
LE POINT

Définitions

Faire le point, c'est localiser l'emplacement où l'on est, en précisant ses coordonnées (latitude et longitude).

Il existe plusieurs manières de faire le point: si on est en vue de "points remarquables" dont on connaît l'emplacement sur une carte, on effectuera un point cartographique; si on est en pleine mer, loin de tout amer, on pourra se placer sur la sphère terrestre grâce à la position des astres (c'est le point astronomique), à l'aide de signaux radio-électriques (LORAN, radiogoniométrie...), ou, de façon plus moderne, grâce à une triangulation mettant en jeu des satellites artificiels (GPS ou Galileo).

Nous nous intéresserons essentiellement, ici, au point cartographique.

Les sources de données pour le positionnement

Ces sources de données sont essentiellement au nombre de six: cap du bateau; alignement; relèvement; gisement; ligne de sonde; cercle de distance. Un point est déterminé par la connaissance d'au moins deux éléments (lignes, cercles ou courbes quelconques), permettant de le définir à leur intersection.

Le cap

Définition

Le cap d'un bateau est l'angle que fait l'axe longitudinal de ce bateau, appelé ligne de foi du bateau, avec la direction du nord.

Mesure

Le cap d'un bateau, repéré par rapport au nord, peut être déterminé:

- Par des moyens magnétiques : la boussole et son évolution le compas;
- Par des moyens magnéto-électriques, tels le compas fluxgate;
- Par des moyens mécaniques, qui, eux, ne font pas appel au champ magnétique terrestre: le gyroscope (ou le compas gyroscopique).

On abordera dans le chapitre 5 le problème de la différence entre nord magnétique et nord géographique.

Intérêt

L'intérêt de connaître le cap d'un bateau est évident, ne serait-ce que pour savoir où l'on va, et quels sont les obstacles possibles sur la route! C'est le but final de la navigation que de donner au pilote le cap à suivre sur ses instruments afin que le tracé de la route sur la carte corresponde à celui qu'on a déterminé.

Alignement

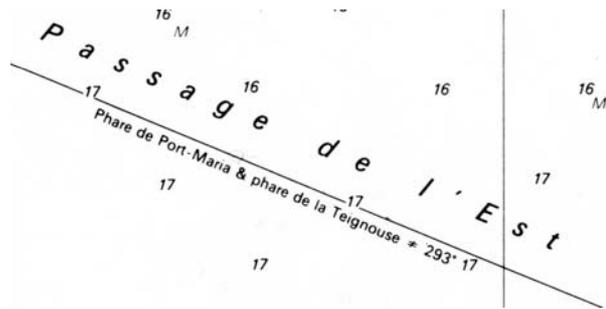
Définition

Un alignement est défini par l'existence d'une droite qui joint deux points remarquables (amers). Les alignements importants et reconnus sont mentionnés dans les instructions nautiques et sont transcrits sur les cartes nautiques.

Dénomination

Un alignement, par définition, fait appel à deux éléments remarquables d'une carte, quels qu'ils soient: pointe, phare, tour, rocher, épave... (mais pas les balises, sujettes à mouvements). La dénomination de ces alignements fait apparaître les deux points mais parfois aussi la position de l'un par rapport à l'autre.

C'est ainsi que l'alignement qui passe par la pointe Saint Antoine et le mât du sémaphore peut être désigné par "La pointe Saint-Antoine & le mât du sémaphore", ou "La pointe Saint-Antoine par le mât du sémaphore", si le mât du sémaphore est situé devant la pointe, ou "Le mât du sémaphore par la pointe Saint-Antoine" si le mât du sémaphore est situé en arrière de la pointe, dans la direction considérée.



Représentation cartographique

Les alignements sont figurés par une ligne de couleur noire, portant généralement le nom de l'alignement et sa valeur angulaire. Pour des raisons de surcharge des cartes nautiques, la ligne peut ne pas être prolongée jusqu'aux amers mentionnés.

Intérêt de l'alignement

Les alignements mettent en jeu deux points fixes situés sur le sol. Ils sont donc immuables et précis (leur valeur est donnée souvent au $\frac{1}{2}$ degré près). D'autre part, on verra plus bas qu'ils ne sont pas affectés par des corrections, qui sont en revanche nécessaires à d'autres sources de données.

Relèvement

Définition

Le relèvement d'un amer est l'angle que la demi-droite qui joint le point d'observation et cet amer fait avec la direction du nord.

Mesure

La mesure d'un relèvement se fait à l'aide d'un compas... de relèvement, qui permet de juxtaposer l'image du point relevé (soit en vision directe, soit avec un instrument d'optique) et celle d'un compas, donnant la valeur de ce relèvement par rapport au nord, donné par le compas.

Expression

Un relèvement doit être exprimé par un angle, mesuré sur toute l'étendue du cercle de mesure, donc de 0° à 360° . C'est d'ailleurs l'indication qui est directement donnée par le compas de relèvement! On parlera donc d'un relèvement à 336° ou à 72° .

Report sur la carte

Le report d'un relèvement sur la carte, après des corrections qui seront exposées plus bas, se fait à partir de l'objet relevé. Il faut donc transformer l'expression "je vois le phare avec un relèvement de 73° " en expression "le phare me voit avec un relèvement de x° ".

La solution à ce problème est simple: il suffit d'ajouter 180° (ou de les retrancher, si le relèvement initial dépasse cette valeur) au relèvement effectué. Si le résultat dépasse 360° , on retranche 360° de la valeur trouvée.

Exemples:

Je relève le phare de Cordouan au 93° . Sur quelle ligne passant par Cordouan est-ce que je me trouve?

La réponse est simple: le phare de Cordouan me relève au $(180+93)=273^\circ$, il suffit donc de tracer une demi-droite issue de Cordouan et faisant avec la direction du nord un angle de 273°

Je relève le sémaphore de l'Espiguette au 212° . Sur quelle ligne passant par ce sémaphore me trouvé-je? Que pensez-vous de la mesure du relèvement?

Comme 212 est supérieur à 180 , on enlève 180° de 212° pour trouver le résultat: 32° . Si on avait ajouté 180° , on aurait obtenu 392° qui est supérieur à 360° , et qui est donc équivalent à $(392-360)=32^\circ$, ce qui est évidemment le même résultat. On mène donc par l'emplacement sur la carte du sémaphore une demi-droite, issue de celui-ci, faisant avec le nord un angle de 32° ... ce qui nous place en plein dans les terres?

Gisement

Définition

Un gisement est l'angle que fait la demi-droite qui joint l'observateur, placé sur un mobile dont la direction ne varie pas, et le point considéré, avec la direction de ce mobile (qu'on appelle, sur un bateau, ligne de foi).

Mesure

La mesure visuelle d'un gisement nécessite un appareil particulier ("théodolite"), calé sur la ligne de foi du bateau; le gisement peut être toutefois déterminé par d'autres méthodes (radar, en particulier).

Relation entre gisement et relèvement

Le relèvement est directement lié au gisement par la connaissance de la direction de la route du bateau avec le nord (appelée cap): le gisement d'un amer est égal à la différence entre son relèvement et le cap du bateau. Si cette différence est négative, il suffit d'ajouter 360° pour obtenir une valeur positive.

Intérêt du gisement

Du fait de l'existence d'une relation soustractive, si les deux éléments qui déterminent le gisement (relèvement et cap) doivent être corrigés (voir ci-dessous), cette correction n'affecte pas le gisement.

Exemple

Un bateau, qui fait route plein ouest, relève une cardinale nord au 317° . Quel est le gisement de cette balise par rapport à la route du navire? Que peut-on en conclure?

La route du bateau est 270° (ouest= $3 \times 90^\circ$). La cardinale est relevée au 317° , ce qui donne pour le gisement une valeur $g = 317-270=47^\circ$. On peut conclure de ceci que cette cardinale nord est sur l'avant tribord du bateau, et que le capitaine a du souci à se faire... (rappel: une bouée cardinale nord indique la limite nord d'un danger, ce qui signifie que le danger est au sud de cette bouée...)

Ligne de sonde

Définition

Les lignes de sonde sont des courbes, qui joignent les points de même profondeur. Sur les cartes figurent les lignes de sonde correspondant à certaines profondeurs: 5,10,20,50... mètres.

Utilisation

Pour utiliser les lignes de sonde, il faut connaître la hauteur d'eau sous le bateau, ramenée aux conditions dans lesquelles la carte est dressée (voir le chapitre précédent). Il faut donc éventuellement corriger la hauteur lue (marée, pression...). D'autre part, cette technique n'est valable que pour des points déterminés, situés sur une ligne de sonde reportée sur la carte.

En pratique, les lignes de sonde sont peu utilisées; elles servent essentiellement à vérifier la conformité de la détermination d'un point.

