facilement identifiables et des aéroports accessibles en cas d'urgence.

| NAVIGATION PREFLIGHT CALCULATIONS | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|------|-----|-----|--------|-------|--------|--------|-----|-------|
| FLY | WIND | TH | VAR | MH | CH | GS | DIST. | ETE | FUEL |
| 1 | 225 | 229 | -4 | 2.400 | 2.880 | 2.880 | 2.400 | 10 | |
| 2 | 275 | 279 | -4 | 11.000 | 6.600 | 10.920 | 11.000 | 8 | |
| 3 | 350 | 354 | -4 | 5.283 | 3.170 | 14.090 | 5.283 | 5 | |
| 4 | -4 | - | - | 1.200 | 720 | 14.810 | 1.200 | 5 | |
| TOTAL | | | | | | | | | 38.00 |

VFR enroute flight log

From: _____ Altitude: _____ Wind: _____

| TAKOFF TIME | STEP | ETA |
|-------------|------|-----|
| | | |

| CRUISE - CRUISE DATA | | | |
|----------------------|-----|------|-----|
| CLIMB | 1st | 2nd | 3rd |
| ALTITUDE | 085 | 2500 | 25 |
| CRUISE | 110 | 2400 | 22 |
| POWER | | | |
| ATTITUDE | | | |

| ENROUTE FLIGHT LOG | | | |
|--------------------|---------------|-----------|-------|
| STEP | ROUTE | ESTIMATED | TOTAL |
| 1 | COMO | 062 | 10:00 |
| 2 | SESTO CALENDE | 250 | 08:00 |
| 3 | ROMAGNANO | 245 | 07:00 |
| 4 | BIELLA | 265 | 05:00 |
| 5 | IVREA | 180 | 04:00 |
| 6 | CHIVASSO | 192 | 04:00 |
| 7 | CASELLE | | |

| FUEL LOG | | | | | | |
|----------|------|------|------|-------|---------|---------|
| FUEL | DATE | TIME | TYPE | TOTAL | RESERVE | REMARKS |
| | | | | | | |

Fig. 80 Préparation d'un vol Côme-Caselle. Les cases blanches sont celles que le pilote doit remplir pour contrôler le vol.

Problèmes de topographie

Détermination des distances et des hauteurs par des mesure angulaires

C'est un problème classique de topographie et sa solution peut être utile au navigateur. Il s'agit de déterminer la distance AC d'un objet que l'on ne peut pas atteindre, par exemple la tour de la figure 81. Une méthode très simple consiste à marcher perpendiculairement à la direction AC jusqu'à ce que l'angle ABC soit égal à 45° . A ce moment il suffit de mesurer la distance AB qui est égale à AC. En pratique on peut toujours trouver AC en disposant d'une base de n'importe quelle dimension, comme AB de l'exemple. En effet il suffit de connaître deux angles et un côté (fig. 82). C'est cette méthode que l'on utilise aussi pour mesurer la hauteur d'un objet inaccessible, en faisant appel à la trigonométrie et à la géométrie (fig. 83). Applications pratiques: étant au sommet d'une colline A (fig. 84), on veut déterminer la distance du sommet de la colline B sur laquelle se trouvent des pins dont la hauteur est estimée à 15 mètres. La mesure de l'angle sous-tendu par l'un des pins permet d'avoir la distance, puisque l'autre angle est droit. Les cartes marines donnent la hauteur des phares au dessus de la mer ce qui permet d'avoir leur distance en mesurant l'angle correspondant. En topographie on peut rencontrer des problèmes plus compliqués qui se ramènent toujours à résoudre des triangles comme ci-dessus ou des quadrilatères (fig. 85). Pour mesurer les angles sur le terrain on utilise le cadran azimutal, le théodolite et le sextant. Pour mesurer un angle de 45° ou de 90° on peut utiliser l'équerre d'arpenteur (fig. 86), instrument de forme sphérique ou octogonale, muni de fentes à travers lesquelles on vise les objets.

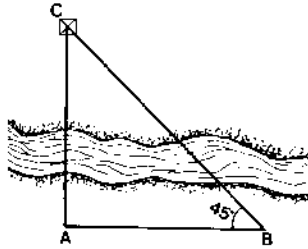


Fig. 81

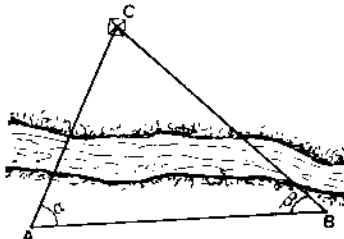


Fig. 82

Fig. 83 La hauteur de la tour peut être calculée connaissant la distance AB et l'angle α ou encore la distance CD et les angles α et β .

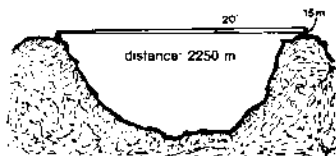
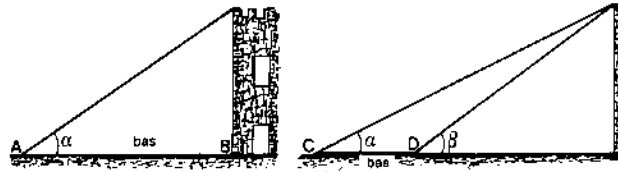


Fig. 84

Détermination de la verticale et de l'horizontale

La verticale est donnée par le fil à plomb, dont on peut amortir les oscillations en faisant tremper le poids dans un liquide. Pour obtenir un plan horizontal on utilise le niveau à bulle.

Inclinaison d'un plan

Pour mesurer l'inclinaison on se sert d'un clinomètre qui n'est rien d'autre qu'un demi-cercle gradué avec un fil à plomb indiquant la verticale et permettant d'effectuer la lecture (fig. 87).

Mesure des distances sur le terrain

Si la distance est faible on utilisera un ruban métallique ou en textile gradué, un décimètre ou une chaîne. Si deux décimètres sont mis bout-à-bout on veillera à ce qu'ils soient bien jointifs et bien alignés. Les mesures seront effectuées sur des plans horizontaux, ce qui peut nécessiter d'opérer par paliers (fig. 88). Rappelons que la distance AB est toujours donnée par sa projection A'B' sur l'horizontale. Actuellement il existe des instruments radio-électriques permettant des mesures de distance par réflexion des ondes sur une stadia disposée convenablement.

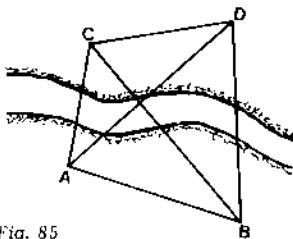
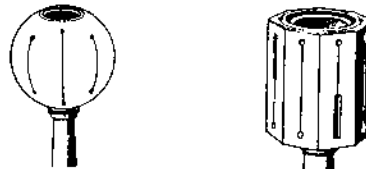


Fig. 85

Fig. 86 Equerre d'arpenteur permettant de viser des points vus sous des angles de 45° ou de 90° .



Relèvement planimétrique

Effectuer un relevé planimétrique consiste à fixer la position d'un certain nombre de points qui définissent la forme d'une zone déterminée. Pour de petites surfaces on emploie la méthode goniométrique. La station est installée à l'intérieur de la zone et les angles lus au cadran azimutal (fig. 89); puis les distances de la station à chaque point sont mesurées au décimètre. Le relevé effectué permet de dresser une carte de la zone. Une autre méthode consiste à aligner des décimètres entre deux points pour avoir leur distance. Dans le cas de la figure 90 il est nécessaire de mesurer une diagonale. En effet un polygone ramené à une somme de triangles est défini dès que trois éléments (côtés et angles) d'un des triangles et deux éléments du suivant sont connus. Dans un quadrilatère divisé en 2 triangles il faut donc connaître 3 + 2 éléments, par exemple tous les côtés et une diagonale ou encore 3 côtés de l'un des triangles et un côté et un angle de l'autre. Si la surface a une forme très irrégulière (fig. 91) on peut construire une figure interne régulière, par exemple un quadrilatère à l'aide de l'équerre d'arpenteur ou du cercle azimutal. On mesure ensuite au décimètre les distances d'une série de points du pourtour à partir des côtés du quadrilatère, comme indiqué sur la figure. Un instrument typique de relevés topographiques est la planchette prétorienne, inventée par J. Praetorius au 16^{ème} siècle (fig. 92). Elle est constituée d'une table montée sur un trépied et de différents accessoires tels que niveau, fausse équerre, boussole, qui permettent d'effectuer des relevés à partir d'un seul point, ou de plusieurs points. Pour le relevé de zone de surface moyenne ou grande les méthodes utilisées sont pratiquement les mêmes que ci-dessus, notamment la triangulation, mais il faut tenir compte de facteurs tels que la courbure de la terre.

Fig. 89 Relèvement planimétrique par la méthode goniométrique.

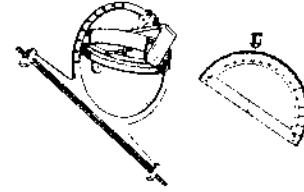
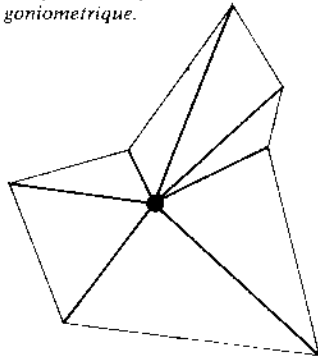


Fig. 87 A gauche, un clinomètre. A droite un compas de mine avec clinomètre, suspendu à un câble dans une galerie.

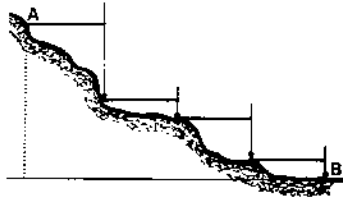


Fig. 88 Pulier

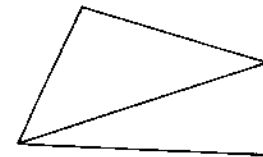


Fig. 90

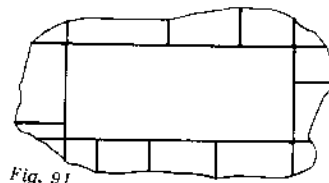


Fig. 91

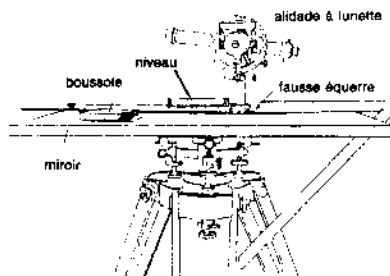


Fig. 92 "Planchette prétorienne" avec alidade et lunette.

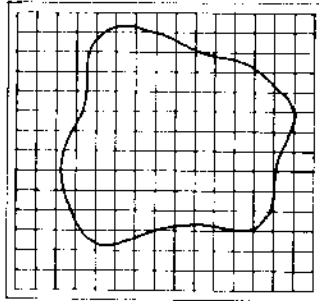


Fig. 93 Réseau de Bamberg.

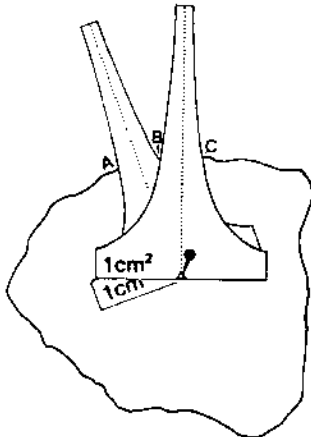


Fig. 94 Utilisation de l'équerre hyperbolique.

