

Introduction à la Navigation Astronomique

Principes de base

Olivier Le Diouris

On va exposer dans ce document les principes de base utilisés en navigation astronomique pour trouver sa position en mer.

Ces principes reposent sur les données suivantes :

- La connaissance du temps
- La position de l'astre observé
- La position estimée de l'observateur
- La hauteur de l'astre observée

Le principe de base consiste à comparer ce qu'on devrait observer avec le sextant si on était là où on pense être avec ce qu'on observe en réalité, et à corriger son estime en conséquence.

La navigation astronomique consiste à corriger son estime.

Et 95% des calculs à faire sont uniquement destinés à calculer ce qu'on devrait observer si on était effectivement là où on pense être.

Le principe

Les données et les éléments du calcul

Le sextant

- L'observation d'un astre se fait dans notre contexte à l'aide d'un sextant. Cet appareil sert à mesurer des angles. On s'en sert pour mesurer l'angle que fait un astre au dessus de l'horizon. On appelle cet angle la *hauteur* d'un astre.
- La précision requise est de l'ordre de la minute d'arc.
- Pour donner une idée, une minute d'arc, c'est gros comme un cheveux à bout de bras.

Page 4

Les données

- Connaissance du temps
 - Il s'agit de la connaissance de l'heure exacte, à la seconde près. Il faut une bonne montre ou un bon chronomètre.
 - En effet, la terre tourne de 360° en une journée, ce qui fait 15° par heure, soit 1° en 4 minutes, et donc 1 minute d'arc en 4 seconde de temps. Une minute d'arc, c'est un mile par définition. Une erreur de 4 secondes sur la montre constitue donc 1 mile d'erreur sur la carte...
 - On utilise ce temps exact pour calculer la position de l'astre observé.

Page 5

Les données

- La position de l'astre observé.
 - On la calcule à l'aide des almanachs nautiques ou astronomiques (qu'on appelle aussi *éphémérides*). Ces documents donnent pour tout instant les coordonnées de différents astres (soleil, lune, planètes, étoiles).

Page 6

Les données

- La position estimée de l'observateur
 - Elle est obtenue grâce à la tenue de l'estime. Comme on l'a dit, on est en train de corriger son estime. Elle doit être tenue de manière rigoureuse.
 - L'estime est tenue grâce au livre de bord.

Page 7

Les données

- La hauteur observée
 - Elle est lue sur le sextant, et on y applique plusieurs corrections :
 - Demi-diamètre
 - Dans le cas de la Lune ou du Soleil
 - Réfraction
 - Parallaxe
 - Dépression de l'horizon
 - Compte tenu de la précision requise, cette donnée est probablement la plus délicate à obtenir, ça demande de l'entraînement.

Page 8

Pour résumer les données

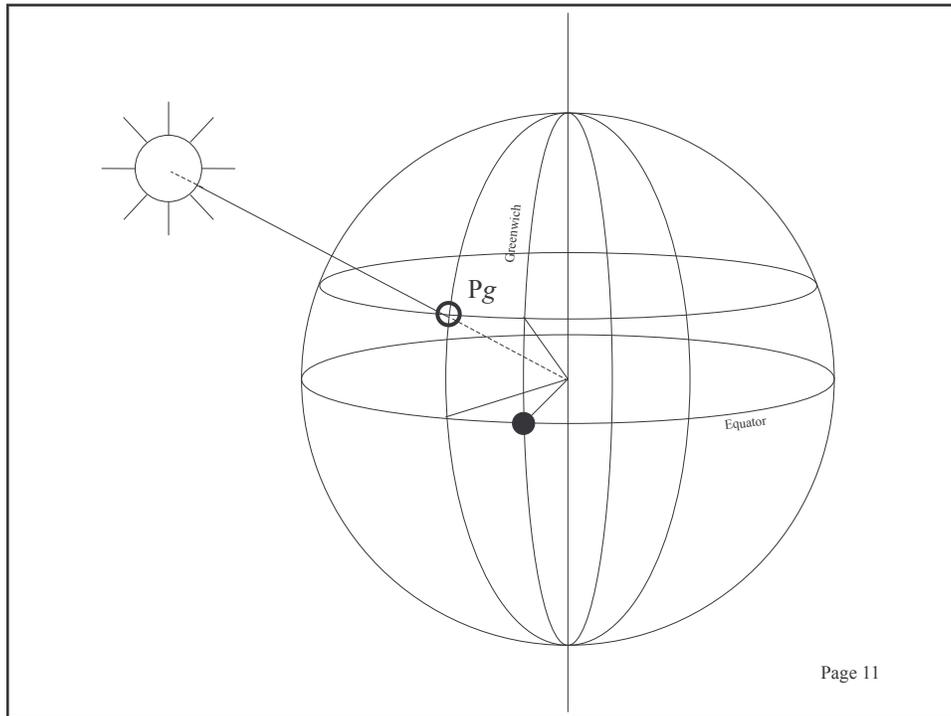
- Pour avoir la hauteur observée, il faut un sextant (et savoir s'en servir).
- Pour avoir l'heure, il faut une (bonne) montre.
- Pour avoir sa position estimée, il faut un livre de bord à jour.
- Pour avoir la position de l'astre observé, il faut des éphémérides à jour.