Exercice sur la carte 9999

Placer les points qui correspondent à l'intersection de la ligne des 10m et de la route qui joint les cardinales "les Sœurs" et "Er Sperneg Vras"

Cercle de distance

Définition:

Si on connaît la distance qui sépare le navire d'un amer remarquable, on peut tracer sur la carte un cercle, de centre l'amer et de rayon cette distance; le bateau se trouve sur le cercle.

Mesure:

Il y a plusieurs techniques qui permettent de mesurer cette distance:

S'il s'agit d'un amer dont la hauteur est connue (ex: un phare, un sommet...), en connaissant l'angle que fait le sommet avec l'horizontale (mesurée avec un compas, un sextant...), on peut déterminer, à l'aide de tables, la distance qui sépare le point d'observation (bateau) de la base ou du sommet de l'amer.

Certaines balises sont dotées d'un répondeur-radar, qui permet, si le bateau est équipé d'un radar, de mesurer la distance bateau-balise, mais aussi son gisement.

Report sur la carte:

Comme précisé plus haut, le bateau se trouve sur un cercle centré sur le point remarquable et dont le rayon est égal à la distance mesurée.

Utilisation du compas à pointes sèches

Description

Le compas à pointes sèches existe sous deux formes: le compas "droit", où les deux branches de ce compas sont rectilignes, et le compas "courbe" ou "lyre", dont les deux branches, galbées, offrent l'intérêt d'être moins tangentes à la surface de la carte que celles du compas droit.

Quelle que soit sa forme, le compas à pointes sèches a comme fonction le report des longueurs sur une carte.

Mesure de la distance entre deux points à l'aide du compas.

Bases de la mesure

Elle est basée sur plusieurs principes, déjà exposés:

- ❶ Les cartes marines présentent des graduations qui correspondent à la latitude et à la longitude;
- ❷ Pour la mesure des distances, il ne faut pas utiliser l'échelle de la carte qui, du fait de type de projection (Mercator) n'est pas la même sur la partie nord et sur la partie sud de la carte;
- ❸ La définition du mille "une minute d'arc mesurée sur un grand cercle de la circonférence terrestre" ne peut s'appliquer qu'aux méridiens (graduation verticale), puisque les parallèles (à l'exception de l'équateur...) ne sont pas des grands cercles.

Réalisation de la mesure

- ❶ Premier temps: on repère les points dont il faut mesurer l'écart;
- ❷ Deuxième temps: on place une des pointes sur le premier point, et on ouvre le compas de manière à mettre la deuxième pointe sur le deuxième point. Le compas a ainsi "en mémoire" la distance sur la carte entre les deux points.
- ❸ Troisième point: on reporte cette distance sur l'échelle verticale (des latitudes). Comme l'échelle d'une carte en projection de Mercator est variable, il faudrait, pour

être rigoureux, travailler à la même latitude moyenne que celle du segment dont on doit mesurer la longueur. En pratique, on se rapproche le plus possible de cette condition, qui, cependant, n'est pas absolue. Le plus simple, pour cette mesure, est de faire placer une des pointes du compas, toujours ouvert, sur une graduation "simple" de la carte (un nombre entier de minutes, voire de dizaines entières de minutes) et de repérer où se place la deuxième pointe. La lecture de l'écart angulaire, en minutes, donne l'écart en milles marins des deux points.

Précautions à prendre:

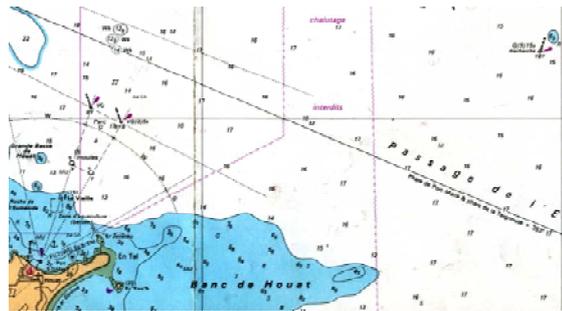
- ❶ Bien repérer les points;
- ❷ Etre soigneux dans le placement des pointes du compas; le compas lyre est à recommander; la forme de ses branches minimise l'erreur de placement;
- ❸ Ne pas utiliser les graduations des longitudes; c'est l'erreur la plus grave, car elle conduit à des résultats vraiment erronés;
- ❹ Faire attention à la lecture (et à la soustraction entre les latitudes des deux points) lors du report de la distance sur les graduations des latitudes.
- ❺ Et, de toute façon, faire preuve de bon sens en estimant la distance à vue de nez avant de la mesurer. S'il y a un écart majeur, refaire la mesure, mais surtout vérifier les graduations sur les latitudes!

Exercice 3.2:

Quelle est la distance qui sépare le feu du port d'Houat de la cardinale "La Recherche"?

A la vitesse de 5,25 nœuds, quel est le temps nécessaire pour parcourir ce trajet?

On décide d'aller du feu du port d'Houat vers la cardinale N, située au N-NE du feu. Combien de temps après le départ atteindra-t-on la sonde des 10m?



Mesure de la latitude et de la longitude d'un point

C'est une variante de la mesure précédente: il faut mesurer l'écart angulaire entre un point et une droite (parallèle ou méridien). Cette mesure doit se faire pour la latitude sur un méridien et sur un parallèle en ce qui concerne la longitude. Il faut donc mesurer ces écarts angulaires sur des lignes parallèles, respectivement à un méridien et à un parallèle, ou perpendiculaires, toujours respectivement toujours à un parallèle et à un méridien.

Il est plus simple, avec les instruments dont nous disposons, de déterminer des perpendiculaires que des parallèles: en plaçant une règle Cras (dont nous verrons l'utilisation générale plus loin) de façon à faire coïncider la ligne qui joint les deux graduations "90°" avec un parallèle (ou un méridien), les grands bords de cette règle sont alors parallèles, respectivement, à un méridien ou à un parallèle.

Il faut remarquer qu'il ne s'agit plus de mesurer des distances; on se servira donc, pour mesurer la latitude, des repères verticaux mais, pour la longitude, ce sont les repères horizontaux qui seront utilisés.

Mesure de la latitude

Par le point dont on doit établir les coordonnées, on place grossièrement un des grands bords de la règle Cras en position verticale et on oriente celle-ci de manière à ce qu'un parallèle (ligne horizontale du quadrillage de la carte) passe sur la ligne qui relie les deux graduations "90°" d'un des deux cercles de la règle (ou d'une ligne parallèle à celle-ci). Les bords de la règle sont ainsi parallèles aux méridiens. (Astuce: en "piquant" le point avec une

pointe du compas, on peut faire pivoter la règle autour de ce point fixe, et ainsi facilement l'orienter).

En maintenant la règle dans cette position, on mesure, avec le compas à pointes sèches, la distance qui sépare le point du parallèle le plus proche (qui peut être ou non celui qui a été utilisé pour l'orientation de la règle). Nota: si on a utilisé l'astuce précédente, le travail est facilité: il y a déjà une des deux pointes du compas qui est placée!

Comme dans la mesure d'une distance, on reporte alors, au niveau de l'échelle des latitudes (celle figurant sur les bords latéraux de la carte) cette écart angulaire, qu'on mesure de la même façon.

Il faut enfin ajouter (si l'écart angulaire a été mesuré en direction du nord, c'est à dire si le point dont on cherche la latitude est au sud du parallèle) ou retrancher (s'il a été mesuré en direction du sud) cette valeur de celle qui correspond au méridien.

Mesure de la longitude

C'est le même principe, en mesurant l'écart du point par rapport à un méridien, en reportant cet écart sur les quadrillages correspondant aux longitudes (haut et bas de la carte). Le seul point supplémentaire est l'existence de longitudes E et W.

Exercice 3.3 sur la carte 9999

Sur la carte précédente (3.2), donnez les coordonnées du point d'intersection de la route qui joint sépare le feu du port d'Houat de la cardinale "La Recherche" d'une part, et le l'alignement "Phare de Port-Marie & phare de La Teignouse".

Placement d'un point sur la carte.

C'est le problème inverse du précédent: il faut déterminer l'emplacement d'un point dont on connaît latitude et longitude. On va exposer la méthode pour la latitude seulement; pour la longitude c'est exactement le même principe.

- ❶ Premier point: on essaie de placer grossièrement le point dont on connaît les coordonnées;
- ❷ Deuxième point: on repère la ligne horizontale (parallèle) qui est la plus proche de la latitude demandée;
- ❸ Troisième point: on repère, avec le compas à pointes sèches, la différence angulaire entre ce parallèle et la valeur donnée, vers la haut ou le bas de la carte selon le parallèle choisi;
- ❹ Quatrième point: à une dizaine de centimètres à gauche puis à droite du point grossièrement marqué, on place la règle Cras perpendiculairement au parallèle et on reporte sur le grand côté de celle-ci, à partir du parallèle, la distance mesurée au point 3; on obtient ainsi deux points, de part et d'autre du point supposé.
- ❺ Quatrième point: avec le crayon, on trace la ligne qui réunit les deux points obtenus; on a ainsi un "morceau" du parallèle correspondant à la latitude imposée.