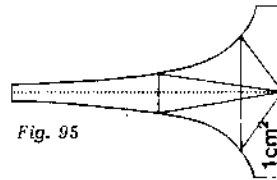
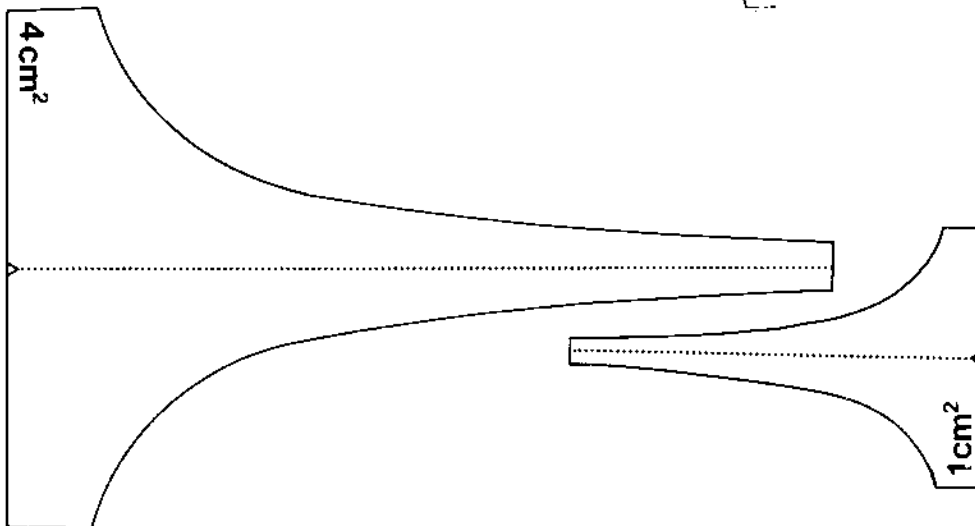


Fig. 95

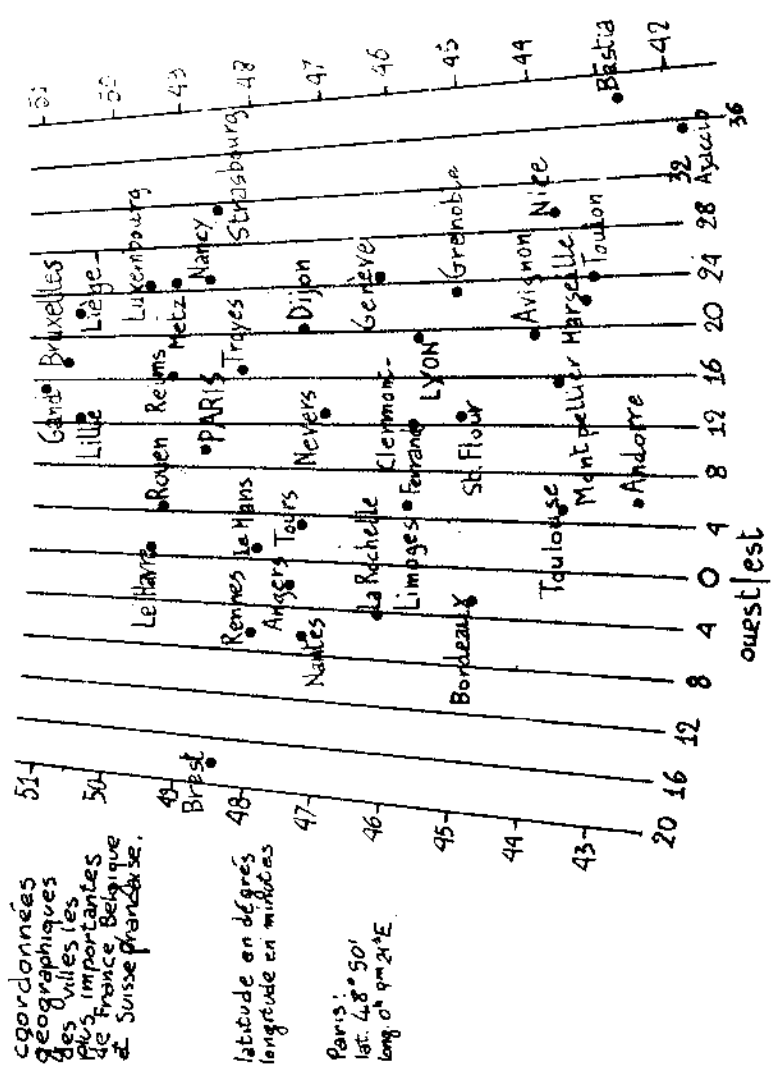


Relèvement altimétrique

Le relevé altimétrique permet de mesurer la différence d'altitude entre deux points et, d'une manière générale, d'établir les lignes de cotes. Il existe différentes méthodes de précision variable, l'usage d'un altimètre n'étant pas la meilleure. En effectuant des paliers, comme déjà mentionné plus haut, on peut réaliser un relevé altimétrique.

Mesurer une surface sur la carte

Pour mesurer une surface sur la carte on utilise un réseau ou un planimètre dont nous décrivons deux modèles à titre d'exemple. Le réseau de Bamberg est une plaque millimétrée transparente que l'on applique sur la carte. On compte alors le nombre de petits carrés entiers et on évalue le nombre de carrés partiels. Enfin on passe de la surface ainsi trouvée à la surface réelle en tenant compte de l'échelle de la carte. Pour une carte au 1/1000 on aura $1 \text{ mm} = 1 \text{ mètre}$ et $1 \text{ mm}^2 = 1 \text{ mètre carré}$ mais à l'échelle 1/25.000 on aura $1 \text{ mm} = 25 \text{ mètres}$ et $1 \text{ mm}^2 = 25 \times 25 = 625 \text{ mètres carrés}$. Une autre méthode consiste à utiliser une équerre hyperbolique dont on a prévu deux exemplaires à titre de modèles pouvant être décalqués ou découpés. Pour mesurer une surface on procède comme suit: Fixez l'équerre à l'aide d'une épingle au centre approximatif de la figure et notez le segment AB sur le contour (Fig. 94), puis en continuant à tourner marquez successivement les segments BC, CD... jusqu'à revenir en A. Si la coïncidence avec A n'est pas exacte il faut estimer la valeur du dernier segment. Enfin on multiplie le nombre de segments par la surface unitaire portée sur l'instrument. Le principe repose sur la propriété de l'hyperbole de déterminer des triangles de surface égale lorsqu'ils sont inscrits entre les branches de la courbe (fig. 95).

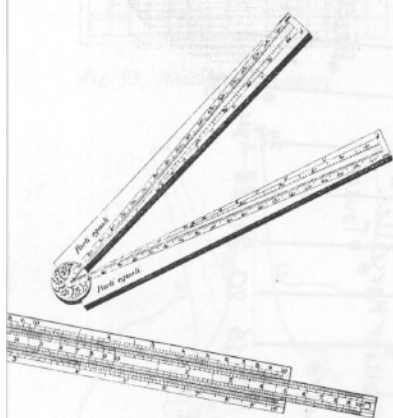


INSTRUCTIONS POUR L'EMPLOI DES INSTRUMENTS LES INSTRUMENTS DE CALCUL

La règle à calcul

Aperçu historique et technique

La règle à calcul du kit est une règle logarithmique circulaire. Inventée au début du XVII^{ème} siècle. Elle est plus connue dans sa version rectiligne. La règle circulaire présente l'avantage d'une échelle continue de longueur maximum dans un minimum d'espace. Grâce à leur rapidité d'emploi les règles logarithmiques sont encore très utilisées aujourd'hui dans des secteurs comme l'aviation. En effet un pilote n'a pas besoin d'une grande précision mais d'un instrument fiable donnant rapidement un résultat. En cela la règle à calcul est encore de loin le meilleur instrument pour effectuer en quelques instants des multiplications et des divisions en chaîne et elle permet de résoudre beaucoup de problèmes comme nous le verrons par des exemples.



En haut, compas de proportion. En bas, règle logarithmique rectiligne. Ces deux instruments datent du siècle dernier. Le compas de proportion permet de faire des multiplications et des divisions, mais d'une manière assez laborieuse.

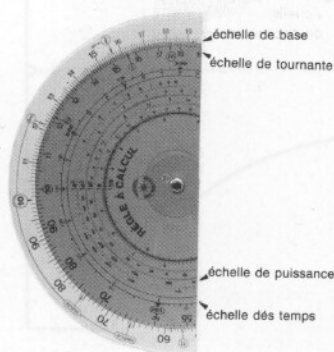
La règle à calcul est composée de deux échelles principale: une échelle de base et une deuxième échelle disposée sur le disque tournant de couleur verte. Sur ce disque on trouve aussi l'échelle de temps, en heures et minutes, et plus à l'intérieur celles des puissances et des inverses. Les deux échelles principales comportent une flèche au-niveau du 10. **Multiplications.** Pour faire une multiplication, on met la flèche mobile sur le multiplicande et on lit le résultat sur l'échelle de base, en correspondance avec le multiplicateur lu sur l'échelle tournante. Exemple: 14×30 . Flèche du disque sur 14 de l'échelle de base, le résultat 420 est lu sur l'échelle de base en face du 30 de l'échelle tournante. Avec une règle logarithmique l'ordre de grandeur du résultat doit être évalué à partir de l'ordre de grandeur de chacune des données. Ainsi 14×30 donnera 420 et non 42 ou 4200. Le produit $1,4 \times 3$ sera interprété comme donnant 4,2. Avec un peu d'habitude on évalue facilement l'ordre de grandeur du résultat. Remarquons qu'en maintenant la flèche sur 14 on lit immédiatement le résultat correspondant à n'importe quel multiplicateur.

Divisions. Pour faire une division on met le diviseur (échelle tournante) en correspondance avec le dividende (échelle de base fixe). Le résultat est indiqué par la flèche sur l'échelle de base. Exemple: $49:45 = 1,4$; $12:1,5 = 8$; $1,5:12 = 0,125$.

Puissance et inverse des nombres. En mettant l'arête du curseur sur un nombre de l'échelle a on pourra lire sur les échelles de la partie intérieure: les carrés (a^2), les cubes (a^3), la puissance 4 soit (a^4) et les inverses ($1/a$). Réciproquement en lisant un nombre sur a^2 , a^3 ou a^4 on obtiendra la racine carrée, cubique ou quatrième sur a. Exemples: $2^2 = 4$; $9^3 = 729$; $1^4\sqrt{16} = 2$.

Le curseur. Le curseur est utilisé dans les chaînes d'opération lorsque l'on n'a pas besoin des résultats intermédiaires. Exemple: calculer la surface d'un triangle de base (B) 16 et hauteur (H) 27 par la formule $S = (B \times H) : 2$. Flèche sur 16, arête du curseur sur 27 de l'échelle mobile, le résultat partiel qu'on n'utilise pas se trouve sur l'échelle de base, en maintenant fixe le curseur on fait alors tourner le disque mobile pour amener 20 sous l'arête puis on lit le résultat indiqué par la flèche sur l'échelle de base. En fait on a divisé par 2 le résultat partiel pour trouver 216.

Calculs faisant intervenir le temps. L'échelle des temps est divisée en heures et minutes. On utilise le curseur pour mettre en coincidence les temps avec les nombres de l'échelle de base.



Exemple: un navire a une vitesse de 17 noeuds (17 milles par heure). Quelle est la distance parcourue en 3 heures et 25 minutes? Flèche correspondant à 1 heure sur 17, l'arête du curseur sur 3h25m indique le résultat sur l'échelle de base, soit 58 milles.

Exemple: avec la même vitesse quel sera le temps nécessaire pour parcourir 6,5 milles? En coincidence avec 6,5 (65 sur l'échelle de base), on lit le temps sur l'échelle des temps du disque mobile, soit 23 minutes.

Exemples: un moteur a une consommation horaire de 24,5 litres. De combien de carburant aura-t-on besoin pour effectuer un voyage de 2h40m? Flèche sur 24,5, en coincidence avec 2h40m, on trouve 65 litres. Exemple: si en 34 minutes on parcourt 107 km, quelle est la vitesse moyenne? En mettant 34 de l'échelle des temps sous 107 de l'échelle de base on trouve 188 km en correspondance avec 1 heure.

Conversions. Les flèches indiquant des unités de mesure permettent d'effectuer des conversions. Ainsi pour convertir 28,6 milles nautiques en kilomètres on fait correspondre la flèche "nautical" avec 28,6 et la flèche km indiquera alors le résultat 53. Pour effectuer une série de conversions il convient de faire coincider la flèche "nautical" avec la flèche km, lue sur le disque mobile, de sorte qu'à chaque valeur en milles corresponde la valeur en km.

Exemples de problèmes pouvant être résolus avec la règle.

- Construire une règle indiquant directement les kilomètres sur une carte au 1/750.000? Cela revient à calculer la valeur d'un kilomètre en millimètres de la carte sachant que 1 cm = 7,5 km. En opérant comme ci-dessus on trouve 0,133 millimètre.
- Quelle est la longueur en mètre d'un parcours de 1500 pas de 64 cm de moyenne? On multiplie 1500 par 0,64 pour trouver 960 mètres.

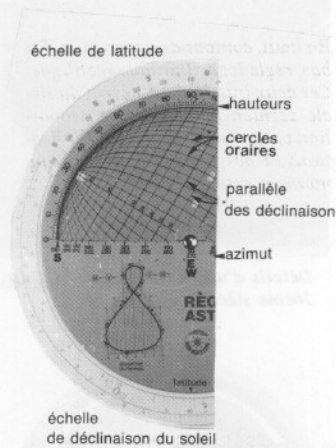
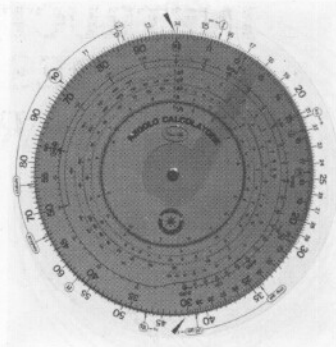
La règle astronomique

Aperçu historique et technique

L'instrument consiste en une projection de la sphère céleste, de l'horizon et du méridien, permettant comme les astrolabes de résoudre beaucoup de problèmes de la géométrie sphérique. Pendant plusieurs siècles ces instruments ont été utilisés par les astronomes et les navigateurs. La règle astronomique fournie dans le kit a été modifiée par rapport au modèle classique, notamment en ce qui concerne le réseau de coordonnées de la sphère céleste dont elle ne représente que deux cercles: l'horizon et le méridien de la sphère locale. La sphère céleste et la sphère locale sont représentées comme si tous les points étaient projetés sur le plan méridien avec un centre de projection rejeté à l'infini dans le plan de l'horizon.