Page 9

Première définition

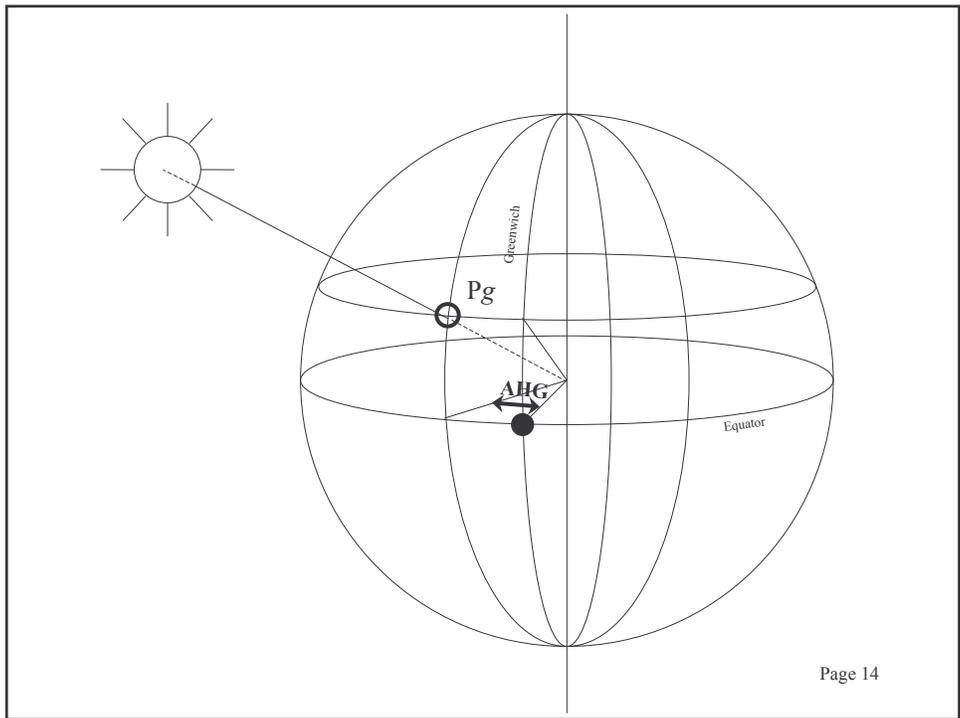
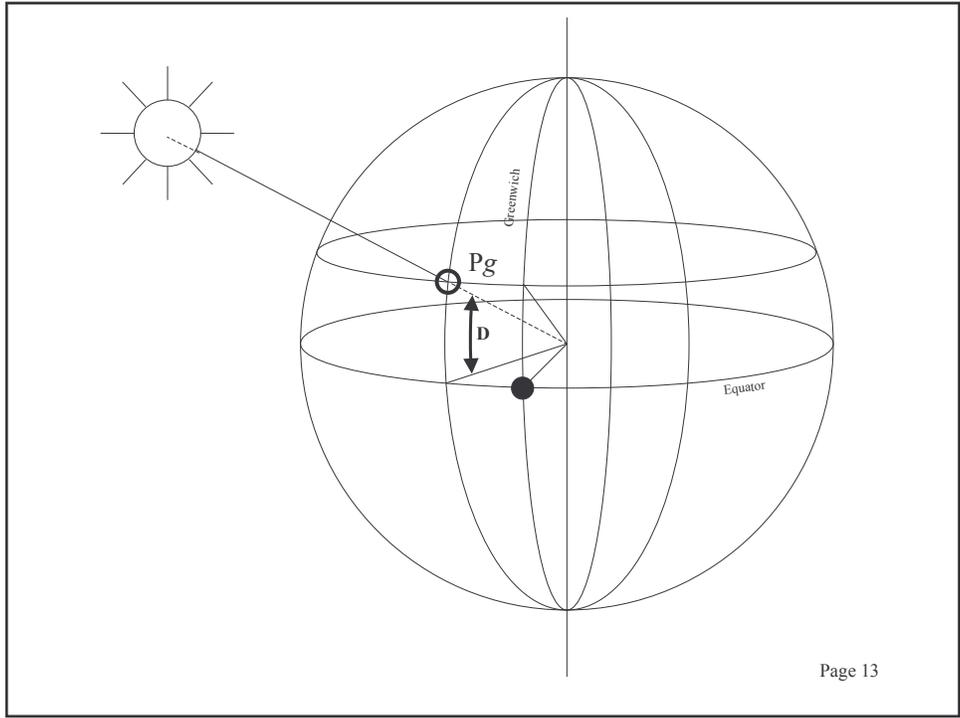
- Lorsqu'on parle de la position d'un astre, on parle en fait de la position du point de la Terre où l'astre est à la verticale (zénith).
- On appelle ce point la *Position Géographique Instantanée* d'un astre, notée **Pg**