De la même façon, on détermine une partie du méridien qui correspond à la longitude demandée. Le point cherché se trouve à l'intersection des deux segments de droite ainsi tracés.

Exercice 3.4 sur la carte 9999

Placez les points de coordonnées:

1-L=47°28'N; G=2°58'W; 2-L=47°17,8'W; G=2°55,8'W; 3-L =47°20'; G=2°45,3' W

Mesure et tracé des angles

La mesure des angles, sur une carte marine, est un élément essentiel pour la détermination du point; il faut en effet reporter, sur la carte marine, les angles mesurés ou calculés.

Cette mesure des angles fait appel à des instruments, spécifiquement développés à cette intention (règle Cras, rapporteur breton...). Mais on peut très simplement (mais plus difficilement) utiliser une règle et un rapporteur.

LES RÈGLES-RAPPORTEURS: La règle CRAS

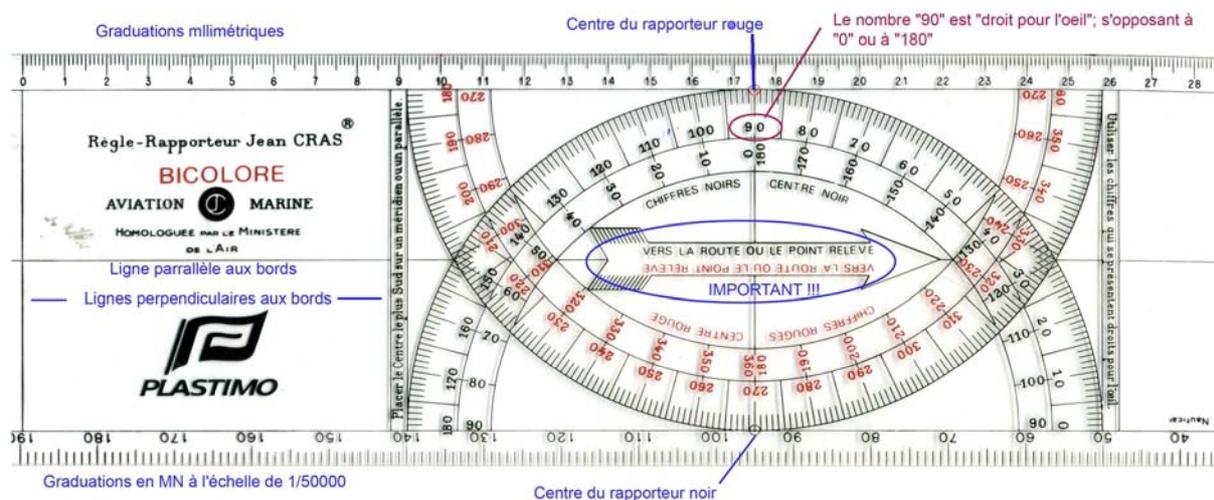
Description

La règle ici employée est la règle de marque "Topoplastic-Plastimo", bicolore. C'est une règle, assortie de deux rapporteurs dont chacun comporte deux séries de graduations. Elle comporte également des graduations sur chacun de ses deux grands bords, une indication fléchée "Vers la route ou le point relevé" et quelques traits dans le sens transversal, qu'on pourra utiliser pour tracer des droites perpendiculaires entre elles.

Les rapporteurs sont de deux couleurs différentes, qui se rapportent au centre de chacun d'entre-eux (centre noir: rapporteur noir, centre rouge: rapporteur rouge).

Chaque rapporteur porte une double graduation: une extérieure, continue et une, intérieure, dont les valeurs sont différentes de 90° de celles du rapporteur extérieur. De plus, on peut remarquer que les graduations internes noires sont inférieures ou égales à 180° (dès qu'elles atteignent cette valeur, on revient à 0) et que, a contrario, les graduations internes rouges sont supérieures à 180° . La graduation intérieure est réservée à la lecture utilisant un parallèle, l'extérieure à celle utilisant un méridien. Ce choix est guidé automatiquement par la disposition des nombres, comme indiqué plus bas.

De la même façon, la flèche indiquant "vers la route ou le point relevé" est bicolore. La couleur de cette direction doit être respectée; dans le cas contraire, on aura des erreurs de 180° dans les relèvements ou dans les caps.



Pour terminer cette description, il faut revenir sur un point fondamental: tout relèvement doit être confronté à la réalité, en se rappelant la disposition générale de la rose des vents.

Utilisation

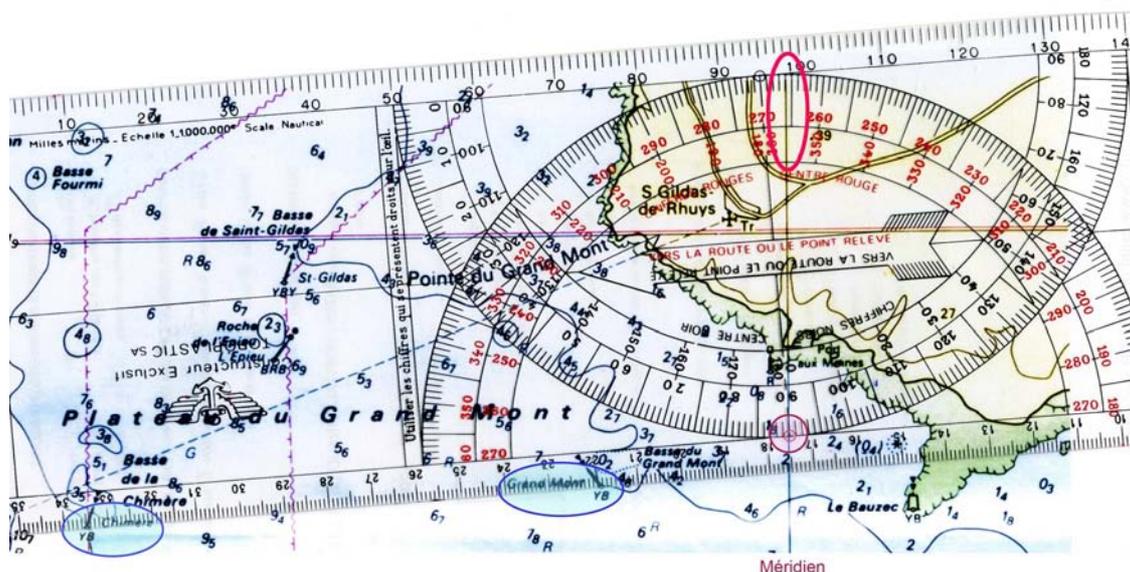
Remarque préliminaire

La règle CRAS peut être utilisée soit pour tracer une route, soit pour porter un relèvement. Dans le premier cas, on devra corriger le résultat (variation, dérive) après tracé; dans le deuxième cas, il faudra corriger les données par la variation avant le report sur la carte.

Tracé d'une route

Supposons que nous devons tracer la route passant par deux points, de la balise du Grand Mont vers celle de la Chimère. On repère tout d'abord ces deux balises (en se souvenant que la position exacte en est matérialisée par le petit rond en bas et au milieu du symbole). Comme on va du Grand Mont vers la Chimère, on place la règle Cras de manière à ce que la flèche centrale soit dans la direction ainsi déterminée.

Pour bien fixer ces deux points, on les fixe par les deux pointes d'un compas à pointes sèches, et on fait alors glisser la règle Cras sur les deux pointes; elle passe de cette façon obligatoirement par les deux points délimitant la route. On fait coulisser cette règle jusqu'à ce que le centre inférieur passe soit sur un parallèle, soit sur un méridien. On arrête le coulisement à ce moment; il ne reste plus qu'à lire, à l'intersection du parallèle (ou du méridien) et de la couronne du rapporteur, la valeur sur la graduation "droite pour l'œil".



NB Du fait de la faible inclinaison de la règle sur l'horizontale, le nombre de méridiens croisés par la règle est supérieur au nombre de parallèles.