La règle astronomique permet de résoudre des problèmes intéressant le navigateur mais aussi l'astronome amateur, l'architecte, le sportif, le voyageur... etc. Elle est composée d'un disque de base donnant une projection de la sphère céleste avec les cercles horaires, de 0 à 24, l'équateur céleste, les cercles de déclinaison de 0 à $\pm 90^\circ$ ainsi que les pôles N et S. Sur le bord externe se trouve une échelle pour afficher la latitude. La partie semi-circulaire supérieure du disque mobile représente le cercle méridien et comporte une double graduation donnant la hauteur côté Nord et côté Sud ainsi que le zénith. Le diamètre du cercle mobile représente l'horizon avec indication des azimuts et des points cardinaux. La règle astronomique permet d'étudier non seulement le parcours des astres dans le ciel, avec indication de l'azimut et de l'heure du lever et du coucher mais aussi la hauteur lors du passage au méridien. Les données nécessaires sont la latitude du lieu et la déclinaison de l'astre. Pour le Soleil on trouve sa déclinaison sur les cercles rouges gradués sur la périphérie du disque fixe en fonction de la date, les chiffres gras indiquant les mois et les autres, les jours. On trouve la déclinaison des étoiles sur un atlas et celle des planètes dans un annuaire astronomique.

Exemple: soit à étudier le parcours du Soleil le 1er mai dans un lieu





Astrolabe de 18ème siècle.

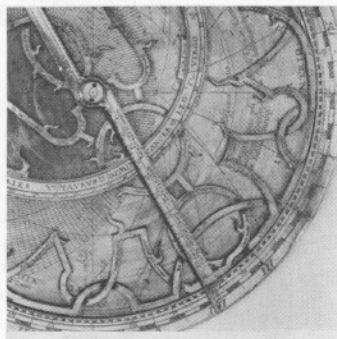
de latitude 40° nord. En affichant cette latitude on voit immédiatement que le pôle céleste nord est à une hauteur de 40° sur l'horizon et que l'équateur céleste coupe le méridien à une hauteur de $(90-40) = 50^\circ$. On constate également que le cercle de déclinaison de 50° N tangente l'horizon au point nord ce qui montre que tous les astres ayant une déclinaison supérieure à 50° Nord ne se couchent jamais et sont dits circumpolaires. Réciproquement les astres d'une déclinaison supérieure à 50° Sud ne sont jamais visibles. Le 1er mai la déclinaison du Soleil est de 15° ce qui donne un azimut au lever de 70° et au coucher de 290° . On voit qu'au même moment le Soleil se trouve sur les cercles horaires de 5h10m et 18h50m. La hauteur méridienne est de 65° à midi vrai local. En reprenant les mêmes opérations pour le 3 novembre lorsque la déclinaison du Soleil est de -15° on trouve successivement: azimut au lever 110° et au coucher 250° pour des angles horaires de 6h50m et 17h10m avec une hauteur méridienne de 35° . Pour bien visualiser le trajet du Soleil sur la sphère céleste il est recommandé au lecteur de refaire les opérations pour l'équateur, les tropiques et enfin au pôle. On observera avec intérêt le cas particulier des solstices et des équinoxes et notamment la symétrie des figures par rapport aux équinoxes.

L'équation du temps. Le graphique en forme de 8 dans la partie inférieure de la règle permet d'avoir une valeur approchée de l'équation du temps. Les symboles V et M représentent le Soleil vrai et le Soleil moyen. On remarque que dans la partie gauche V est en avance sur M et inversement pour la partie droite. Le 20 octobre on voit que V est en avance de 15 minutes et qu'il passera donc au méridien à 11h45m.

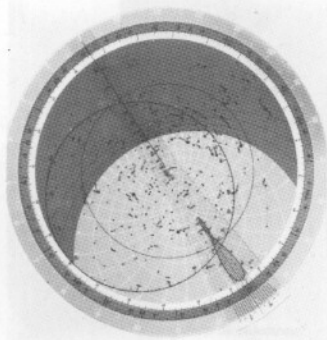
Les astrolabes

Aperçu historique et technique

L'astrolabe est une édition moderne, assez modifiée de l'astrolabe planisphérique, probablement inventé par des savants alexandrins du VIème siècle et porté à la perfection par les arabes dans les siècles qui suivent. L'astrolabe définit l'azimut d'un astre à n'importe quel moment, donnant ainsi une direction de référence pour s'orienter. Jusqu'à l'arrivée de la boussole, importée de Chine au XIIème siècle, l'astrolabe était le seul instrument d'orientation sur la mer, dans le désert ou dans des régions inconnues. Les techniques de construction toujours plus raffinées du compas magnétique et des instruments de navigation astronomique moderne ont fait disparaître l'astrolabe des mains du navigateur et de l'astronome. Cependant l'instrument est actuellement utilisé dans deux domaines particuliers: d'une part, sous des formes diverses plus ou moins compliquées, il est utilisé à la reconnaissance des constellations par les astronomes amateurs. Dans ce cas le réglage est effectué simplement en faisant coïncider la date avec une échelle mobile portant les heures, ce qui n'est pas très rigoureux mais suffisant en pratique. Un exemple d'astrolabe moderne de ce genre est celui fabriqué par l'auteur du kit, modèle pourvu d'une échelle de correction pour l'équation du temps et pour la longitude. D'autre part l'astrolabe moderne est utilisé en navigation pour la reconnaissance de 57 étoiles servant à faire le point en mer et dont les éléments sont donnés dans les éphémérides. Le réglage de l'appareil nécessite la connaissance du temps sidéral. Il s'agit d'instruments de calcul assez précis comme le "star finder and identifier" américain et le "sferoscopio Del Pino" italien. L'astrolabe présenté dans le kit a pour objectif de réunir les avantages des deux genres d'appareils décrit ci-dessus. Il permet donc aussi bien un réglage grossier par la date et l'heure qu'un réglage précis par le temps sidéral. Il donne les 57 étoiles utilisées par le marin mais aussi les constellations avec leurs noms abrégés. Enfin une échelle circulaire permet d'avoir les Ascensions droites en heures (astronomie) ou en degrés (navigation). L'instrument permet de comparer le parcours des étoiles à des latitudes et à des moments différents ce qui en fait un aide précieux non seulement pour apprendre à reconnaître les astres et les constellations mais aussi pour se famili-



Détails d'un astrolabe français du 16ème siècle.



Astrolabe moderne pour l'astronomie.

ser avec leur mouvement dans le ciel et beaucoup de problèmes touchant à l'astronomie.

L'astrolabe du kit est prévu pour 4 latitudes de base, à savoir 25, 35, 45 et 55°, mais il peut être utilisé pour des latitudes intermédiaires en portant attention à la diminution de précision lorsque l'on s'écarte de la latitude affichée. Il y a donc 4 disques de base, chacun portant une échelle des heures, une projection de la sphère locale sous forme d'une grille donnant les hauteurs et les azimuts, la trace du méridien pour le calcul du temps sidéral, et enfin l'indication de la latitude de projection. Le disque transparent porte une échelle des dates, les ascensions droites en heure et en degrés, et une projection de la sphère céleste comportant les principales constellations avec 55 des 57 étoiles utilisées pour la navigation astronomique (Atria et Miaplacidus ne sont pas représentées du fait de leur déclinaison inférieure à -65°). Le point image de chaque étoile est d'une grosseur proportionnelle à la magnitude visuelle. Les noms des constellations sont réduits aux trois lettres conventionnelles. Enfin le curseur vert porte une échelle des déclinaisons.

Régulation de l'instrument. Le réglage de l'instrument pour une heure donnée peut se faire de deux manières. La première consiste à affiner le temps sidéral, préalablement calculé, sur la trace du méridien sud tandis que dans la deuxième on effectue la coïncidence de la date et de l'heure. A noter que cette opération donne le temps sidéral sur le méridien. La deuxième méthode est plus simple puisqu'elle ne demande aucun calcul, mais elle est un peu moins précise. Toutefois l'erreur ne dépasse pas ± 2 minutes sur un cycle de 4 ans, d'un 29 février à un autre, ce qui peut être négligé dans l'utilisation pratique de cet instrument. Les petits traits représentant les jours de l'année sont portés pour 00h00 ce qui permet de se placer entre deux traits en fonction de l'heure, par exemple au milieu pour midi. Une fois réglé sur l'heure locale, tenant compte de la longitude, l'instrument donne de nombreux renseignements astronomiques dont le parcours des astres dans le ciel à n'importe quelle heure ou période de l'année.

Coordonnées équatoriales d'un astre. Pour connaître les coordonnées d'un astre il suffit de placer l'arête du curseur sur l'astre et de lire la déclinaison sur le curseur puis l'ascension droite sur l'échelle des heures sous la pointe du curseur. Exemple: Altair: déclinaison 9° , Ascension droite 298° ou 19h52m.

Astres circumpolaires. On fait coïncider le curseur avec le Nord. La déclinaison lue sur le curseur à hauteur de l'horizon est celle des astres dont la trajectoire est tangente à l'horizon, donc ceux qui ont une déclinaison supérieure sont circumpolaires.

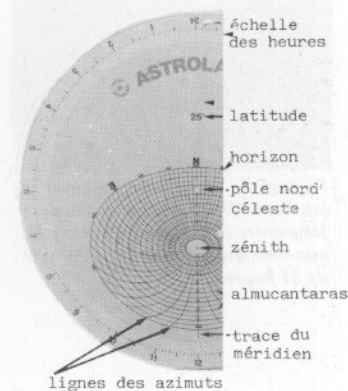
Hauteur et azimut d'un astre. Les coordonnées horizontales sont lues directement. Exemple pour une latitude de 45° le 24 Janvier à 21 heures locales on peut voir que Rigel se trouve sur le méridien à une hauteur de $36^\circ 30'$, que Capella est au zénith et que Pégase se couche à l'ouest, très basse sur l'horizon. Procyon est au 130° à une hauteur de 40° .

Identification des astres dans le ciel. L'astrolabe permet d'identifier les astres par leurs coordonnées, et donc d'orienter un instrument ou de regarder dans la direction obtenue par le calcul. A la différence des autres instruments utilisés par les navigateurs celui-ci est d'une utilisation plus directe. En effet il permet une comparaison entre ce qu'indique l'instrument et ce que l'on peut voir dans le ciel à condition de tenir l'astrolabe de telle sorte que la direction visée se trouve vers le bas. Par exemple si l'on observe vers le sud-est on devra avoir l'azimut 135 en bas et les constellations apparaîtront dans le ciel comme sur l'instrument. A l'évidence ceci facilite les premiers pas de celui qui veut se familiariser avec le ciel et les étoiles.

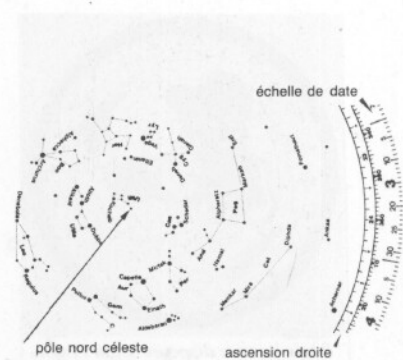
Lever et coucher des astres. L'heure locale du lever et du coucher peut être facilement obtenue en mettant l'astre sur l'horizon, respectivement à l'est ou à l'ouest, et en lisant l'heure correspondant à la date. L'azimut se lit directement sur l'horizon. Exemple: le 7 mai Spica se couche



Astrolabe du navigation.



Disque de base



Disque transparent

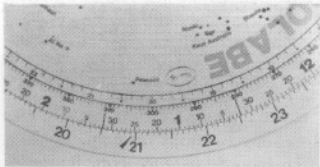
| | nome latin | nom français |
|------|-----------------|-------------------------|
| And | Andromeda | Andromède |
| Aqu | Aquila | Aigle |
| Aqr | Aquarius | Verseau |
| Ari | Aries | Bélier |
| Aur | Auriga | Cocher |
| Boo | Bootes | Bootes (Bouvier) |
| Cap | Capricornus | Capricorne |
| Cas | Cassiopeia | Cassiopee |
| Cep | Cepheus | Céphée |
| Cet | Cetus | Baleine |
| CMa | Canis Major | Grand Chien |
| CMi | Canis Minor | Petit Chien |
| CrB | Corona Borealis | Couronne Boréale |
| Crv | Corvus | Corbeau |
| CVn | Canes Venatici | Chiens de Chasse |
| Cyg | Cygnus | Cygne |
| Dra | Draco | Dragon |
| Eri | Eridanus | Eridan |
| Gem | Gemini | Gémeaux |
| Herc | Hercules | Hercule |
| Hya | Hydra | Hydre |
| Leo | Leo | Lion |
| Lep | Lepus | Lievre |
| Lib | Libra | Balance |
| Lyr | Lyra | Lyre |
| Oph | Ophiucus | Serpentaire ou Ophiucus |
| Ori | Orion | Orion |
| Peg | Pegasus | Pégase |
| Per | Persus | Persée |
| Psc | Pisces | Poissons |
| Ser | Serpens | Serpent |
| Sgr | Sagittarius | Sagittaire |
| Tau | Taurus | Taureau |
| Tri | Triangulum | Triangle |
| UMa | Ursa Major | Grande Ourse |
| UMi | Ursa Minor | Petite Ourse |
| Vir | Virgo | Vierge |

à 3h35m et le 9 juillet à 3h35m au 256° dans les deux cas.

