

NAV-ASTRO	LE SEXTANT	V3.0 –12/23
A. Charbonnel	GENERALITES & EXPLOITATION DU SEXTANT	1/10

1- DESCRIPTION DU SEXTANT

1.2 Descriptif général

Le sextant permet :

- d'obtenir la hauteur d'un astre au-dessus de l'horizon,
- de mesurer un angle entre deux amers.

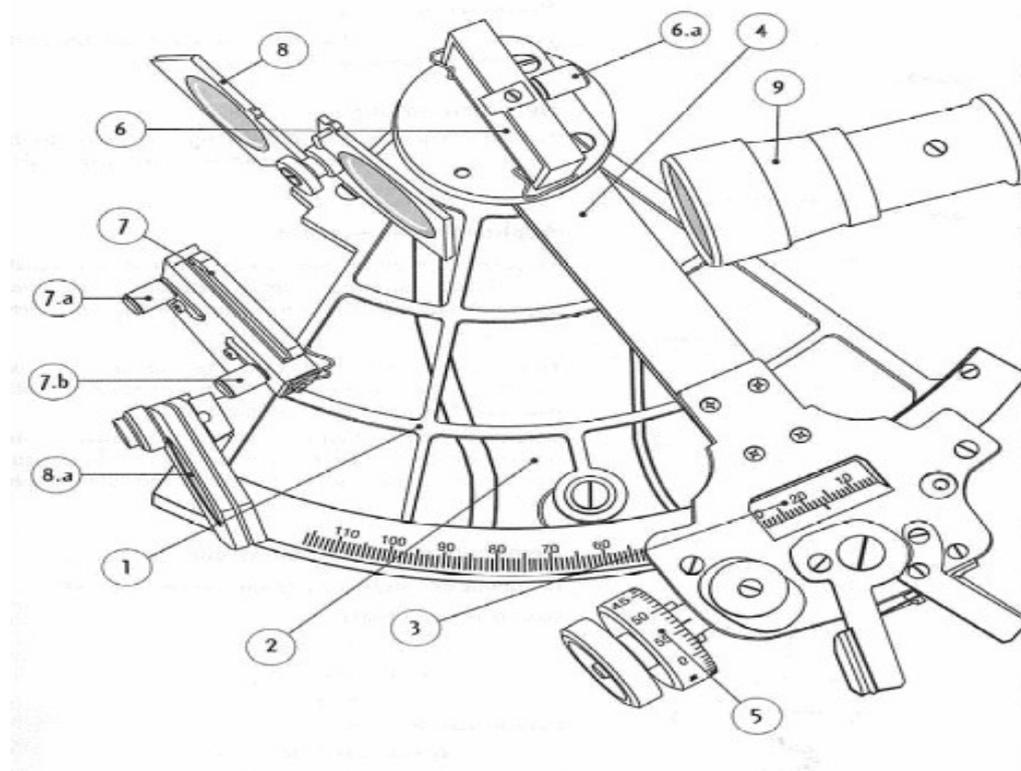


Illustration 1: Description du sextant

- 1 Le bâti
(frame) Corps du sextant sur lequel sont fixés tous les éléments du sextant. En alliage en aluminium anodisé.
- 2 La poignée
(Handle) Toujours prendre le sextant par la poignée.
- 3 Le limbe
(scale) Gradué en degré, vissé sur le bâti (en laiton).
- 4 L'alidade
(index arm) Élément qui porte le grand miroir et pivote autour d'un axe situé en haut du bâti. A sa base se trouve un repère de lecture des degrés sur le limbe, le tambour et le levier de débrayage.
- 5 Le tambour
(micrometer drum) Complète les indications du limbe en fournissant une mesure en minutes. Un tour de tambour correspond à 1° sur le limbe ; gradué en minute d'arc. Face au tambour peut se trouver un vernier qui permet d'affiner la précision et est gradué soit en dizaines de secondes soit en dixièmes de minutes.
- 6 Le grand miroir
(index mirror) Sa perpendicularité au plan de l'alidade est réglable par la vis 6a.
- 7 Le petit miroir
(horizon glass) Il est divisé en deux, une moitié étamée, l'autre transparente. Il peut être réglé par deux vis, l'une pour la perpendicularité (7a) et l'autre pour le parallélisme (7b).
- 8 Les filtres
(glare filters) Utilisés pour éviter l'éblouissement du soleil.
- 9 La lunette
(telescope) Généralement démontable :
Lunette de Galilée : qualité moyenne, répandue sur les petits sextants, grossissement x2, x4.
Lunette prismatique : grossissement x 6.
Lunette astrale destinée aux visées sur les étoiles, grossissement x8, x10.