Porter un relèvement

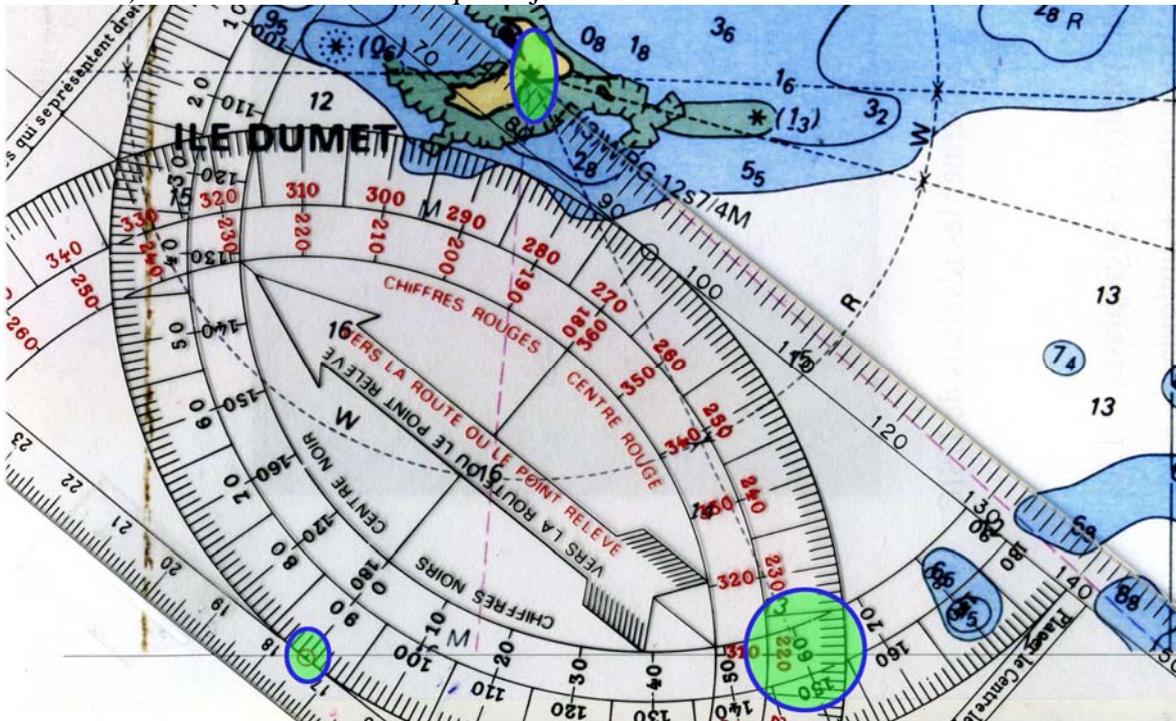
C'est le problème inverse: on repère un parallèle ou un méridien (figurés par des lignes noires horizontales ou verticales) à proximité de la marque dont on connaît le relèvement. Le choix entre méridien et parallèle n'a aucune influence sur le tracé; en pratique on choisira la situation qui semble être la plus simple; le choix dépend essentiellement de la valeur de l'angle: si celle-ci est telle que la règle sera plutôt horizontale, on choisira un méridien, et un parallèle si la règle doit avoir une position plutôt verticale.

Le report d'un relèvement se fait donc de la façon suivante:

- 1 On commence par repérer sur la carte le point relevé.
- 2 On place la règle CRAS de manière à ce que:
 - 2a La flèche soit grossièrement dirigée vers le point relevé: flèche rouge si l'angle du relèvement est supérieur à 180° , flèche noire dans le cas opposé.
 - 2b Le centre le plus au sud (rouge ou noir, selon la couleur de la flèche, donc l'angle du relèvement) soit situé sur un parallèle ou un méridien;
 - 2c Un des deux bords longitudinaux de la règle passe par le point relevé. Pour réaliser cette dernière condition, une solution peut être de matérialiser ce point par une pointe d'un compas et de faire "pivoter" la règle autour de celui-ci.

- 3 On amène alors la règle de façon à ce que la graduation du rapporteur, dont la couleur est celle de la flèche et qui est horizontale, soit sur le parallèle ou le méridien choisi.
- 4-Le bord de la règle, qui passe par le point relevé, correspond à la radiale cherchée.

Exemple: au large de l'île Dumet, je relève son phare au 310° (relèvement vrai, obtenu après corrections). Tracer la radiale sur laquelle je me trouve.

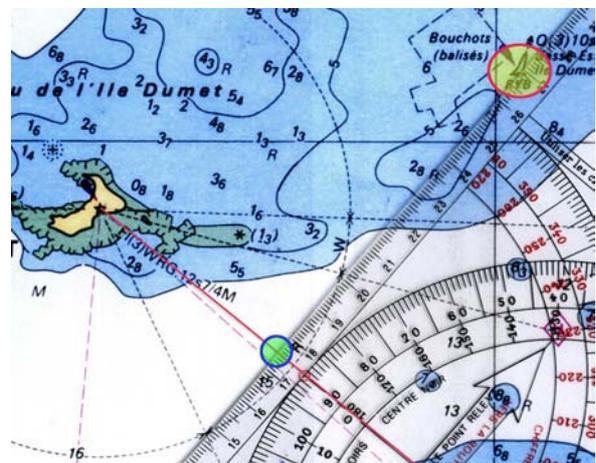


On fait passer le bord supérieur de la règle par le phare de l'île Dumet (fixation par pointe du compas) et on oriente la règle de façon à ce que: a) la flèche soit dirigée vers le lieu relevé (le phare); b) le centre des graduations situé le plus en bas soit sur un parallèle; c) la graduation "310" (lue droite pour l'œil) soit également sur ce parallèle. La radiale est confondue avec le bord supérieur de la règle. (Comme vu plus haut, on remarque que "310" est sur le cercle externe, puisqu'on utilise un méridien).

Utilisation des traits perpendiculaires

Supposons que, dans l'exemple précédent, au moment du relèvement du phare on constate que la balise est exactement par le travers de la route (c'est à dire que la ligne qui joint le bateau à cette balise est perpendiculaire à sa route), et que le bateau se dirige exactement vers le phare.

Il suffit alors de placer la règle de façon à ce qu'un des traits transversaux soit confondu avec la route précédemment déterminée, et qu'un bord de la règle passe par la balise. Le point d'intersection de ce bord avec le relèvement précédent donne la position du bateau.



Variantes de la règle CRAS

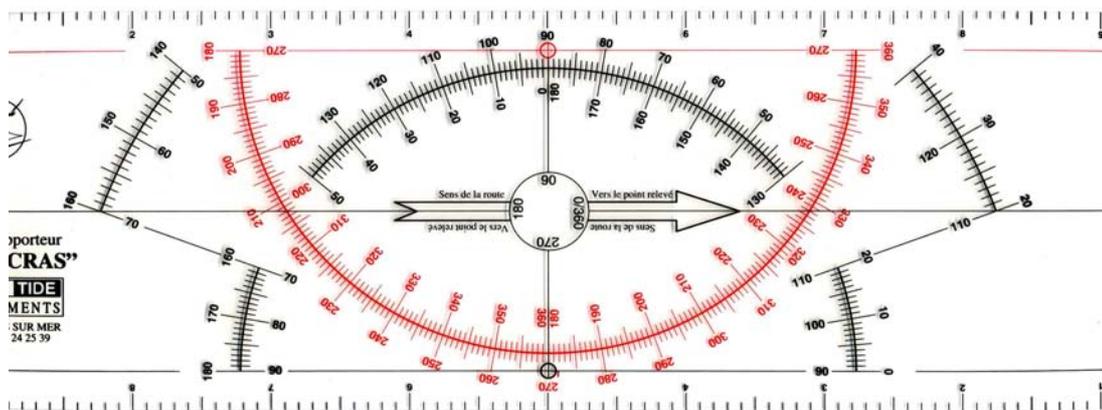
Plusieurs modifications ont été apportées à la règle Cras, dans le but de la rendre plus lisible ou plus pratique:

Règle "Flash-Tide"

Elle présente, par rapport à la règle Cras classique, deux modifications:

- Les deux rapporteurs de même couleur n'en font plus qu'un, dont la couronne est graduée des deux côtés, en gardant toujours la même disposition quant à la position des nombres.
- Un des deux rapporteurs (le rapporteur noir) est "décalé" vers l'extérieur dans la zone de recouvrement des deux cercles; ceci d'une part améliore la lisibilité, et d'autre part augmente la précision dans la zone considérée.

En dehors de ces deux modifications, le principe reste strictement le même: deux rapporteurs, deux centres, 4 graduations au total, un repère vers la route ou la marque...



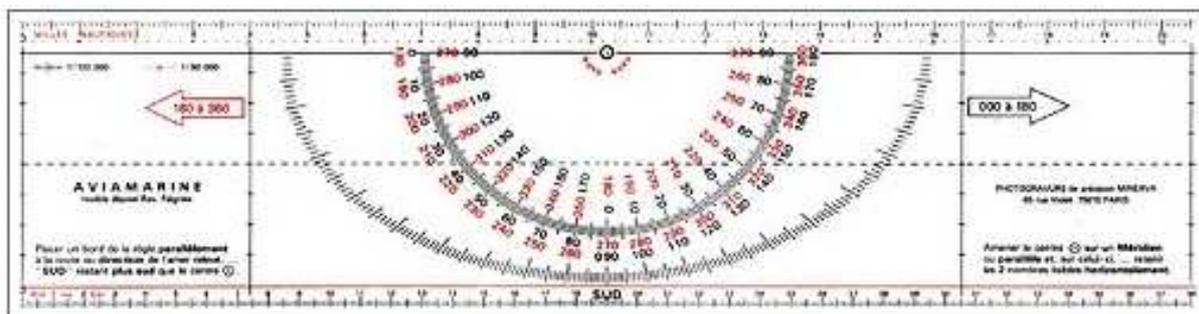
Son utilisation est donc exactement celle de la règle "classique".