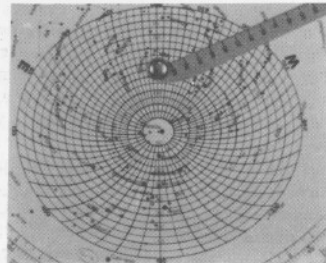
Passage au méridien. L'heure locale du passage au méridien est obtenue en plaçant l'astre au méridien et en lisant l'heure correspondant à la date. Le 20 mai par exemple Antarès passe au méridien à 00h35m. La hauteur d'un astre de déclinaison connue au moment de son passage au méridien peut être obtenue en plaçant le curseur sur le méridien et en lisant la hauteur correspondant à la déclinaison. Ainsi un astre de déclinaison -20° passe au méridien avec une hauteur de 25° toujours pour la latitude de 45° Nord.

Parcours des astres dans le ciel. Toutes les étoiles principale sont représentées sur le disque transparent puisque leurs coordonnées sont pratiquement fixes mais, par contre, le Soleil, la Lune, les planètes, les comètes et tous les astres errants ne peuvent être représentés d'une manière permanente. Il est cependant toujours possible de porter leur position à un moment quelconque, à l'aide d'un crayon feutre, à partir de leurs coordonnées équatoriales que l'on trouve dans les annuaires astronomiques. On peut aussi partir de l'observation directe des coordonnées horizontales. Supposons par exemple que l'on ait observé Jupiter au 110° et à 25° de hauteur. Ceci nous permet de le porter sur le disque mobile réglé par la date et l'heure et d'observer son déplacement de jour en jour. La Lune se déplace d'environ 13° par jour, le Soleil et les planètes beaucoup plus lentement et même très lentement au delà de Saturne.

Emploi de l'astrolabe en navigation. La possibilité de déterminer rapidement l'azimut d'une étoile quelconque permet de tenir un cap en conservant l'astre dans tel ou tel gisement. Ainsi le 17 Juillet à 20h50m à 45° de latitude on peut utiliser Spica pour suivre un cap au 230° . Mais à 21h40 son azimut est devenu 240° nécessitant d'avoir l'étoile à 10° sur la droite. Pour la pratique on changera d'étoile à chaque fois que possible. Il est rappelé que l'appareil doit être réglé en heure locale pour une latitude voisine de celle du disque utilisé.



Réglage de l'instrument pour le 24 janvier à 21:00. La coincidence a été faite entre le 24 et le 25, à peu près aux trois-quarts, pour tenir compte de 21 heures.

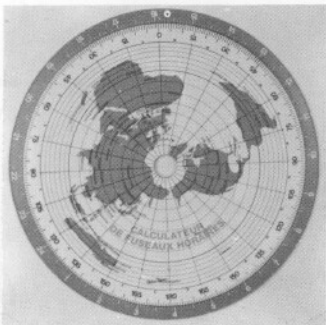


Le calculateur de fuseaux horaires

Aperçu historique et technique

Le calculateur de fuseaux horaires est une carte en projection polaire où tous les méridiens sont des lignes droites convergeant vers le pôle. Il est basé sur le fait que les différences de longitude sont aussi des différences d'heure, principe utilisé pendant des siècles, mais l'instrument présenté dans le kit est le seul trouvable aujourd'hui.

Il permet de connaître l'heure locale dans un certain endroit du monde si l'on connaît l'heure dans un autre endroit. Le calculateur est constitué d'un disque de base comportant l'échelle des heures, et d'un disque mobile contenant la carte du monde, les méridiens centraux des 24 fuseaux horaires et, à la périphérie, une échelle des longitudes. Si l'on fait correspondre la longitude d'un lieu avec l'heure locale de ce même lieu, on pourra lire sur l'échelle des heures l'heure locale de n'importe quel autre endroit dont on connaît la longitude, ou que l'on observe sur la carte mobile.



Règle horaire disposée selon l'exemple du texte.

Exemple: il est 16h30m locales à Côme (qui se trouve à 9° est de Greenwich). Quelle heure est-il à Tulsa (Usa) par 96° W? Sous la longitude 96° W on peut lire 9h30m, qui est donc l'heure locale cherchée. Pour connaître l'heure légale, pouvant être différente de celle du fuseau, il faut savoir quelle est la règle adoptée localement. Certains pays ont par exemple une heure d'été, correspondant en général à l'heure du fuseau immédiatement à l'est, qu'ils conservent parfois toute l'année. D'autres sont décalés de fractions d'heure par rapport à leur fuseau de référence. On peut donc adopter, mais avec prudence, la règle suivante: prendre le méridien central le plus proche de la localité dont on connaît l'heure et lire l'heure indiquée par le méridien central le plus proche de l'autre lieu. Si par exemple il est 11h20m à Côme, quelle heure sera-t-il à New York? En réglant le méridien 15° E sur 11h20m on trouve 5h20m en regard du méridien 75° W correspondant à New York.

La règle topographique

Aperçu historique et technique

Cette règle est utilisée pour résoudre tout problème de topographie ou de navigation et n'est trouvable que dans ce kit.

Considérons un triangle rectangle et 3 de ses éléments: les 2 cotés (h et d sur la figure) et un angle adjacent à l'hypoténuse. La règle permet de calculer n'importe lequel des 3 éléments si l'on connaît les 2 autres. La possibilité de résoudre ce problème rapidement a de nombreuses applications pratiques. La règle est composée d'une échelle des distances et des hauteurs sur le disque de base et d'une échelle des angles (de $15'$ à $75'$) sur le disque mobile. Exemples: déterminer la hauteur h de la tour (fig. 1). On mesure d'abord une base horizontale jusqu'au pied de la tour, supposons 8 mètres, puis de l'extrémité de cette base on mesure l'angle sous lequel on voit la tour, disons 70° . En faisant coïncider la pointe de la flèche entourant d sur l'échelle mobile avec 8 sur le disque de base, on lit le résultat 22 sur le cercle de base en regard de 70° lu sur le cercle mobile. Soit à calculer la largeur minimum du défilé (fig. 2): à l'aide d'un cadran azimutal on détermine à partir du point A la perpendiculaire à la largeur à mesurer et sur celle-ci on mesure une base d , supposons de 30m, puis on mesure l'angle α et l'on trouve 57° . On fait alors coïncider la flèche d avec 30 et on lit le résultat 46m en regard de 57° . Autre exemple: se trouvant au sommet d'une montagne on veut mesurer la distance d'un pylône dont la hauteur est 17m. On mesure d'abord la hauteur angulaire du pylône et on trouve 1° . En faisant coïncider 1° avec 17 on trouve une distance de 970m. Si l'angle est de $20'$ au lieu de 1° la coïncidence de 20 avec 17 donne un résultat de 2,920m qui doit être interprété comme la suite de l'échelle 800,900 avec 1 qui vaut 1000 et 2 qui vaut 2000, donc ici le résultat est 2.290m. Avec un peu d'expérience on dominera facilement tous ces problèmes. Ces différents exemples montrent aussi l'importance d'avoir une idée de la dimension des objets naturels ou artificiels comme les arbres, les pylônes... etc. en vue de calculer des distances.

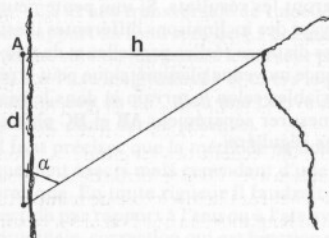
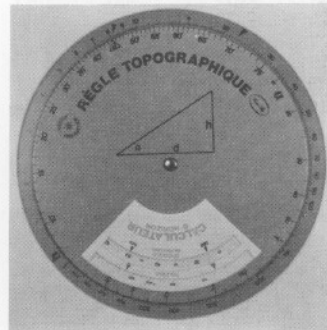


Fig. 2.



Une tour vue sous un angle de 70° à 8 mètres de distance a une hauteur de 22 mètres.

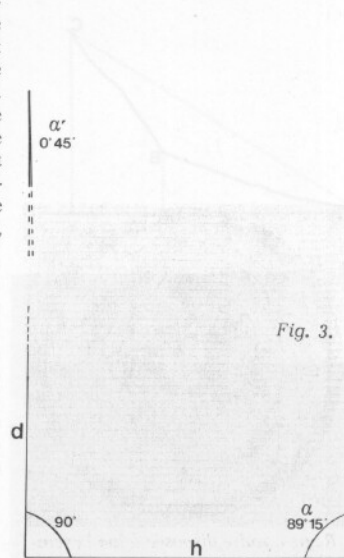
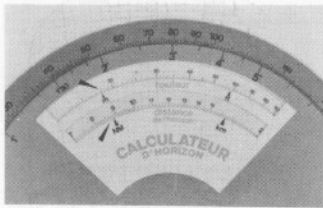


Fig. 3.



Distance de l'horizon

Aperçu historique et technique

Cette règle a été spécialement étudiée pour ce kit. En effet la plupart du temps ce problème est résolu en utilisant des tables publiées dans les almanachs.

La règle donne la distance de l'horizon, en milles marins ou en kilomètres, connaissant la hauteur de l'observateur au-dessus de l'horizon, en pieds ou en mètres. Il suffit de faire coïncider la flèche de la fenêtre supérieure avec la hauteur de l'observateur et de lire le résultat dans la fenêtre inférieure.

Exemple: hauteur de l'observateur: 18 m, distance de l'horizon 8,8 milles ou 16,3 km. La règle permet aussi de résoudre le problème suivant: à quelle distance se trouve un objet d'une hauteur de 100 mètres dont on voit seulement le sommet à l'horizon si notre propre hauteur est de 14 mètres? Il faut calculer la distance de chaque objet à l'horizon et faire la somme, ce qui donne dans le cas présent $7,8 + 20,8 = 28,6$ milles nautique. Ces résultats sont obtenus dans des conditions normales de réfraction de l'atmosphère. A noter que cette règle peut également servir d'instrument de conversion de kilomètres en milles et vice-versa ou de pieds en mètres.

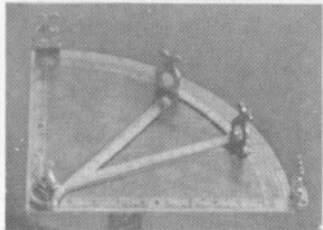
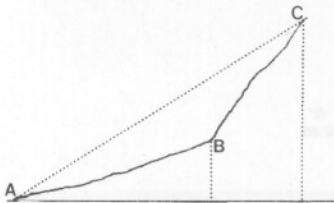
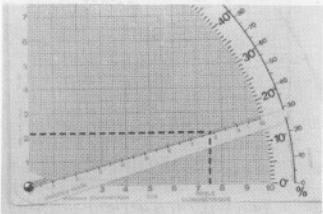


La règle clinométrique

Aperçu historique et technique

La règle doit son nom à l'étude des pentes. Il s'agit d'une version moderne et adaptée du "quart de cercle des arpenteurs", ayant à l'intérieur un "carré géométrique", c'est à dire un réseau de lignes perpendiculaire. Ce genre d'instrument fut décrit par Pierre Vernier en 1631. Les musées en possèdent des exemplaires en cuivre de grande valeur.

La règle permet d'obtenir beaucoup de données sur les terrains en pente et en tout premier lieu la pente elle-même si l'on connaît l'inclinaison ou vice-versa. Dans ce cas il suffit de mettre le curseur sur la valeur de l'une des échelles et de lire la valeur correspondant sur l'autre. Exemple: pente d'un plan incliné de 20° : 36,5%. On peut aussi obtenir la distance réelle si l'on connaît la distance planimétrique, ou vice-versa. Exemple: on mesure sur la carte une distance de 7,5 km entre 2 points A et B; la dénivellation déduite des courbes de niveau est de 2200 mètres. Si nous faisons correspondre le curseur avec le point où la ligne horizontale de 2200m rencontre la verticale de 7,5 km nous trouvons 7,85 km pour distance réelle. On obtient également la pente moyenne et l'inclinaison moyenne soit 30% et 16,5 degrés. Autre exemple: sur un terrain escarpé on effectue un parcours de 4500 pas. Entre le sommet et la base du parcours on mesure à l'aide d'un altimètre une dénivellation de 1800 mètres. Il faut déterminer la distance planimétrique pour rapporter la position estimée sur la carte. La règle à calcul nous donne 2925 mètres pour 4500 pas. En faisant correspondre 2925 du curseur avec la ligne horizontale de 1800 m on voit que ce point correspond lui-même à la verticale de 2300 m qui est la distance cherchée. La pente moyenne est de 79% et l'inclinaison de 43° . Il faut remarquer que plus la pente est régulière, meilleur seront les résultats. Si une pente peut être divisée en plusieurs parties ayant des inclinaisons différentes il est conseillé de calculer séparément les distance réelles partielles et de totaliser les résultats. En effet la distance moyenne planimétrique peut être composée de distances réelles variables selon le terrain et dans le cas de la figure il est préférable de mesurer séparément AB et BC plutôt que AC puisque la pente n'est pas régulière.