NAV-ASTRO	LE SEXTANT	V3.0 -12/23
A. Charbonnel	GENERALITES & EXPLOITATION DU SEXTANT	2/10

2- Lecture du limbe et du tambour

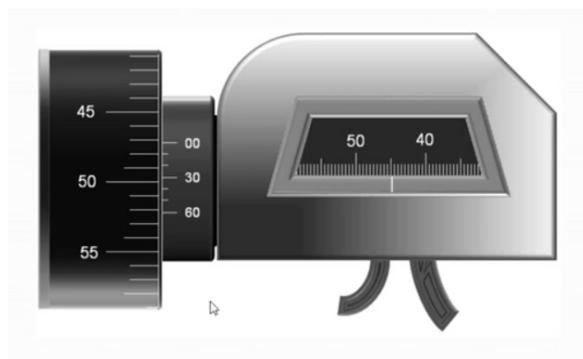
L'angle mesuré avec un sextant se lit sur le limbe et le tambour ; sur le limbe sont lus les degrés et sur le tambour les minutes et dixièmes de minutes ou les minutes et les secondes.

La lecture des informations sur le tambour s'effectue pareillement que sur un pied à coulisse.

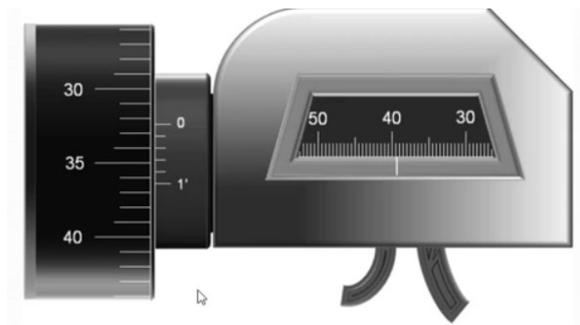
L'échelle sur la partie fixe du vernier varie selon les sextants : elle peut être graduée en dixième de minute, en deux dixièmes de minutes ou en secondes

Pour lire la hauteur :

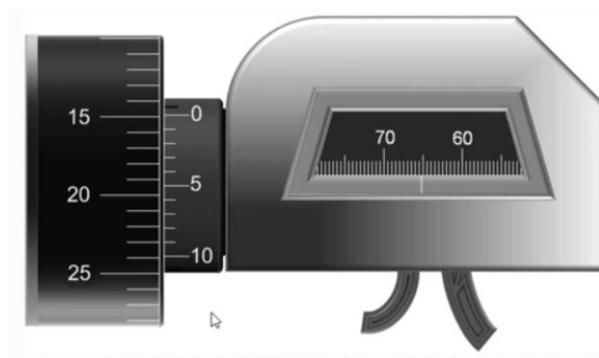
- Lire sur le limbe la valeur égale ou inférieure au trait de référence : on obtient les degrés.
- Lire sur le tambour la valeur égale ou inférieure se trouvant au niveau du zéro sur le vernier (partie fixe du tambour) : on obtient les minutes
- Lire la graduation sur le vernier se trouvant la plus en face d'une graduation du tambour : on obtient les dixièmes de minutes ou secondes



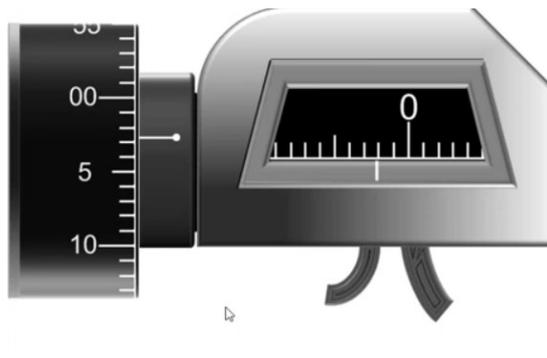
Vernier gradué toutes les 10''
hs = 44°47' 10''



Vernier gradué tous les 0,2'
hs = 38°32,4'



Vernier gradué tous les 0,1'
hs = 65° 14,9'



Vernier non gradué
hs = 02°2,8'

Illustration 2: Différents types de verniers

NAV-ASTRO	LE SEXTANT	V3.0 –12/23
A. Charbonnel	GENERALITES & EXPLOITATION DU SEXTANT	3/10

2- REGLAGES DU SEXTANT

Avant toute utilisation, il faut s'assurer que le sextant est correctement réglé en effectuant les opérations suivantes :

	Type d'opération	Fréquence
rectification	réglage de l'axe optique et des deux miroirs du sextant.	En début de voyage Erreur de collimation >3'.
collimation	mesure de l'erreur résiduelle du sextant.	Avant chaque observation.