Règle "CRAS évolution 2000"

Sa seule différence avec la règle Cras classique est, à l'instar de la précédente, la "fusion" des graduations des rapporteurs de la même couleur.

Règle "aviamarine" bicolore

Elle est différente de la règle Cras: elle ne comporte qu'un seul centre (donc un seul rapporteur), minimisant ainsi les erreurs; par ailleurs, le rapporteur circulaire est doublé d'une ellipse graduée, améliorant la précision de la lecture. Enfin, les graduations du rapporteur sont au nombre de 4: chacune des deux graduations "classiques" du compas de la règle Cras est doublée de l'indication du complément à 360°, permettant de connaître la route inverse.



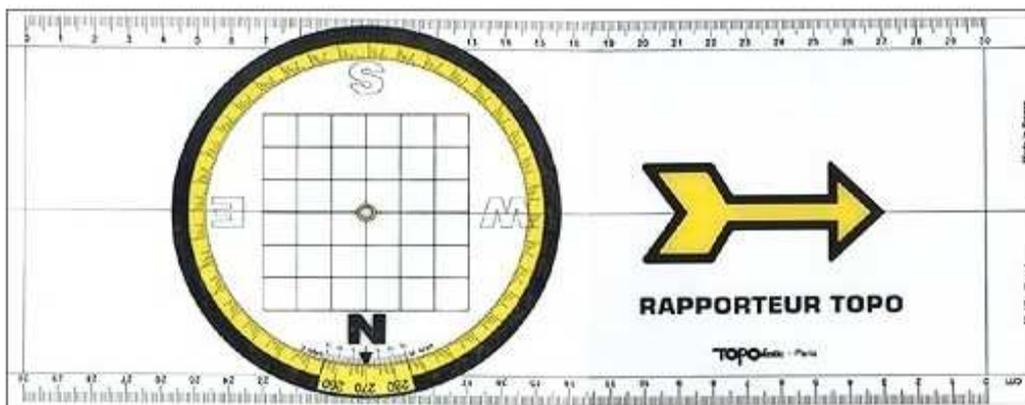
Son utilisation est plus facile que celle de la règle classique; le risque d'erreur de lecture est diminué, mais la présence de la quadruple graduation impose qu'il faut éclairer les résultats lus à la lumière du bon sens.

Les règles avec partie mobile

L'adjonction d'un rapporteur mobile en rotation à une règle permet de simplifier les mesures, de limiter les erreurs et, pour certaines règles, de faciliter les corrections (Variation, dérive). Mais elle apporte un inconvénient: la fragilité et la non-persistance des calculs!

Le rapporteur topo

Il consiste en une règle à laquelle a été ajouté un cercle, pouvant tourner librement autour de son centre. Il est placé au milieu de la règle, présente sur son pourtour des graduations visibles dans une fenêtre de la règle et est muni d'un quadrillage. Ce quadrillage est composé de droites parallèles aux axes N-S et E-W, et représente donc les directions des parallèles et des méridiens. Enfin les points cardinaux (au moins 2) sont gravés sur cette partie mobile.

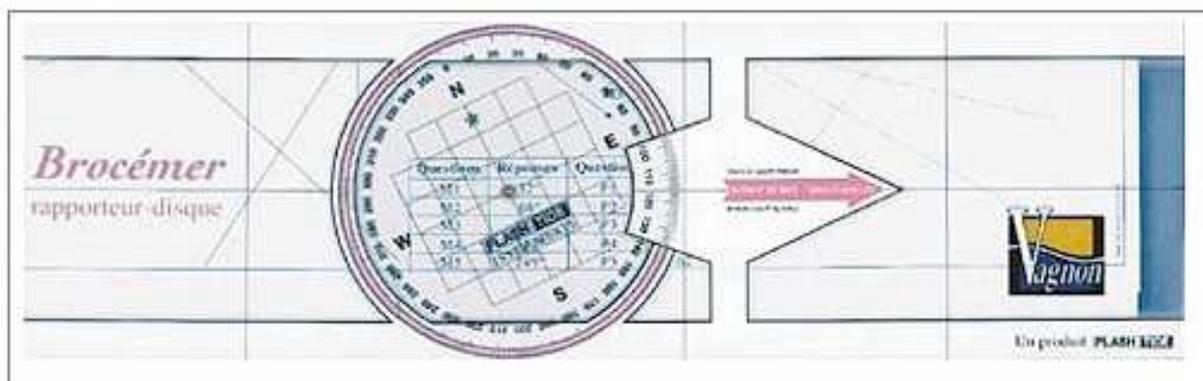


Son utilisation est très simple: pour déterminer une direction, on place les deux points sur un des bords de la règle en respectant le sens de la flèche jaune, et on tourne le cercle de manière à amener le quadrillage parallèle à un méridien ou un parallèle, en s'assurant que l'indication N est bien dirigée. On lit alors la direction recherchée dans la fenêtre.

Pour tracer une radiale, on tourne le cercle de manière à afficher la valeur du relèvement dans la fenêtre puis on fait passer un des bords de la règle par le point connu, tout en bougeant la règle pour que le quadrillage corresponde à un parallèle ou un méridien, en respectant le Nord, puis; la radiale est matérialisée par le bord de la règle.

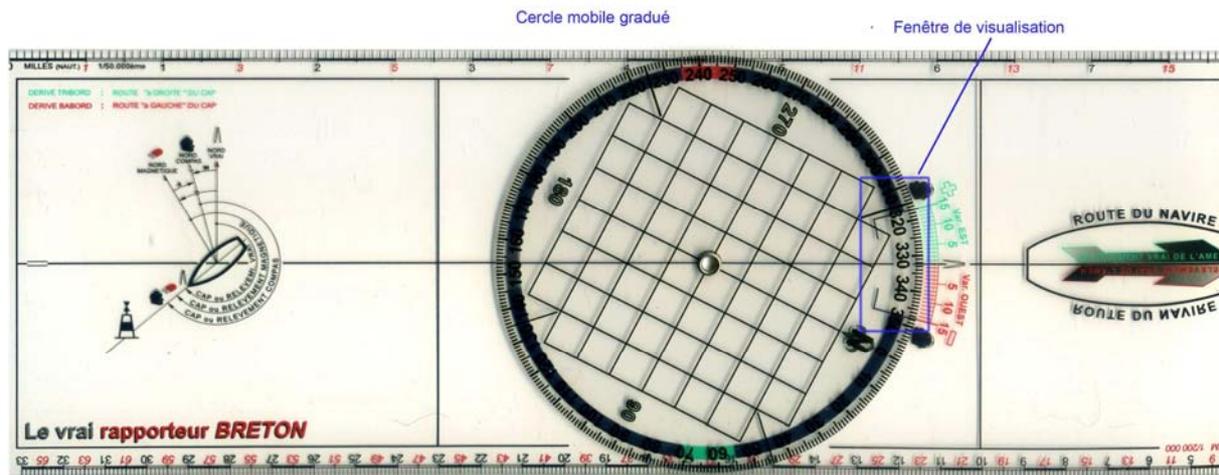
Le rapporteur Brocemer

Présenté un peu différemment, il repose sur le même principe.



Le rapporteur breton

Il se distingue des précédents par une "astuce": le repère angulaire, placé en position latérale, est muni d'une graduation bicolore (vert/rouge), permettant de corriger la valeur lue ou imposée par la Déviation ou/et la dérive: vert si positive (tribord), rouge si négative. Au lieu de lire la valeur au niveau du zéro, on la lit en face de la graduation correspondant à la correction.



Détail des graduations.

Comme il s'agit d'effectuer une correction, la direction de la variation est inversée: la variation E est portée vers l'ouest, et inversement.



Applications de la mesure des angles

Mesure de l'écart angulaire de deux directions à leur point d'intersection.

La solution est simple: il suffit de faire la différence entre les angles que font avec le nord les deux directions, en faisant attention d'orienter correctement les angles. Pour aller de A vers B, il faut retrancher au relèvement de B celui de A, quitte à ajouter 360° si le résultat est négatif.