Quart de cercle d'arpenteur, fabriqué à Rome en 1674.

La règle de navigation 2

Aperçu historique et technique

Le problème du calcul de l'effet du vent ou du courant sur la route et la vitesse est aussi vieux que la navigation elle-même. On peut le résoudre graphiquement, par le calcul ou par une méthode mixte. Les aviateurs utilisent généralement la méthode mixte consistant à décomposer le vecteur vent en ses composantes longitudinales et transversales puis à en déduire la dérive par le calcul. Les marins préfèrent résoudre graphiquement le triangle vitesse/courant en utilisant du papier millimétré. La règle du kit permet une solution entièrement graphique en deux phases: dans la première on décompose le vecteur vent en ses 2 composantes (parallèles et perpendiculaires à la route), tandis que dans la deuxième on obtient la vitesse et la dérive avec les éléments précédents.

La résolution du triangle de la vitesse

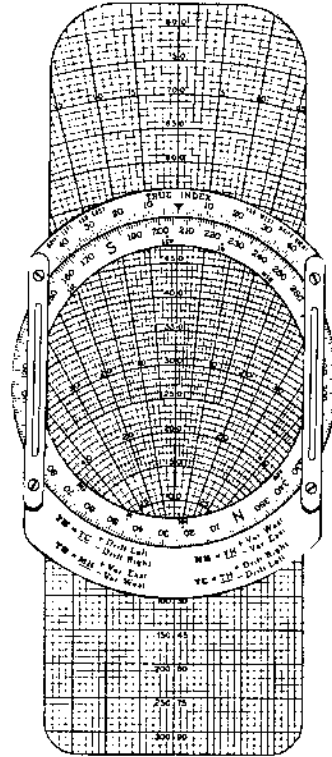
La règle de navigation est composée d'un disque de base portant une rose graduée de 0° à 360°, d'un disque mobile millimétré et d'un curseur gradué, qui représente généralement le vent ou le courant. Le cercle gradué en degrés indique la direction vers laquelle se dirige le vent ou le courant. Une petite règle millimétrée complète l'instrument. Le problème de celui qui navigue en bateau ou en avion est le suivant: connaissant la vitesse du navire par rapport à l'eau ou celle de l'avion par rapport à l'air, connaissant aussi la direction et la vitesse du courant ou du vent, quel cap faut-il tenir pour suivre la route tracée et à quelle vitesse se déplacera-t-on sur cette route? Voyons comment résoudre le problème au moyen d'un exemple: un avion vole à 70 noeuds par rapport à l'air et veut suivre une route au 130°; le vent vient du 275° avec une vitesse de 18 noeuds. Il faut donc calculer le cap et la vitesse par rapport au sol. Commençons par décomposer le vecteur-vent en ses composantes longitudinales et transversales par rapport à la route. Réglons la flèche sur la route (130°) et le curseur sur 275°; à partir de la valeur 18 sur l'échelle du curseur nous obtenons la composante longitudinale, soit 15 noeuds et la transversale, soit 10 noeuds (fig. 1). Dans ce cas la composante de la vitesse du vent doit être ajoutée à la vitesse de l'avion qui devient donc 85 noeuds par rapport au sol. Il faut maintenant déterminer la dérive puis le cap à tenir pour suivre la route au 130°. Pour cela faisons passer l'arête du curseur par le point obtenu en portant 70 sur l'axe longitudinal et 10 perpendiculairement vers la gauche (fig. 2). Nous lisons alors la route que l'avion suivrait si l'on ne prenait pas de dérive, c'est à dire 122°. La dérive est donc de $130 - 122 = 8^\circ$ vers la gauche, pour le corriger nous prendrons donc un cap de $130 + 8 = 138^\circ$. On obtiendrait le même résultat en utilisant la formule:

$$\text{Cap} = R_v - \text{dér}$$

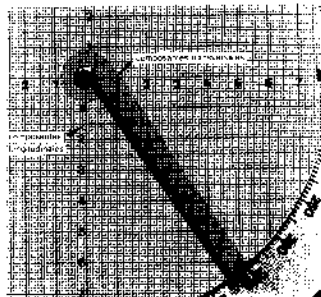
$$\text{Cap} = 130 - (-8) = 138^\circ$$

La règle permet d'ailleurs d'éviter ce calcul et de déterminer directement la route corrigée de la dérive. Il suffit de faire passer le curseur par le point symétrique de celui obtenu ci-dessus pour lire la route 138°. Prenons un autre exemple: un navire fait route à 6,5 noeuds et veut suivre une route fond de 30° avec un courant de 2,5 noeuds venant du 006°. Flèche sur 30 et curseur sur 6 donnent une composante longitudinale de -2,2 et une transversale de 1 noeud vers la gauche. La vitesse réelle par rapport au fond sera de 4,3 noeuds. Pour obtenir le cap on procède comme suit: on fait passer le curseur par le point déterminé par 6,5 portés sur l'axe longitudinale et 1 vers la gauche, ce qui donne immédiatement le cap au 21°, d'où une dérive de +9° (courant provenant de la gauche, donc dérive positive).

Il faut préciser que la méthode ne donne pas des résultats mathématiquement exacts mais cependant d'une précision plus que suffisante en pratique. En toute rigueur il faudrait en effet apporter une petite correction par rapport à l'eau ou à l'air avant de porter la composante longitudinale, correction qui est fonction de la dérive et qui peut être négli-



Règle de navigation aérienne (USA) pour résoudre les problèmes de vent et de dérive.



La règle de navigation 2

Aperçu historique et technique

Le problème du calcul de l'effet du vent ou du courant sur la route et la vitesse est aussi vieux que la navigation elle-même. On peut le résoudre graphiquement, par le calcul ou par une méthode mixte. Les aviateurs utilisent généralement la méthode mixte consistant à décomposer le vecteur vent en ses composantes longitudinales et transversales puis à en déduire la dérive par le calcul. Les marins préfèrent résoudre graphiquement le triangle vitesse/courant en utilisant du papier millimétré. La règle du kit permet une solution entièrement graphique en deux phases: dans la première on décompose le vecteur vent en ses 2 composantes (parallèles et perpendiculaires à la route), tandis que dans la deuxième on obtient la vitesse et la dérive avec les éléments précédents.

La résolution du triangle de la vitesse

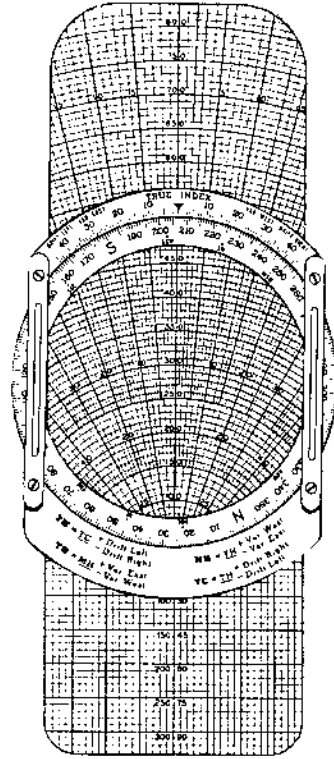
La règle de navigation est composée d'un disque de base portant une rose graduée de 0° à 360°, d'un disque mobile millimétré et d'un curseur gradué, qui représente généralement le vent ou le courant. Le cercle gradué en degrés indique la direction vers laquelle se dirige le vent ou le courant. Une petite règle millimétrée complète l'instrument. Le problème de celui qui navigue en bateau ou en avion est le suivant: connaissant la vitesse du navire par rapport à l'eau ou celle de l'avion par rapport à l'air, connaissant aussi la direction et la vitesse du courant ou du vent, quel cap faut-il tenir pour suivre la route tracée et à quelle vitesse se déplacera-t-on sur cette route? Voyons comment résoudre le problème au moyen d'un exemple: un avion vole à 70 noeuds par rapport à l'air et veut suivre une route au 130°; le vent vient du 275° avec une vitesse de 18 noeuds. Il faut donc calculer le cap et la vitesse par rapport au sol. Commençons par décomposer le vecteur-vent en ses composantes longitudinales et transversales par rapport à la route. Réglons la flèche sur la route (130°) et le curseur sur 275°; à partir de la valeur 18 sur l'échelle du curseur nous obtenons la composante longitudinale, soit 15 noeuds et la transversale, soit 10 noeuds (fig. 1). Dans ce cas la composante de la vitesse du vent doit être ajoutée à la vitesse de l'avion qui devient donc 85 noeuds par rapport au sol. Il faut maintenant déterminer la dérive puis le cap à tenir pour suivre la route au 130°. Pour cela faisons passer l'arête du curseur par le point obtenu en portant 70 sur l'axe longitudinal et 10 perpendiculairement vers la gauche (fig. 2). Nous lisons alors la route que l'avion suivrait si l'on ne prenait pas de dérive, c'est à dire 122°. La dérive est donc de $130 - 122 = 8^\circ$ vers la gauche, pour le corriger nous prendrons donc un cap de $130 + 8 = 138^\circ$. On obtiendrait le même résultat en utilisant la formule:

$$\text{Cap} = R_v - \text{dér}$$

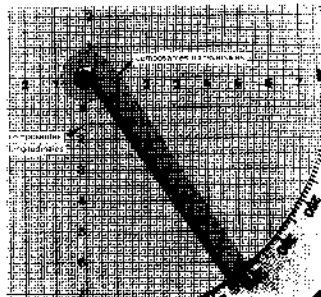
$$\text{Cap} = 130 - (-8) = 138^\circ$$

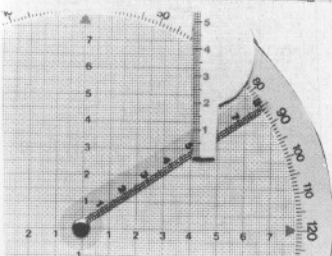
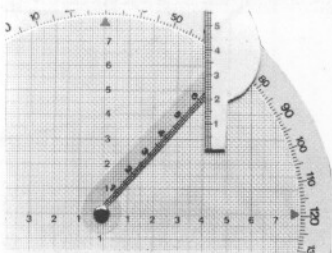
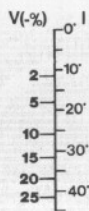
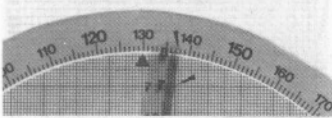
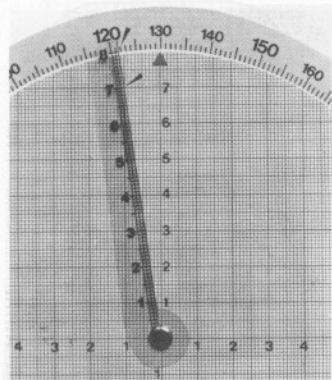
La règle permet d'ailleurs d'éviter ce calcul et de déterminer directement la route corrigée de la dérive. Il suffit de faire passer le curseur par le point symétrique de celui obtenu ci-dessus pour lire la route 138°. Prenons un autre exemple: un navire fait route à 6,5 noeuds et veut suivre une route fond de 30° avec un courant de 2,5 noeuds venant du 006°. Flèche sur 30 et curseur sur 6 donnent une composante longitudinale de -2,2 et une transversale de 1 noeud vers la gauche. La vitesse réelle par rapport au fond sera de 4,3 noeuds. Pour obtenir le cap on procède comme suit: on fait passer le curseur par le point déterminé par 6,5 portés sur l'axe longitudinale et 1 vers la gauche, ce qui donne immédiatement le cap au 21°, d'où une dérive de +9° (courant provenant de la gauche, donc dérive positive).