La rectification

Vérifier le centrage de l'alidade et du limbe

L'axe de rotation de l'alidade doit passer exactement par le centre du secteur de cercle du limbe, sinon il y a une erreur d'excentricité.

Cette erreur dépend de la construction du sextant.

Sur les sextants modernes de bonne qualité elle est négligeable ; si ce n'est pas le cas, les corrections à apporter pour compenser cette erreur sont indiquées dans le coffret du sextant.

Vérifier l'axe optique (pour information)

L'axe de la lunette doit être parallèle au plan du limbe.

Sur les sextants modernes, cette caractéristique est vérifiée à la construction ; il faut néanmoins savoir vérifier le parallélisme :

- Placer le sextant à plat.
- Poser à chaque extrémité du limbe les deux petites équerres fournies avec le sextant.
- Tracer sur un mur situé à une trentaine de mètres une droite AB matérialisant l'arête supérieure des deux équerres.
- L'image de la droite AB doit passer par le centre de la lunette ; sinon agir sur les vis fixées sur le collier porte-lunette.

Rectifier le grand miroir

Le grand miroir doit être perpendiculaire au limbe.

Sur les sextants modernes, ce réglage est effectué en usine.

Méthode avec équerres

- Poser le sextant à plat.
- Placer les équerres aux extrémités du limbe.
- Placer l'œil près du grand miroir et tourner l'alidade de façon à voir en même temps les deux équerres, l'une en visée directe et l'autre en visée réfléchie.
- Le bord supérieur des équerres doit être exactement au même niveau, sinon agir sur la vis du grand miroir.

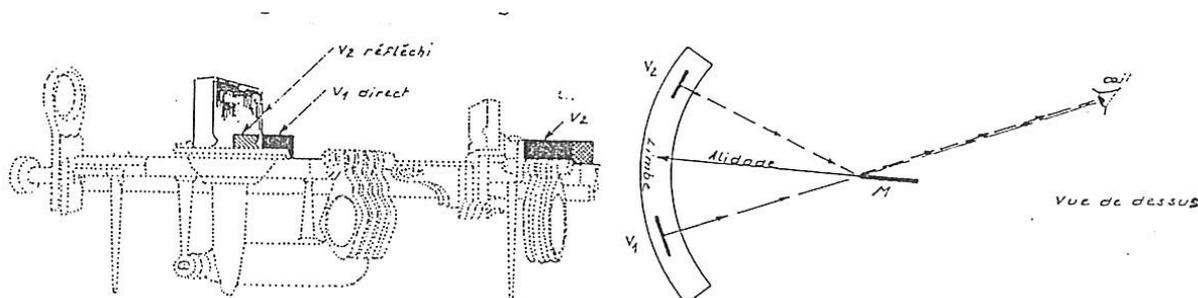
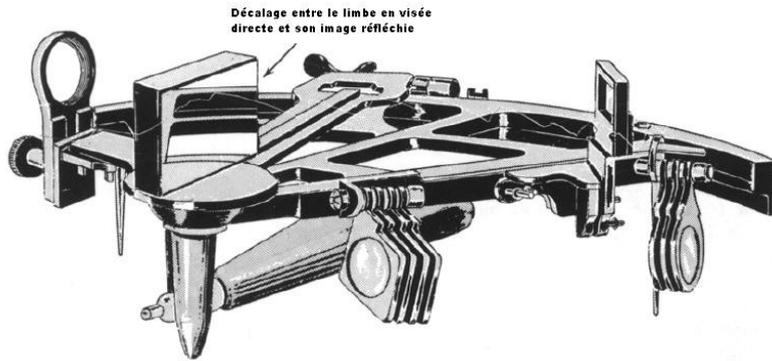


Illustration 3: Rectification du miroir d'index avec des équerres

NAV-ASTRO	LE SEXTANT	V3.0 –12/23
A. Charbonnel	GENERALITES & EXPLOITATION DU SEXTANT	4/10

Méthode sans équerre



Idem que précédemment en utilisant le bord du limbe à la place des équerres.