Détermination des coordonnées de points d'intersections

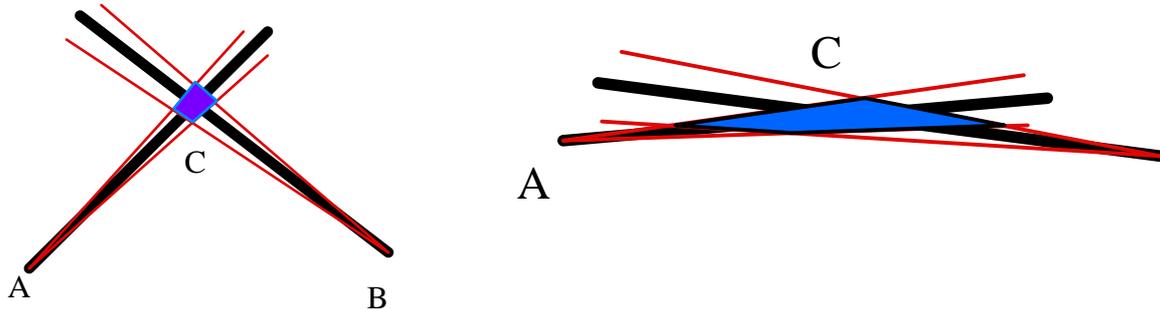
C'est une des applications les plus importantes du repérage sur une carte; c'est donc faire le point. On a vu plus haut qu'on pouvait utiliser plusieurs éléments pour arriver à se positionner: droites de relèvements, lignes des sonde, alignements, secteurs de phare...

Faire le point sur la carte, c'est donc:

- ❶ Noter soigneusement les valeurs mesurées, habituellement au même instant;
- ❷ Tracer les droites ou cercles qui correspondent à ces relèvements;
- ❸ Déterminer le plus exactement possible les points d'intersection;
- ❹ Mesurer les coordonnées de ces points.

Comme on l'a déjà vu, le point peut être réalisé avec deux droites ou cercles ou courbes..., mais il y a pour cela une condition impérative: il faut que l'angle sous lequel se coupent ces deux éléments soit proche de 90° , de façon à minimiser l'erreur: une faible variation de l'angle

des droites n'aura que peu d'effet sur le résultat si deux droites de relèvement se coupent à angle droit, alors qu'elle sera catastrophique si les droites sont presque dans le prolongement l'une de l'autre, comme le montre le schéma ci-dessous:



Une variation des angles des deux relèvements augmente beaucoup plus la surface de la zone dans laquelle on peut se trouver dans le cas où les droites de relèvement font entre elles un angle soit faible soit voisin de 180° . Quand l'angle, en revanche, est voisin de 90° , l'influence d'une erreur sur les angles de relèvement est relativement modeste.

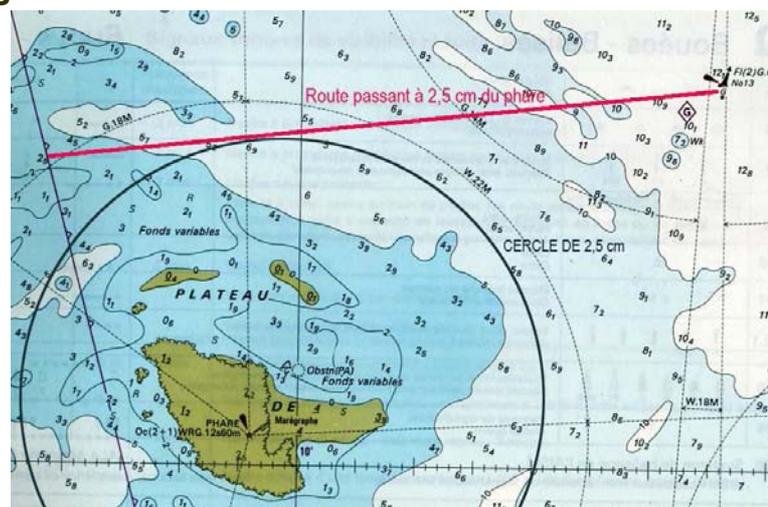
Triangle d'incertitude

Afin de diminuer l'erreur due à l'imprécision des relèvements, une solution est de multiplier ceux-ci en relevant trois, quatre, voire cinq amers. On aboutit ainsi à un polygone dont le nombre de côtés croît avec celui des points relevés. Dans le cas de trois relèvements, c'est un triangle (dont la surface doit être la plus faible possible, gage de relèvements cohérents!). On prend alors le "centre" de ce triangle comme résultat.



Route de sécurité passant à une distance déterminée d'un point dangereux pour la navigation.

On considère, en navigation, qu'une route ne doit jamais passer à moins de la largeur d'un pouce d'un obstacle, quelle que soit l'échelle de la carte. On a vu, dans le chapitre des rappels, la définition de la tangente. Cette "règle du pouce" peut se traduire, géométriquement, que la route ne doit pas passer plus près d'un obstacle que ne le fait la tangente à un cercle dont la rayon est égal à la largeur d'un pouce (à peu près 2,5 cm).



Exemple: Partant d'un point situé dans les environs immédiats de la bouée 13, on veut passer près de Cordouan. Tracer la route en dessous de laquelle il ne faudra pas naviguer.

Le tracé ci-dessus répond à la question; la mesure de l'angle donne 259° .

Méthode des arcs capables¹

Cette technique de positionnement fait appel à la construction des arcs capables, cercles qui regroupent les points d'où l'on voit un segment sous un angle déterminé.

Supposons donc trois points A, B et C qui sont relevés par le navire dont on veut connaître la position sous les angles a, b et c.

Nous avons vu plus haut que l'on peut construire un triangle d'incertitude par la méthode habituelle, en traçant les relèvements de ces trois points sur une carte. Mais il existe une autre méthode: la méthode des arcs capables.

Puisque je vois le point A sous l'angle a et le point B sous l'angle b, je vois le segment AB sous l'angle "b-a". Mon bateau se trouve donc sur l'arc capable duquel je vois AB sous l'angle "b-a". De même, puisque je vois C sous l'angle c et B sous l'angle b, je vois le segment BC sous l'angle "c-b".

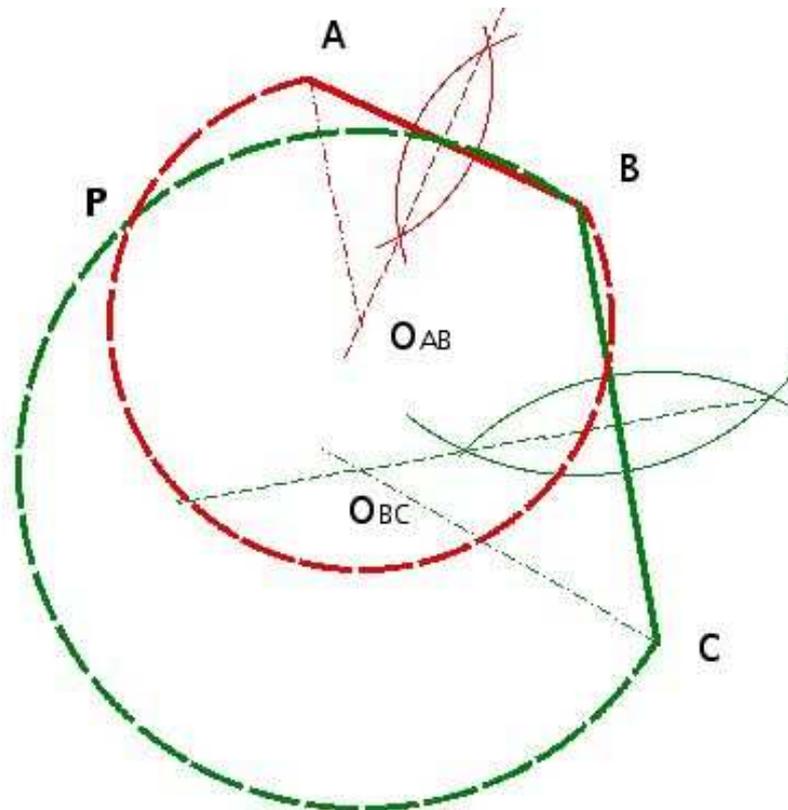
Il s'agit donc:

- ❶ de tracer les médiatrices MAB du segment AB et MBC du segment BC;
- ❷ de déterminer, par la méthode exposée dans les "acquis" (chapitre 1) les centres des arcs capables définis plus haut;
- ❸ de noter les coordonnées des points d'intersection de ces deux arcs de cercle, situant ainsi le navire.

Exemple: du bateau on voit l'amer A sous un angle de 52° , l'amer B sous 89° et l'amer C sous 130° . On place les points A, B et C et on trace (en pointillés) les médiatrices à (AB) et (BC), ainsi que les demi-droites (en traits mixtes) qui font:

- avec AB un angle de $90^\circ - (89 - 52)$ soit 53° , elle coupe la médiatrice de AB en OAB, centre du cercle figuré en rouge;
- avec BC un angle de $90^\circ - (130 - 89) = 49^\circ$, qui coupe la médiatrice de BC en OBC, centre du cercle figuré en vert.

Le point d'intersection P de ces deux cercles est la position du navire.