Il faut préciser que la méthode ne donne pas des résultats mathématiquement exacts mais cependant d'une précision plus que suffisante en pratique. En toute rigueur il faudrait en effet apporter une petite correction par rapport à l'eau ou à l'air avant de porter la composante longitudinale, correction qui est fonction de la dérive et qui peut être négli-



Règle de navigation aérienne (USA) pour résoudre les problèmes de vent et de dérive.





gée lorsque celle-ci est inférieure à 15° . On retranche de la vitesse, par rapport à l'air ou à l'eau, un pourcentage de cette vitesse obtenu au moyen de l'échelle donnée figure 4. Si par exemple notre vitesse est de 70 noeuds et la dérive de 18° , nous devons considérer que notre vitesse est en réalité de $70 - 5\% = 70 - 3,5 = 66,5$ noeuds. Pour obtenir la vitesse par rapport au sol il faudra ajouter ou déduire la composante longitudinale du vent à cette vitesse corrigée. En résumé, pour déterminer le cap et la vitesse par rapport au fond ou au sol, si l'on connaît la route et la vitesse par rapport à l'eau ou à l'air, et la direction et la vitesse du vent ou du courant, il faut:

- Représenter la route et le vecteur-vent ou courant en déterminant les composantes transversales et longitudinales par rapport à la route.
- Représenter le vecteur vitesse et la composante transversale du vecteur vent ou courant pour obtenir le cap; éventuellement en déduire la valeur de la dérive.

— Additionner (ou soustraire) la composante longitudinale du vecteur vent ou courant pour obtenir la vitesse par rapport au fond ou au sol.

Détermination du vent réel. Le vent observé à bord d'un navire est appelé vent apparent et est la résultante du vecteur-vitesse du vent réel et du vecteur-vitesse du navire. Pour déterminer le vent réel connaissant le vent apparent ainsi que la route et la vitesse du navire on procède comme suit:

- Flèche sur la direction du cap (par exemple 30°).
- Partie graduée du curseur sur la direction d'où vient le vent (p.e 71°).
- Déterminer le point du curseur qui représente la vitesse du vent apparent (p.e 62 km/h) et représenter, éventuellement à l'aide de la règle millimétrée, la vitesse du navire (p.e 20 km/h) à partir du point qui représente la vitesse du vent apparent; ce vecteur est toujours dirigé vers le bas puisqu'il est l'image du vent dû à la vitesse du navire.
- Faire coïncider le curseur avec l'extrémité de ce vecteur et lire sur le curseur même la vitesse du vent réel (49 km/h) et sur la rose graduée la direction d'où il vient (86°). Au lieu de représenter les directions vraies on représente parfois les directions par rapport à l'axe longitudinal du navire. Dans ce cas on règle la flèche sur 360° et les directions du vent apparent et réel seront relatives à l'axe du navire. Ainsi dans l'exemple précédent on trouverait un vent apparent de 41° à droite et un-vent réel de 56° à droite.

La règle de navigation 1

Aperçu historique et technique

Cette règle, employée pendant des siècles sous différentes formes, permet essentiellement d'effectuer des sommes et des soustractions d'angles.

Additions et soustractions. Pour additionner deux nombres on met la flèche devant le premier puis on lit le résultat sur l'échelle extérieure du second. Pour soustraire on fait coïncider le plus petit, lu sur l'échelle mobile, avec le plus grand et on lit le résultat sur le cercle extérieur face à la flèche.

Corrections de route. La règle permet de déterminer le cap magnétique à condition de connaître le cap vrai et la déclinaison magnétique ou vice-versa. On met la flèche face à D (déclinaison), lu sur le cercle extérieur et, en correspondance avec chaque cap vrai toujours lu sur le cercle extérieur, on lit le cap magnétique sur le cercle mobile. Exemple: cap vrai 238° , déclinaison 12° W (-12), cap magnétique 250° .

Corrections des relèvements. Pour déterminer un relèvement, connaissant le gisement et le cap, on porte la flèche sur la valeur du cap et l'arête du curseur Relpo sur la valeur du gisement. Le relèvement est alors indiqué par le même curseurs sur l'échelle extérieure. Le relèvement inverse est donné par le curseur symétrique "Rel inverso".

Exemple: Cap 135° , Gisement 44° , Relèvement 179° , Inverse 359° .

Exemple: Cap 027°, Gisement 35° à gauche, soit 325°, Relèvement 352, Inverse 172°.

Conversions des arcs en temps. L'échelle située sur le disque le plus intérieur permet de convertir des arcs en temps, selon l'équivalence $360^\circ = 24$ heures. Exemple: $55^\circ = 3\text{h}40\text{m}$; $2\text{h}30\text{m} = 37^\circ30'$; une différence de longitude de 121° donne une différence d'heure locale de 8h04m.

Rose des vents. Le nord de la rose des vents située au milieu de l'instrument doit être en coincidence avec 360° , de manière à pouvoir lire la valeur des différents points cardinaux et intermédiaires. Exemple: SW correspond à 225° et SSW à $202^\circ30'$.

La règle "tempométrique"

Aperçu historique et technique

Cette règle a été spécialement étudiée pour ce kit et est introuvable ailleurs. Jusqu'à présent les opérations qu'elle traite ne pouvaient être effectuées que par calcul.

L'instrument permet de construire sans aucun calcul des règles qui indiquent les temps de parcours sur les cartes en fonction de l'échelle et de la vitesse. Soit un bateau marchant à 14 noeuds (25,93 km/h), pour lequel on désire construire une règle donnant les minutes sur une carte au 1/100.000. On met la flèche 1' la face à la vitesse 25,93 et on obtient l'intervalle des graduations à effectuer, soit 4,32 mm lu face à l'échelle 100.000 sur la couronne extérieure. Les nombres en gras correspondant aux flèches indiquent les règles disponibles dans le kit. La gamme des vitesses s'étend de 1 à 400 km/h, celle des échelles de 25.000 à 2.000.000 et celle des temps, donnant la valeur d'une graduation, de 30 secondes à 5 minutes. Pour les cas non envisagés, probablement très rares, un calcul d'interpolation des données est toujours possible. Exemple: construire une règle pour utilisation sur une carte au 1/20.000 qui donne la distance parcourue toutes les 10 secondes pour un cycliste faisant 18 km/h. Puisque la graduation de 10 secondes n'est pas prévue nous utiliserons celle de 30 sec, soit le triple, pour une vitesse égale au tiers de la vitesse réelle, soit 6 km/h. De cette manière les deux corrections sont compensées et le résultat sera correct. En effet la distance parcourue en 10 secondes à 18 km/h est la même que celle parcourue en 30 s à 6 km/h. Nous portons donc 30 s en coincidence avec 6 km/h et nous trouvons le résultant face à 2.000.000, que nous interprétons comme étant 20.000, pour obtenir 2,5 mm.

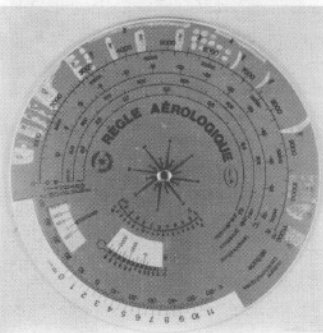
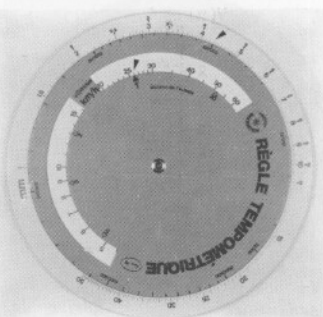
La règle aérologique

Aperçu historique et technique

Cette règle a été étudiée spécialement pour le kit. Elle regroupe des données habituellement obtenues à partir de différents documents ou règles aéronautiques.

Atmosphère standard. C'est atmosphère obtenue à partir des observations effectuées depuis des siècles sur l'ensemble de la planète. Les caractéristiques de l'atmosphère standard sont les suivantes: température au niveau de la mer: 15° ; pression au niveau de la mer: 1013,25 millibars, soit 760 mm de mercure; gradient thermique vertical: $-6,5^\circ$ tous les 1000 mètres; température au niveau de la tropopause: $-56,5^\circ$; l'air est considéré parfaitement sec. Les caractéristiques de l'atmosphère standard à différentes altitudes sont données sur l'instrument. Par exemple à un peu plus de 3.000 mètres (10.000 pieds) la température est de -5° , la pression d'environ 700 mb et la densité D d'environ 0,74 de celle du niveau de la mer (Do). Sur le pourtour de l'instrument on a porté les nuages caractéristiques à l'altitude considérée selon les symboles indiqués.

Conversions. Conversion mètres/pieds sur l'échelle des altitudes, et con-



| | |
|------|---------------------------|
| Ci | Cirrus |
| C | Cirrocumulus |
| Cs | Cirrostratus |
| Ac 1 | Alto cumulus |
| Ac 2 | Alto cumulus stratiformis |
| Ac 3 | Alto cumulus floccus |
| Ac 4 | Alto cumulus castellanus |
| Ac 5 | Alto cumulus lenticularis |
| As | Altostratus |
| Ns | Nimbostratus |
| Sc | Stratocumulus |
| St | Stratus |
| Cu 1 | Cumulus humilis |
| Cu 2 | Cumulus congestus |
| Cb | Cumulonimbus |

version degrés centigrades/farenheit sur l'échelle centrale.

Température en fonction de l'altitude. L'échelle des altitudes du disque de base et celle des températures sur le disque mobile permettent de déterminer la température à une certaine altitude connaissant la température à une altitude quelconque. Il suffit de faire correspondre une température avec une altitude pour avoir la température à différentes altitudes. Exemple: 13° à 500 mètres mettra le zéro thermique à 2500m. L'échelle étant basée sur l'atmosphère standard il est possible de constater des différences, surtout à la basse altitude, du fait des inversions thermiques et des gradients thermique anormaux. Il s'agit donc de données indicatives.

Calcul de la densité de l'air. Est effectué grâce aux échelles visibles dans les fenêtres de l'instrument. En faisant coïncider la température avec l'altitude, on peut lire la densité rapportée à celle mesurée au niveau de la mer en atmosphère standard. Pour savoir à quelle altitude on trouvera cette densité on utilise les échelles déjà décrites. Exemple: on cherche la densité de l'air à 1500 m pour une température de 25°. En faisant coïncider les 2 valeurs ci-dessus nous obtenons 0,82 fois celle du niveau de la mer. Or en atmosphère standard cette densité correspond à une altitude de 2050 m. Donc, tout en étant à 1500 m, les conditions sont celles de 2050 m. Ceci est très intéressant dans tous les cas où le rendement d'un appareil, ou de l'organisme, est fonction de la quantité d'oxygène disponible. Pour que les résultats soient précis il faut utiliser un altimètre étalonné de telle sorte que le zéro corresponde à une pression de 1013,2 mb.

La règle du sport

Aperçu historique et technique

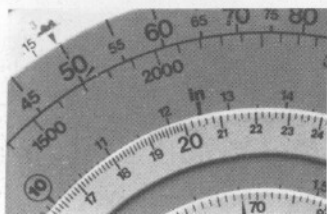
Cette règle a été spécialement étudiée pour ce kit. Auparavant la détermination des besoins énergétiques nécessitait de longs calculs et des tableaux.

Détermination des besoins énergétiques. La règle permet de déterminer les besoins énergétiques du corps humain, selon le poids, le genre et la durée des activités exercées. Elle est composée d'un disque de base, avec échelle des calories, et d'un disque mobile comportant à la périphérie une échelle des temps de 5 minutes à 7 heures. Il indique aussi une échelle des poids en kilos, de 20 à 150, ainsi qu'une échelle des apports moyens nécessaires chaque jour pour une vie sédentaire. On voit qu'une personne pesant 50 kilos a besoin d'un apport moyen journalier de 1700 calories. Les valeurs indiquées dans la fenêtre correspondent à la dépense de calories par minute de temps et par kilo de poids pour une activité donnée. Les figurines représentent quelques genres d'activité tels que course, natation, cyclisme...; les chiffres indiquent la vitesse à laquelle on se déplace. Pour déterminer les besoins énergétiques réels d'une personne il faut faire un tableau comme celui représenté. Aux besoins énergétiques d'une vie sédentaire on ajoutera les apports nécessaires pour chaque activité. Exemple: une personne pesant 75 kilos effectue au cours d'une journée les activités suivantes: 1h20m de marche à 6,5 km/h; 20 minutes de travail assez dur, en déplaçant des poids; 45 Minutes de vélo à 9 km/h. Quel est le besoin énergétique total? On trouve successivement:

| | |
|-------------------------------|---------------|
| Vie sédentaire pour 75 kilos: | 2550 calories |
| Marche 1h20m à 6,5 km/h: | 250 calories |
| Travail 20 minutes: | 105 calories |
| Vélo 45 minutes: | 87 calories |

Total: 2982 calories

Pour déterminer l'apport énergétique total lorsque l'on connaît le taux en kilo par minute (souvent indiqué à l'intention des sportifs), il suffit de faire correspondre ces deux éléments puis de lire l'apport total en



Le besoin calorique pour une vie sédentaire peut être dérivé de l'échelle en correspondance au poids.

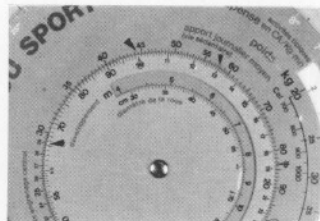


fonction du temps et du genre d'activité. Exemple: 25 minutes de fleuret (0,15 cal/kg) pour une personne de 50 kilos. Mettant 50 face à 0,15 on lit calories en regard de 25 minutes.