Illustration 4: Rectification du miroir d'index

Rectifier le petit miroir

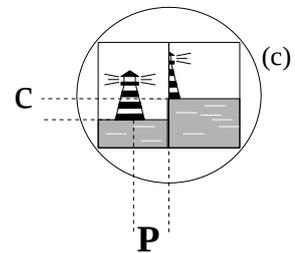
Le petit miroir doit être perpendiculaire au plan du limbe et parallèle au grand miroir.

NB : le parallélisme du petit miroir par rapport au grand miroir est appelé aussi collimation.

Mauvais réglage du petit miroir

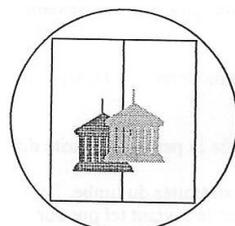
Si le petit miroir n'est pas correctement réglé, l'image directe et l'image réfléchie sont décalées : on peut alors observer des défauts de parallélisme et de perpendicularité (p).

Pour supprimer ces défauts, on agit de proche en proche sur les deux vis de réglages.

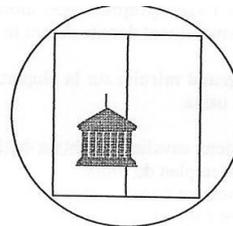


Méthode pour régler le miroir

1. Amener l'alidade à zéro.
2. Viser un amer éloigné, un astre ou à défaut l'horizon.
3. Si l'image directe et réfléchie sont confondues, le petit miroir est bien réglé ; sinon agir sur les deux vis du petit miroir.

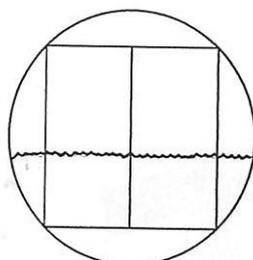


Petit miroir mal réglé

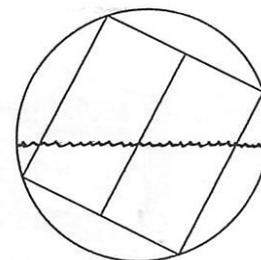
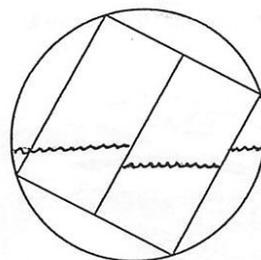


Petit miroir bien réglé

Attention si vous utilisez l'horizon pour régler, il faut incliner le sextant de 45° afin de faire apparaître un éventuel défaut de perpendicularité ("balancer" le sextant).



Petit miroir réglé verticalement, mais pas horizontalement!



Petit miroir bien réglé

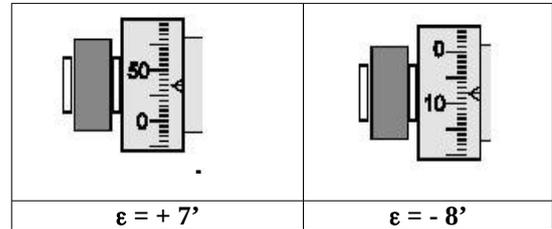
NAV-ASTRO	LE SEXTANT	V3.0 –12/23
A. Charbonnel	GENERALITES & EXPLOITATION DU SEXTANT	5/10

La collimation

Si après rectification, l'image directe et l'image réfléchie sont encore décalées sur le plan vertical, il faut déterminer l'erreur résiduelle pour pouvoir la prendre en compte dans les calculs de hauteurs par exemple.

Principe général de la mesure de l'erreur collimation

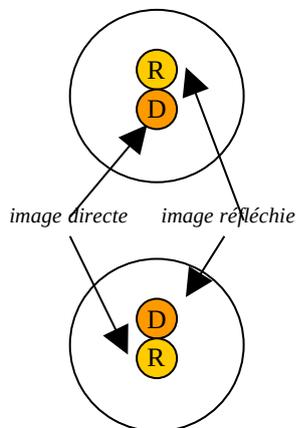
1. Viser un amer éloigné, un astre ou l'horizon.
2. Régler l'alidade de manière à avoir l'image directe et réfléchie parfaitement confondues
3. Lire sur le tambour la valeur de l'erreur de collimation ϵ :
 - $\epsilon > 0$ si l'index du limbe est à gauche du zéro,
 - $\epsilon < 0$ si l'index du limbe est à droite du zéro.