Cette méthode est beaucoup plus contraignante que la méthode précédente du triangle d'incertitude. Elle a toutefois un avantage énorme: du fait qu'on s'intéresse uniquement pour le tracé à la différence d'angles, toute perturbation identique dans la mesure de chacun de ces trois angles est automatiquement éliminée.

¹ Cette technique, très utilisée avant la généralisation des GPS voire des procédés type LORAN, utilisait en fait le sextant (placé horizontalement) pour établir la valeur (précise à la minute...) de l'écart angulaire entre deux amers. Tombée en désuétude, elle ne fait plus l'objet de questions dans le cadre du permis hauturier.

Nous verrons l'importance de cette remarque dans le chapitre 5.

Transport de relèvement

Cette méthode est également à la limite de ce qui est demandé pour le permis hauturier. Elle n'est toutefois pas exclue des techniques destinées à faire le point. Ce transport des relèvements recouvre en fait plusieurs situations, où les données sont différentes.

Cap, vitesse, et deux relèvements du même amer

La technique du transport des droites de relèvement consiste à repérer le même amer à deux instants différents dont on connaît l'écart, le bateau gardant une route constante et connue qu'il parcourt à une vitesse connue et constante. La question est "où suis-je?"

On commence par déterminer la distance D parcourue par le bateau entre les deux relèvements du même amer: c'est le produit de sa vitesse par le temps entre ces deux relèvements.

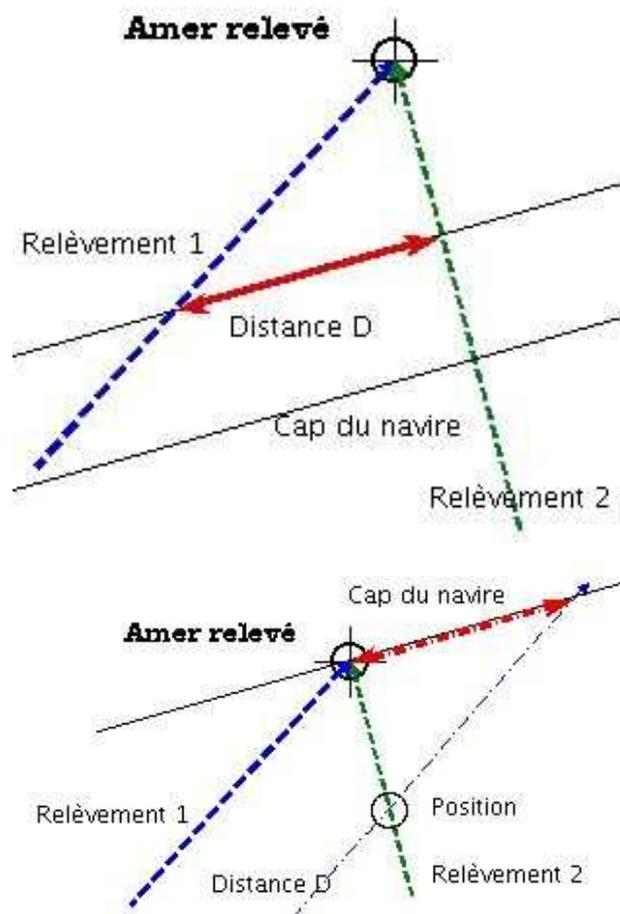
Les deux points où les deux relèvements ont été effectués sont espacés de cette distance. La droite qui les joint a une direction connue: c'est le cap du bateau. Il suffit donc de mener par l'amer les deux droites qui correspondent aux deux relèvements, puis de mener une parallèle à la route du bateau de façon à ce que les points d'intersection avec les deux relèvements soient espacés de la distance D .

On peut modifier cette construction, qui présente une difficulté: mener des parallèles au cap dont la distance entre les points d'intersection avec les deux relèvements mesure exactement D . On peut en effet à partir de l'amer relevé porter, dans le sens relèvement 1 vers relèvement 2, la distance D sur une parallèle à la route. A partir de l'extrémité de ce segment, on mène une parallèle au relèvement 1 qui coupe le relèvement 2 en un point, qui est la position du bateau lors de ce deuxième relèvement.

Cette construction est basée sur l'égalité des côtés opposés d'un parallélogramme.

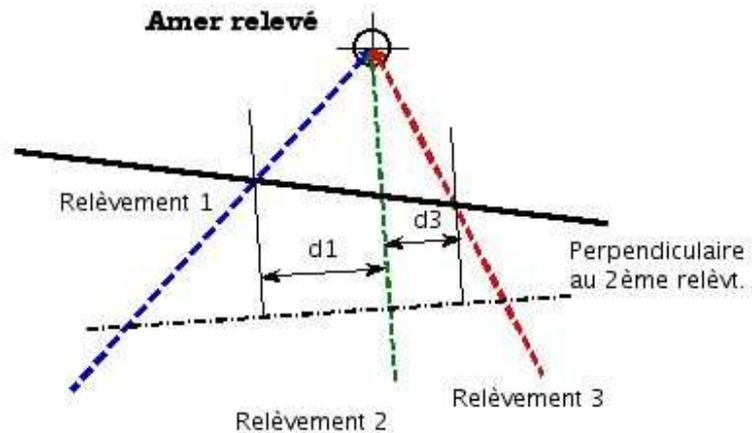
Trois relèvements du même amer

Comme dans la question précédente, on mène les 3 relèvements passant par l'amer. Par un point choisi sur le relèvement 2, on trace une perpendiculaire à celui-ci, et on place sur cette droite en direction du relèvement 1 un point à une distance d_1 proportionnelle au temps mis pour parcourir le trajet entre les deux premiers relèvements, et en direction du relèvement 3 on place un point à une distance d_2 proportionnelle au temps mis pour parcourir le trajet entre les deux derniers relèvements.



Par chaque point ainsi déterminé, on mène une parallèle au relèvement 2, qui coupe respectivement le relèvement 1 et le relèvement 3 en deux points; la droite qui joint ces deux points donne le cap du bateau.

La connaissance de la vitesse permet de se ramener au premier énoncé, et de déterminer l'emplacement du bateau lors du troisième relèvement.

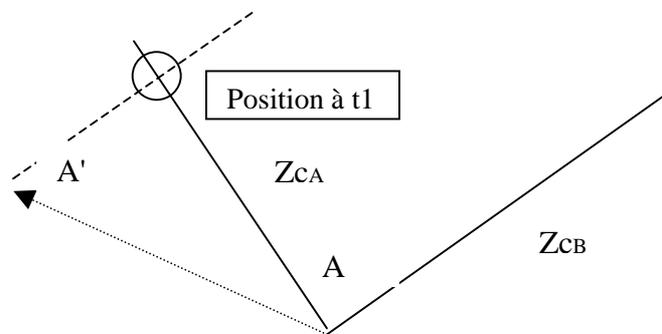


Cap, vitesse, et deux relèvements d'amers à des instants différents

A l'instant t_1 , on repère l'amer A avec un Z_{CA} ; à un autre instant t_2 , on repère un autre amer B avec un Z_{CB} . Quelle est la position du bateau de vitesse V au cap C_v ?

Solution: Du point A on déduit le point A' par une translation $[-C_v; (t_2 - t_1) * V]$.

Par ce point A' on mène une parallèle à Z_{CB} . Celle-ci coupe le relèvement Z_{CA} passant par A' en un point X, position à t_1 .



AUTRES TECHNIQUES DE POSITIONNEMENT

Point satellitaire (GPS)²

Rappels sur le GPS

Positionnement

Le GPS (en anglais: Global Positioning System) est un système de triangulation, utilisant 24 satellites, en orbite substationnaire (20 000km environ), groupés en 6 grappes. Il permet de déterminer la position d'un objet dans l'espace grâce à la mesure des distances séparant cet objet d'au moins 3 satellites (en fait, on utilise un minimum de 4 satellites pour avoir une précision suffisante et pour se passer de la génération d'un temps "interne", voir ci-dessous).

Les 24 satellites composant la constellation sont répartis dans 6 plans distincts de 60°; chacun de ceux-ci est incliné de 55° par rapport à l'équateur; chaque plan contient 4 satellites également espacés (angle de 90° entre 2 satellites d'une même orbite).

Cette répartition permet de disposer en permanence d'un minimum de 4 satellites ayant une élévation (hauteur sur l'horizon) supérieure à 9,5°. De plus elle assure la présence d'au moins 5 satellites observables au dessus de l'horizon. Enfin, par mesure de sécurité, trois autres satellites sont également placés en orbite, destinés à pallier les pannes éventuelles.

Théorie de la mesure

Les mesures de distance reviennent, en fait, à la mesure de déphasages entre des signaux émis par ces satellites, ou, ce qui revient au même, par la mesure des différences entre la mesure du temps à l'endroit du récepteur GPS et celui de chacun des satellites, qui est décalé à cause de la distance entre le satellite et le récepteur.