Valeur énergétique des aliments. Le sportif et tous ceux qui effectuent des efforts sont intéressés par la valeur énergétique des aliments. Il faut se procurer un tableau donnant cette valeur pour un certain nombre de produits, puis on utilise la petite règle à calcul disposée au milieu de l'instrument, dont le fonctionnement est identique à la règle déjà décrite et fournie séparément dans le kit. Exemple: calories dans 100 gr. de chocolat: 445; on met 10 lu sur l'échelle mobile en coincidence avec 44,5 (pour 445) ce qui permet d'avoir toutes les correspondances désirées: 290 calories pour 65 gr. ou 580 calories dans 130 gr.

Développement d'un coup de pédale. La petite règle centrale donne cette valeur en fonction du rapport de transmission et du diamètre de la roue. On fait coincider le nombre des dents de l'engrenage central (échelle sur le disque de base), par exemple 41, avec le nombre de dents de l'engrenage arrière (échelle mobile), par exemple 13. En regard du diamètre de la roue (p.e 68 cm) on lira le développement du coup de pédale: 6,73 mètres. La flèche sur 10 donne le rapport de transmission.

Conversions. La règle centrale permet d'effectuer des conversions livres/kilos et pouces/cm comme nous l'avons indiqué pour la règle à calcul.



La règle radio

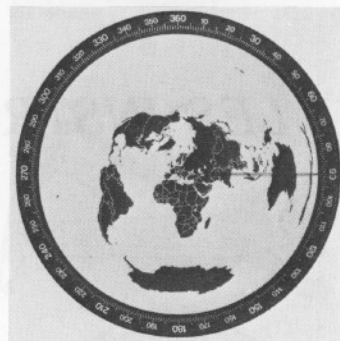
Aperçu historique et technique

La carte azimutale représentée sur l'instrument est une projection centrée sur l'Europe qui permet d'obtenir immédiatement la direction de n'importe quel endroit pour un observateur situé au centre. Elle donne une autre vision de la répartition des continents par rapport à la disposition habituelle obtenue par la projection de Mercator. Ces cartes sont utilisées à des fins militaires et pour les radio-communications. La carte représentée sur le calculateur de fuseaux horaires est aussi une carte azimutale mais avec le pôle nord comme centre.

Préparation de l'instrument. Avec une aiguille faire un petit trou au centre et passer un fil que l'on fixera au dos par un morceau d'adhésif. **Azimut d'un lieu par rapport à l'Europe.** Faire passer un fil par le lieu dont on veut l'azimut et lire cette valeur sur l'échelle extérieure. Par exemple en regardant vers l'Est (Azimut 90°) on passe sur Kabul, Delhi, Bali, Sydney et Christchurch. Remarquez la différence énorme avec la carte de Mercator qui donne l'impression d'avoir la Mongolie et la Mandchourie à l'est de l'Italie. Les lignes droites issues du centre sont les routes orthodromiques, c'est à dire les plus courtes sur la terre, et donc aussi le trajet suivi par les ondes radio. On peut alors orienter une antenne pour obtenir la meilleure réception comme le font les radio-amateurs. Enfin cette carte permet d'avoir les distances des différents points du globe toujours à partir du centre.

Conversions longueur d'onde/fréquence. L'échelle imprimée au verso, à la périphérie, donne les conversions en question. Par exemple 1MHz = 500 m; 0,300 MHz = 100 KHz = 1000 m etc...

Autres renseignements. La règle donne l'alphabet phonétique international, le Morse, et les fréquences de sécurité utilisées dans la marine.



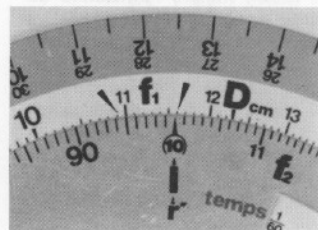
La règle optique

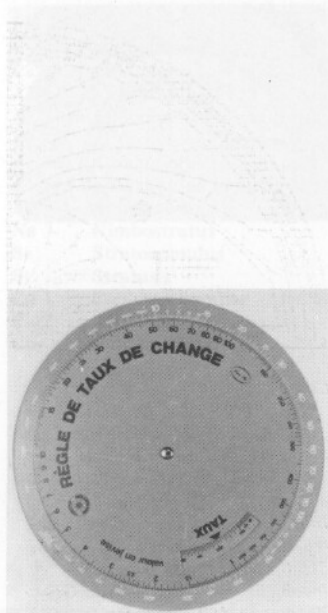
Aperçu historique et technique

L'instrument a été étudié spécialement pour le kit.

Il permet d'obtenir les différents éléments nécessaires au photographe ou à celui qui utilise des instruments d'optique comme les jumelles ou les lunettes terrestres.

Grossissement. Est obtenu en divisant la distance focale de l'objectif par





celle de l'oculaire. Exemple: focale de l'objectif 1100 mm et focale de l'oculaire 9,5 mm. En faisant coïncider 1100 de l'échelle du disque de base avec 9,5 sur celle du disque mobile on obtient le résultat 116 en regard de la flèche (10).

Pouvoir séparateur. Donne la distance angulaire minimum permettant de voir deux points comme deux objets séparés. On fait correspondre la flèche D avec le diamètre de l'objectif en centimètres et on lit la valeur du pouvoir séparateur en centièmes de secondes d'arc. Exemple: diamètre 15 cm; pouvoir séparateur 82/100 soit 0,82 seconde d'arc.

Expositions équivalentes. L'échelle de la fenêtre permet de déterminer les expositions équivalentes en faisant varier le temps et le diaphragme. Exemple: 1/15 de seconde à f/11 est équivalent à 1/60 de seconde à f/5,6.

Conversion DIN-ASA. Sur l'instrument se trouve une échelle de conversion entre les deux unités de mesure de sensibilité des films. Exemple: 200 ASA = 24 DIN.

La règle taux de change

Aperçu historique et technique

L'instrument a été étudié spécialement pour le kit et permet de régler tous les problèmes liés au taux de change.

L'emploi de l'instrument est très simple: après avoir mis la flèche sur le taux de la devise on lit la valeur en francs (échelle extérieure) en correspondance avec n'importe quelle quantité de la devise considérée ou vice-versa. Exemple: taux du dollar: 6.3 francs. 30 francs = 4.76 dollars; 3000 francs = 476 dollars; 22 dollars = 138,6 francs... etc.

LES INSTRUMENTS DE MESURES

Le cadran

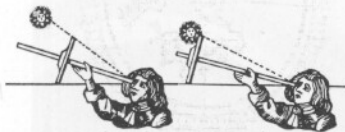
Aperçu historique et technique

Le cadran (ou quadrans ou quartier), est l'un des plus vieux instruments utilisés par les astronomes et les navigateurs. Au cours des millénaires l'instrument a été réalisé sous des formes très variées et utilisé pour des objectifs très divers. Ils incluent l'appareil décrit par Ptolémée dans son *almageste* et employé pour mesurer la hauteur méridienne du Soleil; les cadrans pour emploi militaire et topographique de la Renaissance; les énormes cadrans muraux en métal; les petits cadrans de poche pouvant être utilisés comme cadran solaire. Vers la moitié du XVII^e siècle les cadrans furent remplacés par des instruments bien plus précis: dans la marine par le double cadran de Davis et ensuite par les octants et les sextants; dans le domaine astronomique par des instruments optiques toujours plus perfectionnés.

Préparation de l'instrument. Afin de bien utiliser l'instrument on doit prendre un fil à plomb que l'on fixe au point central du cercle, après avoir percé un trou en ce point pour passer le fil. La fixation peut se faire au moyen d'un tissu adhésif ou d'un noeud.

Le cadran sert à la mesure de la hauteur angulaire d'un astre ou de n'importe quel point au-dessus de l'horizon. L'objet doit être observé en tenant le cadran verticalement, l'oeil placé à l'extrémité du rayon sur lequel est dessiné l'image d'un oeil, en regardant dans le sens de la flèche. On vise alors l'objet et lorsque le fil a cessé d'osciller on le bloque avec les doigts pour faire la lecture.

Le cadran comme clinomètre. Le cadran peut facilement être utilisé pour mesurer les inclinaisons en disposant l'axe de visée parallèlement à la pente et en lisant l'angle indiqué par le fil à plomb.



Le dessin illustre l'utilisation du bâton de Jacob employé par les marins au Moyen Age, jusqu'à la Renaissance, pour mesurer la hauteur des astres. L'observateur mettait l'extrémité du bâton près de son oeil et réglait le curseur pour que sa partie basse soit à l'horizon et sa partie haute en contact avec l'astre. La hauteur se lisait sur le bâton au droit du curseur.

Le cadran azimutal

Aperçu historique et technique

Depuis l'antiquité on utilise des instruments pour mesurer les angles sur un plan horizontal. Cela va des petits instruments portables pour des relevés topographiques rapides aux instruments énormes utilisés en astronomie. L'instrument fourni dans le kit comporte un vernier, du nom de son inventeur, qui permet à l'aide d'une échelle auxiliaire d'améliorer la précision de lecture sur une échelle. Dans le passé on employa aussi l'échelle tychonique due à Tycho Brahé au XVI^{ème} siècle.

Le cadran azimutal, situé horizontalement et orienté correctement suivant les points cardinaux, permet de définir l'azimut d'un astre ou d'un objet, c'est à dire l'angle que forme la direction de cet objet par rapport au nord. La lecture s'effectue en visant l'objet en coïncidence avec les arêtes verticales de l'alidade mobile. L'azimut est lu sur le cercle gradué en face de la flèche au dessus de la fenêtre de l'alidade. Pour orienter le cadran on peut utiliser n'importe quel objet d'azimut connu, par exemple l'étoile Polaire. L'instrument permet aussi de mesurer l'angle sous lequel on voit deux objets quelconques.

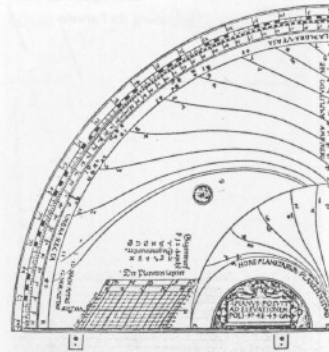
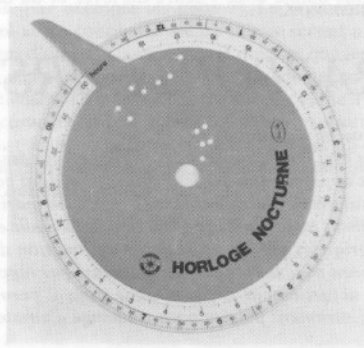
Le vernier. Près de la flèche servant à lire la mesure se trouve le vernier qui permet d'évaluer les fractions de degré égales à 10'. Lorsque la flèche ne tombe pas juste en face d'une graduation on cherche la coïncidence entre un trait du vernier et un trait de l'échelle. On retient la graduation du vernier qui donne les minutes d'arc une fois multipliée par 10.

L'horloge nocturne

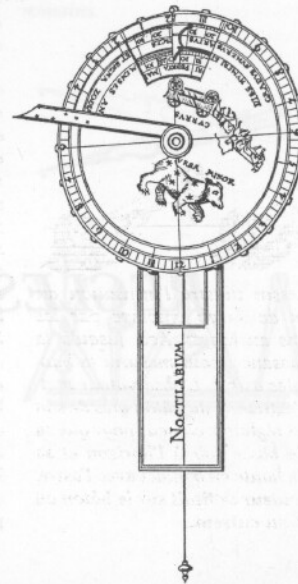
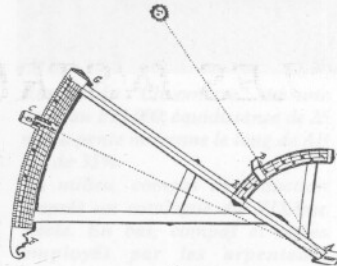
Aperçu historique et technique

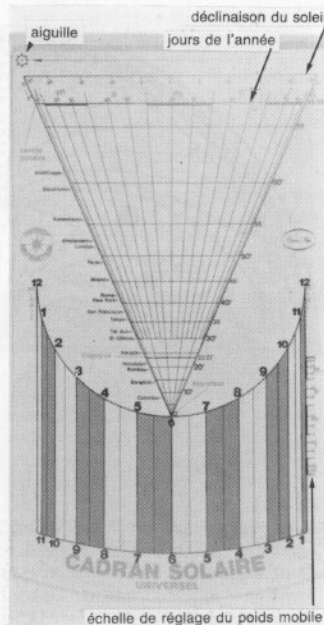
L'horloge nocturne, également appelée nocturlabe, fut inventée au XII^{ème} siècle. Elle permet de déterminer l'heure de la nuit en observant la position de la Grande ourse par rapport à l'étoile Polaire. Sur des modèles anciens se trouvaient des petites boules ou des dentelures, situées le long de l'échelle des heures, qui permettaient d'effectuer la lecture, si l'on peut dire, de manière tactile sans éclairage.