La hauteur de l'astre devra être corrigé de la collimation obtenue.

Collimation par le soleil

Pour déterminer de manière précise l'erreur de collimation avec le soleil, on procède comme suit :



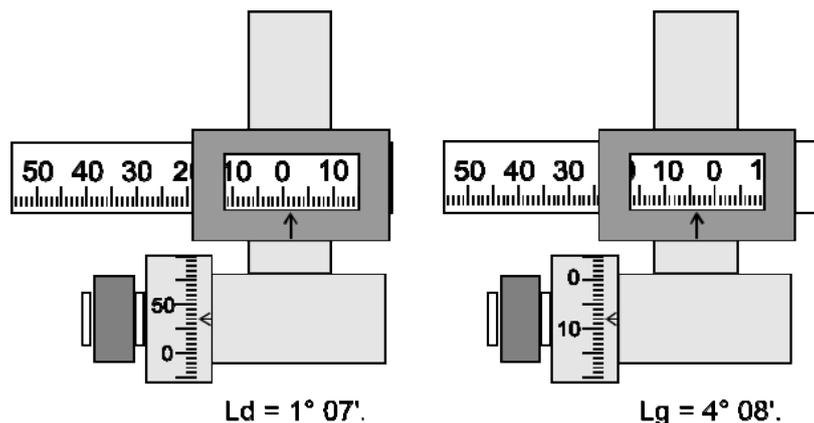
1. Choisir des filtres pour éviter l'éblouissement.
2. Amener le bord supérieur de l'image directe en contact avec le bord inférieur de l'image réfléchie ; la lecture est droite, elle est notée L_d .
3. Amener le bord inférieur de l'image directe sur le bord supérieur de l'image réfléchie ; la lecture est gauche, elle est notée L_g .
4. Calculer la collimation :

$$\epsilon = \frac{L_d - L_g}{2}$$

En comparant la valeur du $\frac{1}{2}$ diamètre du soleil donné par les éphémérides nautiques au jour d'observation à celle déterminée par la formule ci après, on peut déterminer l'erreur de mesure de l'observateur :

$$\frac{L_d + L_g}{4} = \frac{1}{2} \text{ diamètre du Soleil}$$

Exemple de lecture droite et gauche sur le vernier :



NAV-ASTRO	LE SEXTANT	V3.0 –12/23
A. Charbonnel	GENERALITES & EXPLOITATION DU SEXTANT	6/10

Les erreurs propres au sextant (Index error)

Index error

L'erreur du sextant (Index error) est déterminée en sommant l'erreur de collimation mesurée et l'erreur d'excentricité s'il y en a une.

L'erreur d'excentricité est donnée par un tableau dans la boîte du sextants

$$IE = \epsilon_{collimation} + \epsilon_{excentricité}$$

Index correction

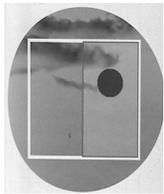
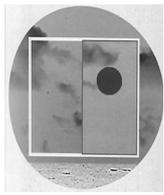
La valeur lue sur le sextant devra donc être corrigée ; cette correction (index correction) sera l'inverse de l'erreur mesurée $IC = -IE$

3- USAGES DU SEXTANT

En navigation hauturière

En navigation hauturière, le sextant permet de mesurer la hauteur d'astres ou étoiles et donc de déterminer sa position à partir de droites de hauteurs.

La précision du point est de 2 à 5' d'arc soit 1 à 5 M.

Méthodologie de la mesure d'une hauteur	
	<p>1-Viser l'astre directement Les curseurs du limbe et du tambour étant face à zéro, Pour le Soleil, disposer les filtres pour éviter l'éblouissement avant de diriger la lunette vers l'astre.</p>
	<p>2- Descendre l'astre sur l'horizon Faire coulisser l'alidade en conservant l'image du soleil dans la lunette. L'image de l'horizon entre dans le champ.</p>
	<p>3 –Régler les deux images finement Lorsque la ligne d'horizon commence à apparaître dans la partie transparente du petit miroir balancer le corps du sextant latéralement comme un pendule en affinant la visée au tambour. En balançant le sextant, le soleil se rapproche un peu de l'horizon.</p>
	<p>4- Mesurer la hauteur observée Quand la base du soleil touche l'horizon, bloquer l'instrument. Noter l'heure puis la hauteur observée.</p>

L'observation des étoiles et des planètes (hors soleil) s'effectuent à l'aube ou au crépuscule quand l'horizon est encore visible.