Comme un objet est défini, dans un repère absolu, par ses coordonnées spatiales x, y et z, il suffit théoriquement de trois satellites; mais il est alors nécessaire que le récepteur GPS soit doté d'une horloge atomique, seule possibilité de mesurer avec une précision suffisante des déphasages temporels très petits. Comme cela n'est pas physiquement possible, on crée une nouvelle inconnue: le temps absolu, et on est alors ramené à un système d'équations à 4 inconnues (x,y,z,et t), nécessitant au moins 4 mesures, donc 4 satellites, pour donner une solution.

Le GPS est finalement un système permettant de définir la position du récepteur sur le globe terrestre avec une précision dépendant du nombre de satellites utilisés, qui peut atteindre quelques mètres seulement si le signal issu des satellites ne subit pas de dégradation volontaire, comme c'était encore récemment le cas. Une modification de la position américaine sur ce sujet permet actuellement d'utiliser les GPS avec toute la précision possible; mieux encore, l'invention de la technique dite "GPS différentiel", permettant d'introduire une correction de position à partir d'un signal terrestre, ou satellitaire (satellite géostationnaire) débouche sur des précisions métriques; enfin, le futur système européen Galileo permettra une précision encore meilleure.

Finalement, le GPS donne une position sur un ellipsoïde de référence; celui utilisé actuellement est l'ellipsoïde WGS-84 (voir le chapitre sur la cartographie, dans les

² Ces procédés de positionnement "électroniques" font l'objet d'un chapitre à part (navigation électronique)

généralités), et les coordonnées de la position du récepteur sont données, sur cet ellipsoïde soit en coordonnées UTM soit en Latitude/Longitude.

Il faut insister sur le fait que cette représentation n'est valable que sur l'ellipsoïde WGS-84 et que le report d'un point sur toute carte utilisant un autre ellipsoïde (de Hayford, par exemple) ne doit se faire qu'après correction de la latitude et de la longitude trouvées par le GPS; ces corrections sont indiquées sur les cartes non WGS-84.

Inventaire des résultats apportés par un GPS

Données de base

Le but premier d'un GPS est de calculer les coordonnées du point où se situe le récepteur, dans un système de coordonnées déterminé. C'est un point essentiel en géographie terrestre, en particulier en randonnée où le GPS permet de reporter sa position sur des cartes, au mieux quadrillées avec les coordonnées dites UTM (voir le chapitre sur la cartographie). C'est également un point important en navigation, mais le GPS, dans cette indication, a un intérêt supplémentaire: celui de pouvoir présenter d'autres résultats, dérivés des données positionnelles et intégrant, le cas échéant, des paramètres issus d'autres systèmes: loch, girouette, compas...

Premier groupe de données dérivées

A partir de l'ensemble des données de position collectées lors d'un déplacement d'un mobile porteur d'un récepteur GPS, on peut déduire:

La vitesse du mobile (vitesse instantanée, vitesse maximale et minimale, vitesse moyenne...); cette vitesse est mesurée par rapport à un repère "absolu", et désignée communément par vitesse sur le fond (SOG=speed over ground)

La direction du mobile par rapport à un repère (nord géographique); comme la plupart des récepteurs GPS intègrent des "tables" donnant la déclinaison magnétique en fonction du lieu (Lat/Lon), la direction du mobile peut également être repérée par rapport au nord magnétique; cette direction est habituellement désignée par Cap over ground, abrégé en COG.

Deuxième groupe de données dérivées

On peut définir, sur un GPS, un "point à atteindre" (way point). Le GPS, connaissant la position actuelle du mobile et celle qu'il doit atteindre, peut calculer le cap à prendre (magnétique ou géographique), le temps mis à l'atteindre à une vitesse connue (moyenne/maximale/minimale/actuelle), l'heure d'arrivée, la valeur de la projection de la vitesse actuelle sur cette direction, l'écart (en cap ou en distance) du bateau par rapport à la route idéale ou le point à atteindre.

En généralisant cette mesure, le GPS peut donner la projection de la vitesse sur une direction donnée, autre que la route à suivre; en particulier, en navigation à voile, il est intéressant de connaître la projection de la vitesse sur la direction du vent.

Enfin, la notion de "way-point" peut être étendue à un ensemble de "way-points", définissant une route.

Troisième groupe de données dérivées

Le GPS, dans le cadre d'une centrale de navigation, donne des valeurs mesurées dans un repère absolu, donc par rapport à la surface terrestre ("fond"). Cette centrale peut prendre en compte diverses informations provenant d'autres sources: vitesse du bateau, cap du bateau (route surface) et peut en déduire divers éléments: existence d'un courant, mesure de sa

valeur, projection de la vitesse sur la direction du vent, sur la route-surface, sur la route-fond...

Point astronomique (notions élémentaires)

Le point astronomique est la plus ancienne méthode de navigation, qui permet de faire le point en connaissant la hauteur d'un astre sur l'horizon (soleil ou autre étoile) et le moment précis de l'observation. Il nécessite donc un sextant (pour mesurer la hauteur), un chronomètre "de marine"... et des tables (éphémérides, tables de correction...) qui peuvent être remplacées par des calculettes, dont certaines sont programmées pour les calculs nécessaires.

Le problème principal de la mesure de la "hauteur" d'un astre est en rapport avec le mouvement du bateau!

Il faut se rappeler qu'un écart de une minute d'angle dans la mesure de cette hauteur entraîne une erreur de 1 mille sur la position! C'est dire que la détermination astronomique de la position ne se conçoit qu'en haute mer, loin des côtes!



TABLE DES MATIÈRES DU CHAPITRE 3

LE POINT.....	1
DEFINITIONS	1
LES SOURCES DE DONNEES POUR LE POSITIONNEMENT	1
<i>Le cap</i>	1
Définition	1
Mesure.....	1
Intérêt	1
<i>Alignement</i>	1
Définition	1
Représentation cartographique	2
Intérêt de l'alignement	2
<i>Relèvement</i>	2
Définition	2
Mesure.....	2
Expression	2
Report sur la carte.....	2
Exemples:	2
<i>Gisement</i>	3
Définition	3
Mesure.....	3
Relation entre gisement et relèvement.....	3
Intérêt du gisement	3
Exemple.....	3
<i>Ligne de sonde</i>	3
Définition	3
Utilisation	3
Exercice sur la carte 9999.....	4
<i>Cercle de distance</i>	4
Définition:	4
Mesure:.....	4
Report sur la carte:.....	4
UTILISATION DU COMPAS A POINTES SECHES	4
<i>Description</i>	4
<i>Mesure de la distance entre deux points à l'aide du compas</i>	4
Bases de la mesure.....	4
Réalisation de la mesure	4
Précautions à prendre:	5
Exercice 3.2:.....	5
<i>Mesure de la latitude et de la longitude d'un point</i>	5
Mesure de la latitude	5
Mesure de la longitude	6
Exercice 3.3 sur la carte 9999.....	6
<i>Placement d'un point sur la carte</i>	6
MESURE ET TRACE DES ANGLES	6
LES RÈGLES-RAPPORTEURS: La règle CRAS	7
Description	7
Utilisation.....	7
Remarque préliminaire	7
Tracé d'une route	8
Porter un relèvement	8
Utilisation des traits perpendiculaires.....	9
<i>Variantes de la règle CRAS</i>	10
Règle "Flash-Tide"	10
Règle "CRAS évolution 2000"	10
Règle "aviamarine" bicolore.....	10
<i>Les règles avec partie mobile</i>	11
Le rapporteur topo	11
Le rapporteur Brocemer.....	11
Le rapporteur breton.....	12
APPLICATIONS DE LA MESURE DES ANGLES.....	12
<i>Mesure de l'écart angulaire de deux directions à leur point d'intersection</i>	12

<i>Détermination des coordonnées de points d'intersections</i>	12
Triangle d'incertitude.....	13
<i>Route de sécurité passant à une distance déterminée d'un point dangereux pour la navigation.</i>	13
<i>Méthode des arcs capables</i>	14
TRANSPORT DE RELEVEMENT.....	15
<i>Cap, vitesse, et deux relèvements du même amer</i>	15
<i>Trois relèvements du même amer</i>	15
<i>Cap, vitesse, et deux relèvements d'amers à des instants différents</i>	16
AUTRES TECHNIQUES DE POSITIONNEMENT	17
POINT SATELLITAIRE (GPS)	17
<i>Rappels sur le GPS</i>	17
Positionnement	17
Théorie de la mesure	17
<i>Inventaire des résultats apportés par un GPS</i>	18
Données de base	18
Premier groupe de données dérivées	18
Deuxième groupe de données dérivées.....	18
Troisième groupe de données dérivées	18
POINT ASTRONOMIQUE (NOTIONS ELEMENTAIRES).....	19