L'horloge nocturne est composée d'un disque de base, comportant l'échelle des heures et celle des dates et d'un disque mobile sur lequel se trouvent les étoiles de la Grande et de la Petite ourse, plus une aiguille dépassant le cercle de base. L'emploi en est très simple: tenir l'horloge de manière que la date soit exactement au bas de l'instrument (les modèles anciens étaient pourvus d'un fil à plomb) et viser l'étoile Polaire au travers de l'ouverture centrale. Tourner alors l'aiguille de telle sorte qu'elle soit parallèle à la droite joignant les étoiles α et β de la Grande ourse. L'heure est donnée au droit de l'arête du curseur. Cette horloge permet de constater que la Grande Ourse, comme toutes les étoiles, reprend tous les jours la même position dans le ciel mais avec environ 4 minutes d'avance sur la veille.



Cadran de Pietr Bienewitz, dit Apiano (1491-1551). Outre les graduations normales il comporte des lignes courbes qui le rendent utilisable comme cadran solaire. Au milieu on voit le double cadran de John Davis, datant de 1595, qui représente une amélioration considérable par rapport au Bâton de Jacob. En bas, nocturnal de Georg Hartmann de Nuremberg en 1535.





Le cadran solaire universel

Aperçu historique et technique

L'histoire des cadrans solaires est aussi vieille que celle de la civilisation et demanderait un volume entier pour être racontée. Le cadran solaire du kit est une édition moderne d'un instrument inventé par l'allemand Johan Muller, dit Regiomontanus, au XV^{ème} siècle. Il permet d'obtenir l'heure en fonction de la hauteur du Soleil dans le ciel sans l'aide d'une boussole. Un dispositif pour l'orientation est en revanche nécessaire dans les cadrans solaires qui fournissent l'heure à partir de l'angle horaire du soleil. L'horloge de Regiomontanus a en outre le grand avantage de pouvoir être utilisée à n'importe quelle latitude, mais ici on s'est limité au cercle polaire.

Préparation de l'instrument. Pour utiliser l'instrument il est nécessaire de disposer d'une aiguille et d'un fil auquel sera suspendu un poids. Il est ensuite nécessaire d'avoir une marque mobile le long du fil, ce qui peut être réalisé par un petit plomb de pêche. L'aiguille sera piquée au centre du soleil, représenté dans le haut gauche de l'instrument, perpendiculairement au plan de l'horloge.

Le cadran solaire universel. Permet de connaître l'heure vraie locale. Il est divisé en deux parties: l'une à employer de juin à décembre et l'autre de décembre à juin. Le triangle représenté dans la partie supérieure sert à régler l'instrument à l'aide du fil à plomb en fonction de la latitude, de la date ou de la déclinaison du Soleil; ces deux éléments sont donnés sur les échelles horizontales au haut de l'instrument. Au dessus de ces échelles on trouve l'image du Soleil dans laquelle sera piquée l'épingle et un trait sur lequel l'ombre de l'épingle devra venir se projeter. La partie basse de l'instrument est le cadran horaire. A droite de la verticale de midi on voit une échelle verticale avec des dates pour le réglage du poids mobile. Pour utiliser l'instrument prendre le fil à plomb et le faire passer, en le tenant avec un angle, à l'intersection des droites correspondant à la date (ou déclinaison) et à la latitude du lieu. Ensuite faire glisser le poids mobile pour qu'il coïncide avec la même date sur l'échelle latérale. On oriente alors l'instrument pour qu'il soit rigoureusement dans le plan vertical du Soleil avec l'ombre de l'aiguille exactement superposée à la ligne horizontale du haut de l'horloge. L'heure sera marquée par la position du poids mobile sur le cadran horaire. L'opération est un peu longue à expliquer mais peut être effectuée en quelques secondes.

Le cadran comme instrument de calcul. Le cadran universel peut être employé comme table pour calculer la hauteur du Soleil à n'importe quelle heure de n'importe quel jour, dans n'importe quel endroit. Il suffit d'incliner le cadran jusqu'à ce qu'il indique l'heure connue du lieu où l'on se trouve et de mesurer l'angle entre la direction du fil et celle de la ligne du haut de l'horloge. Remarquons que ceci peut aussi être réalisé en couchant le cadran horizontalement sur une table et en amenant le fil à plomb à la main dans la position correcte. Si nous amenons le fil perpendiculairement à la ligne de référence, la hauteur du Soleil est alors nulle et nous donne donc l'heure du lever et du coucher.

REGLES ET RAPPORTEURS

Aperçu historique et technique

Le rapporteur, en tant qu'instrument destiné à mesurer des angles, recouvre de nombreux appareils suivant leur utilisation, dont par exemple les rapporteurs circulaires et les nombreuses règles de marine. Les règles donnant les distances ou les durées en fonction de l'échelle et de la vitesse, sont souvent fabriquées par les utilisateurs en fonction de leur besoin. Le curvimètre donné avec le kit est assez sommaire par rapport aux modèles sophistiqués actuellement sur le marché mais il permet cependant des mesures suffisamment précises pour un usage d'amateur. Le "clino-

"mètre" est basé sur le principe des échelles clinométriques, employées par les topographes. Le compas de réduction du kit est une application du compas de proportions, instrument de calcul inventé par Galilée.

Le rapporteur

Le rapporteur exige une petite opération de préparation: faire un petit trou au centre pour passer un fil que l'on fixera au verso à l'aide d'un tissu adhésif. L'appareil sert à mesurer des angles sur la carte, par exemple les angles de route, les azimuts... etc. Les lignes parallèles orientées du nord au sud servent à positionner l'instrument sur la carte, même si le centre ne se trouve pas exactement sur un méridien. Pour mesurer l'azimut d'un point donné A sur la carte, on place le centre du rapporteur sur A et on tend le fil pour qu'il passe par l'autre point. La lecture se fait en prenant la graduation de la rose en coïncidence avec le fil. Les angles de route sont mesurés de la même manière. Se reporter si besoin au paragraphe "mesurer des angles sur les cartes".

Règle pour les distances

Elle donne immédiatement les distances en kilomètres pour les cartes dont l'échelle est prévue sur la règle.

Règle pour les temps de parcours

Comme pour les distances elle donne les temps de parcours en fonction de l'échelle et de la vitesse. Entre les 12 règles fournies dans le kit on choisira celle qui se rapproche le plus du problème que l'on a à résoudre.

Curvimètre

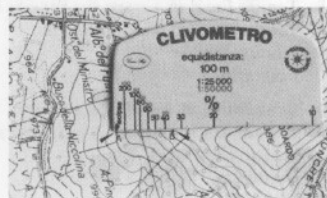
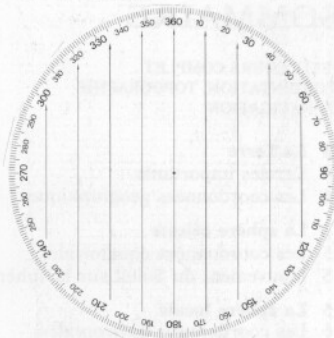
Sert à mesurer les distances sur les cartes en suivant des lignes courbes. On règle l'instrument à zéro et on fait rouler la molette du point de départ jusqu'à l'arrivée, en s'assurant qu'à tout moment elle roule sans glisser. La distance est affichée sur le cadran en fonction de l'échelle.

Clinomètre

Sert à évaluer la pente moyenne à partir des lignes de niveau indiquées sur les cartes. On fait coïncider la flèche "isoipsa" avec une ligne de niveau sur le trajet qui nous intéresse et on lit la pente sur le point de l'échelle en concordance avec une autre ligne décalée de ± 100 mètres. L'instrument est prévu pour des cartes au 1/25.000 et 1/50.000 mais en interpolant on peut l'utiliser avec d'autres échelles.

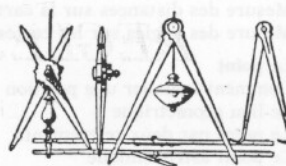
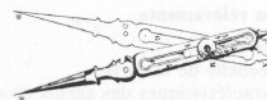
Compas de proportion

Peut être employé comme compas de correspondance, pour mesurer la distance d'un point à un autre sur une carte ou sur une échelle, ou comme compas de réduction. Il peut en fait représenter une longueur soit en réduction soit en agrandissement et son emploi est simple et intuitif. On ouvre les branches du compas de manière à faire correspondre les extrémités d'un segment avec deux points de même valeur sur le compas (par exemple les deux 1). Les segments compris entre n'importe quel autre couple de même valeur seront alors proportionnels au segment d'origine dans le même rapport que les valeurs correspondantes du compas. Pour reproduire cinq longueurs à 60% on mesurera chaque élément l'un après l'autre sur le couple 1 puis on tracera les segments compris entre les deux 0.6. Pour résoudre la relation suivante: $5,5/1,5 = 8,5/x$ on portera les deux 0.55 sur un segment de longueur 1,5 et en correspondance de deux 0,85 on mesurera un segment d'environ 2,3 qui est la valeur cherchée.



Emploi du "Clivomètre" sur une carte au 1/25.000; équidistance de 25 m. La pente moyenne le long de AB est de 35%.

Au milieu, compas de réduction d'après un catalogue du XIXème siècle. En bas, compas et règles employés par les arpenteurs romains.



SOMMAIRE

PETIT COURS COMPLET D'ORIENTATION, TOPOGRAPHIE ET NAVIGATION

- 00 La Terre**
 - 4 Cercles importants
 - 4 Les coordonnées géographiques
- 5 La sphère céleste**
 - 5 Les coordonnées équatoriales
 - 5 Mouvement du Soleil sur la sphère céleste
- 5 La sphère locale**
 - 6 Les coordonnées horizontales
 - 6 Orientation d'une rose des vents
 - 6 Le cercle méridien
 - 7 Le ciel à différentes latitudes
 - 7 Déclinaison et arc diurne
- 8 Le temps**
 - 8 Temps solaire et temps sidéral
 - 9 Temps local et temps du fuseau horaire
 - 9 Temps vrai et temps moyen
- 10 L'heure légale
- 10 Formules
- 11 Grandeurs et unités de mesure**
 - 11 Grandeurs scalaires et grandeurs vectorielles
 - 11 Distances
 - 12 Vitesse
 - 12 Pression
 - 12 Altitude et profondeur
 - 12 Angles
 - 12 **La boussole (ou Compas)**
 - 12 La Déclinaison magnétique
 - 12 La déviation
 - 13 La boussole en pratique
- 13 Route et cap**
 - 13 La dérive
 - 14 Calculs de route et de cap
- 14 Les relevements**
- 15 Les cartes**
 - 15 L'échelle de la carte
 - 15 Caractéristiques des cartes de navigation
 - 16 La représentation des reliefs
 - 16 Familiarisation
 - 16 Orientation de la carte
 - 16 Mesure des distances sur la carte
 - 17 Mesure des angles sur les cartes
- 19 Le point**
 - 19 Comment indiquer une position
 - 19 Le lieu géométrique
 - 19 Le point par deux relevements
 - 19 Le point astronomique
- 21 Suivre des route déterminées à l'avance.**

- 21 Methodes de navigation**
 - 21 La navigation observée
 - 21 La navigation estimée
 - 21 La navigation par relevement
 - 22 Exemple d'une navigation mixte
- 22 La preparation de la route**
 - 22 Définition de la route
 - 23 Etude de la route
 - 23 Le tableau de marche
- 24 Problèmes de topographie**
 - 24 Détermination des distances et des hauteurs par des mesure angulaires
 - 24 Détermination de la verticale et de l'horizontale
 - 24 Inclinaison d'un plan
 - 24 Mesure des distance sur le terrain
 - 25 Relevement planimétrique
 - 26 Relevement altimétrique
 - 26 Mesure des surfaces sur la carte

INSTRUCTIONS POUR L'EMPLOI DES INSTRUMENTS

LES INSTRUMENTS DE CALCUL

- 28 La règle a calcul
- 29 La règle astronomique
- 30 Les astrolabes
- 32 Le calculateur des fuseaux horaires
- 33 La règle topographique
- 34 Distance de l'horizon
- 34 La règle clinométrique
- 35 La règle de navigation 2
- 36 La règle de navigation 1
- 37 La règle "tempométrique"
- 37 La règle acrologique
- 38 La règle du sport
- 39 La règle radio
- 39 La règle optique
- 40 La règle du taux de change (devises)

LES INSTRUMENTS DE MESURE

- 40 Le cadran
- 41 Le cadran azimutal
- 41 L'horloge nocturne
- 42 Le cadran solaire universel

REGLES ET RAPPORTEURS

- 43 Le rapporteur
- 43 Règle pour les distances
- 43 Règle pour les temps de parcours
- 43 Curvimètres
- 43 Clinomètres
- 43 Compas de proportion