En cas de difficulté à trouver une étoile dans la lunette deux possibilités :

1. Garder les deux yeux ouverts.
2. Retourner le sextant à 180° et monter l'horizon vers l'étoile, puis reprendre le sextant à l'endroit pour affiner la mesure.

NAV-ASTRO	LE SEXTANT	V3.0 –12/23
A. Charbonnel	GENERALITES & EXPLOITATION DU SEXTANT	7/10

En navigation côtière

En navigation côtière, le sextant permet de déterminer une distance à partir d'un amer ou une position à partir de trois amers :

- **distance** : on mesure la hauteur d'un amer répertorié et on déduit la distance qui nous en sépare

$$Distance (en M) = 1,85 \frac{\text{hauteur connue (en m)}}{\text{hauteur mesurée (en min)}}$$

- **position** : après avoir identifié sur la carte 3 amers caractéristiques A, B, C ; on relève les angles séparant A de B puis B de C. Par construction géométrique, notre position est connue de façon précise (cf. fiche sur les arcs capables).

Précautions à prendre

- Ne manipuler que par la poignée.
- Bien débrayer la pédale lors de la manipulation de l'alidade
- Maintenir au sec (l'argenture des miroirs craint l'humidité).
- Éviter les écarts de températures.
- Rincer à l'eau douce, essuyer et le sécher s'il reçoit de l'eau de mer.
- Effectuer la rectification des miroirs avant de l'utiliser

4- PRÉCISION DU SEXTANT

Conditions idéales

Sur une plateforme stable avec un horizon dégagé, un marin peut théoriquement obtenir une position avec une précision de 0,2 M :

- précision du sextant : 0,1' = 0,1 M
- relevé à la seconde près : 1 s = 0,25' = 0,25 M (car les astres se déplacent de 15 ° en 1h, soit 0,25' en 1s)
- précision des éphémérides nautiques : 0,1' = 0,1 M

Paramètres affectant les relevés

Les paramètres affectant les relevés sont :

L'élévation de l'œil,

- Par mauvaise mer, la hauteur d'observation doit être aussi haute que possible.
- En cas de brouillard ou de précipitations sur l'horizon, la hauteur +doit être la plus faible possible.

L'erreur d'index

- à vérifier avant et après les relevés.
- Les deux lectures sont ajoutées pour réaliser une moyenne

L'erreur de temps

- Préférer l'horloge de référence (correctement corrigée) à l'heure donner par le GPS, il peut avoir jusqu'à 5s d'erreur
- Une erreur d'une minute produit une erreur de position de 15M.

NAV-ASTRO	LE SEXTANT	V3.0 –12/23
A. Charbonnel	GENERALITES & EXPLOITATION DU SEXTANT	8/10

Précisions du point astronomique selon la méthode

Procédé	Matériel	Astre	Visées	Résultat (calcul/tracé)	Précision
Latitude à la méridienne	Sextant	Soleil	Visée réalisée quand l'astre culmine.	latitude locale.	2 à 3' 1 à 3 M
Longitude à la méridienne	Sextant	Soleil	Visée avant culmination et une après à la même hauteur.	Longitude locale.	2 à 3' 1 à 3 M
Droite de soleil	Sextant Montre	Soleil	2 visées opérées à plus de 3 h d'intervalle.	Intersection de deux droites.	2 à 5' 1 à 5 M
Droite de lune	Sextant Montre	Lune	2 visées opérées à plus de 3 h d'intervalle.	Intersection de deux droites.	2 à 5' 1 à 5 M
Droite de planètes	Sextant Montre	Planète	2 visées opérées à plusieurs heures d'intervalles ou deux visées successives sur deux planètes différentes.	Intersection de deux droites.	2 à 5' 1 à 5 M
Droite d'étoiles	Sextant Montre	étoiles	2 visées opérées à plus de 3 h d'intervalle.	Intersection de deux droites	2 à 5' 1 à 5M
Point d'étoiles	Sextant Montre	étoiles	Plusieurs visées successives sur des étoiles différentes.	Intersection de plusieurs droites.	2 à 3' 1 à 3 M

5- DÉTERMINATION DE LA HAUTEUR VRAIE (NAUTICAL ALMANAC)

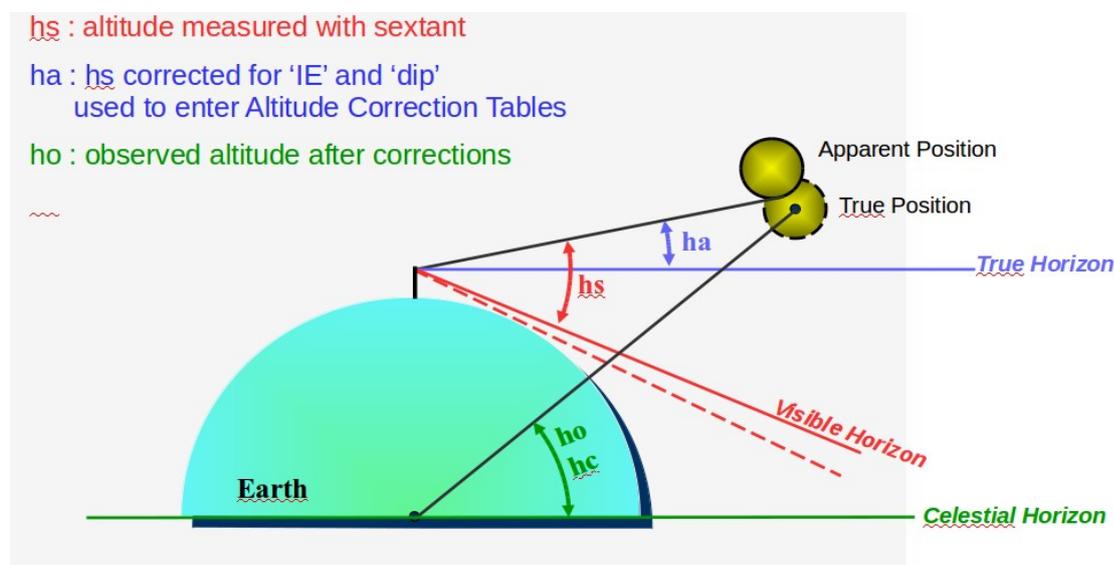


Illustration 5: Les différentes hauteurs

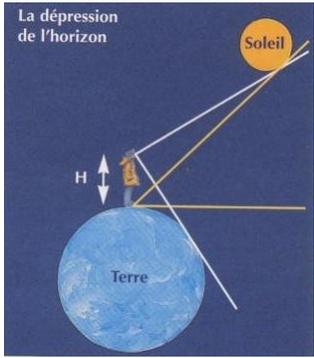
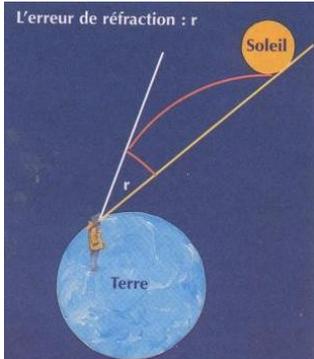
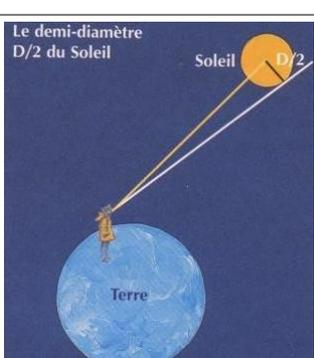
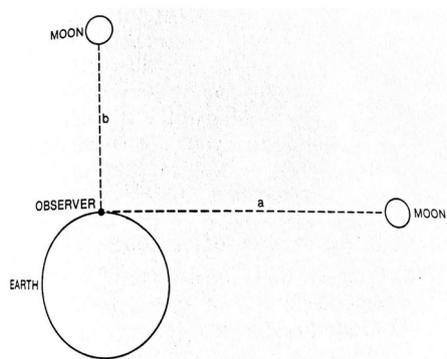
Définitions

- **H_s = sextant altitude (hauteur sextant)**
= hauteur lue sur le sextant après la visée. *Attention la hauteur apparente et observée n'ont pas la même signification dans les éphémérides nautiques.*
- **H_a = apparent altitude (hauteur apparente)**
= hauteur sextant corrigée des erreurs du sextant (IC : index correction) et de la dépression
 $H_a = H_s + \text{Dip} + \text{IC}$
- **H_o = observed altitude**
= angle entre l'horizon vrai (passant par le centre de la terre) et la droite joignant le centre de la terre à l'astre/étoile.
= hauteur observée corrigée de :
 - la dépression de l'horizon,
 - la réfraction astronomique,
 - La parallaxe,
 - Le $\frac{1}{2}$ diamètre du soleil.

Dans le Nautical Almanac, ces corrections sont agrégées dans des tableaux 'Altitude Correction' différents selon les astres observés

NAV-ASTRO	LE SEXTANT	V3.0 –12/23
A. Charbonnel	GENERALITES & EXPLOITATION DU SEXTANT	9/10

Les erreurs et corrections à apporter

<p>La dépression de l'horizon</p> 	<p>Dip of the horizon correction (D) – la dépression</p> <ul style="list-style-type: none"> fonction de l'élévation de l'œil et des conditions atmosphériques. Correction toujours négative
<p>L'erreur de réfraction : r</p> 	<p>Refraction correction (R) - la réfraction</p> <ul style="list-style-type: none"> Rayon lumineux courbé par la réfraction de l'atmosphère. Plus la hauteur de l'astre est faible, plus la réfraction est importante correction toujours négative donnée dans le Nautical Almanac pour des conditions de pression et de température standards (10°C / 1010 hPa). <p>Air Temperature (T) & Barometric (B) Corrections</p> <p>La correction de la réfraction R varie légèrement avec la densité de l'atmosphère et donc en fonction de sa température et de sa pression. Une correction complémentaire T et B peut donc être ajoutée à R. Cette correction n'est généralement pas nécessaire SAUF si la hauteur est inférieure à une dizaine de degrés ou si la température et la pression s'éloignent des conditions standards</p>
<p>Le demi-diamètre D/2 du Soleil</p> 	<p>Semi-diameter correction (SD)</p> <ul style="list-style-type: none"> Les mesures astronomiques supposées faites depuis le centre des astres alors que la mesure de hauteur se fait sur le bord inférieur ou supérieur d'un astre quand ce dernier a un diamètre significatif. => correction nécessaire S'applique uniquement à la Lune (Moon) et au Soleil (Sun) puisque les planètes et les étoiles n'ont pas de diamètre apparent significatif. <p>Augmentation (A)</p> <p>Le demi diamètre varie selon la distance de l'astre et l'observateur, cette augmentation n'est notable que pour la Lune qui est très proche.</p> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>Phase (F)</p> <p>Les planètes comme la lune peuvent connaître un régime de phases, mais celles ci ne sont visibles qu'au télescope.</p> <p>Irradiation (J)</p> <p>Illusion optique qui fait qu'un objet lumineux juxtaposé avec un plus sombre apparaît plus gros que réel</p> </div> </div>
<p>L'erreur de parallaxe : p</p> 	<p>Parallax (P) – le parallaxe</p> <p>Différence de direction d'un objet à distance fini observé à la surface de la terre par rapport à la direction observé depuis le centre de la terre</p>

NAV-ASTRO	LE SEXTANT	V3.0 –12/23
A. Charbonnel	GENERALITES & EXPLOITATION DU SEXTANT	10/10

BIBLIOGRAPHIE/SOURCES

ibliographies

Patrick Brassier - *Navigation astronomique* – Vuibert - nov.1999.

Voiles & voiliers - *Étoiles et point astro - Hors série n° 10 Voiles & voiliers* – 1996.

Caillou/Laurent/Percier - *Traité de navigation* – INFOMER

Bureau des longitudes – *Éphémérides nautiques 2003* – Edinautic - 2002 (les éphémérides astronomiques sont disponibles en ligne gratuitement sur <http://www.imcce.fr/ephemeride.html> à partir d'un formulaire).

N. Bowditch – *The american practical Navigator* - NIMA 2003 (disponible gratuitement sur <http://pollux.nss.nima.mil/pubs>)

JN Conan - *Présentation du sextant* – photocopié ENMM St Malo.

Y. Petitbon - *Le sextant* - photocopié ENMM Nantes

NGA - *Sight Reduction Tables for Air Navigation vol 3 - Pub. 249– 1951 -NGA* (disponible gratuitement sur <http://pollux.nss.nima.mil/pubs>)

Illustrations

	Source de l'illustration
Illustration 1: Description du sextant	
Illustration 2: Différents types de verniers	Steering Mariners - How to read the sextant to obtain the altitude – youtube – consulté le 16/12/2023
Illustration 3: Rectification du miroir d'index avec des équerres	https://youtu.be/j554g6XX40U?feature=shared
Illustration 4: Rectification du miroir d'index	Figure extraite du Bowditch- <i>American Practical Navigator</i> - Chapter 14- Instruments For Celestial Navigation- 2019 Figure 1201