Page 10



Première définition

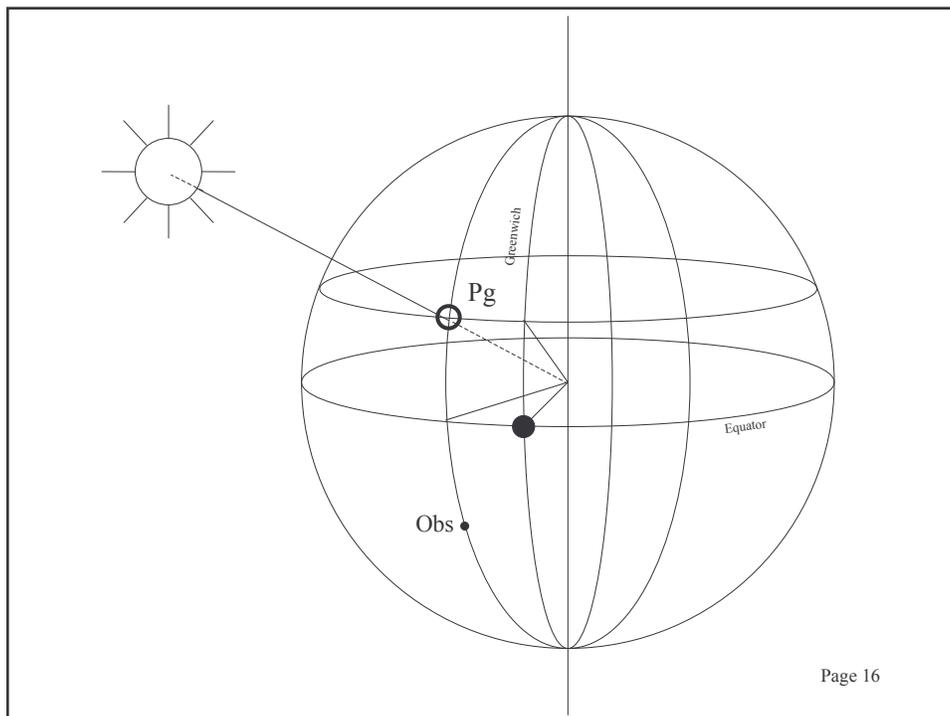
- Ce point P_g , comme tous les points de la Terre, a une Latitude et une Longitude
- Sa Latitude s'appelle la Déclinaison, notée D
- Sa Longitude s'appelle Angle Horaire à Greenwich, noté AHG .



Un cas particulier

- Pour exposer le principe de la façon la plus claire possible, on va considérer d'abord le cas particulier où l'observateur (noté **Obs** sur les figures suivantes) se trouve sur le même méridien que le point Pg.
- Ce principe s'appelle *Hauteur Méridienne*, car on mesure la hauteur alors qu'on est sur le même méridien que l'astre.

Page 15

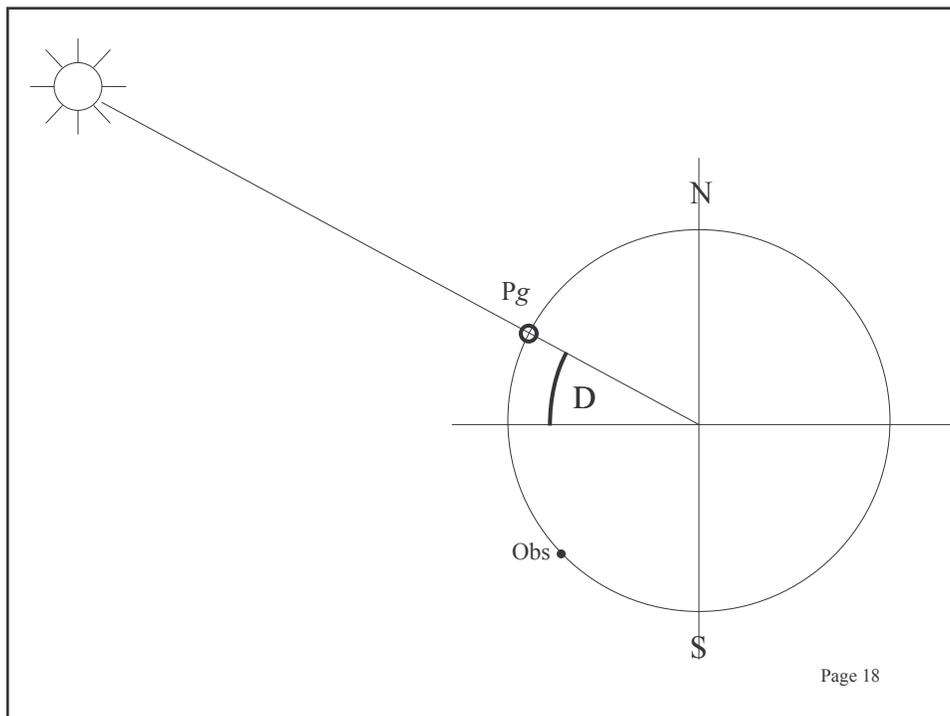


Page 16

Un cas particulier

- Pour simplifier les diagrammes, on va faire figurer le méridien sur lequel se trouvent l'astre et l'observateur dans le plan de la feuille.

Page 17



Un cas particulier

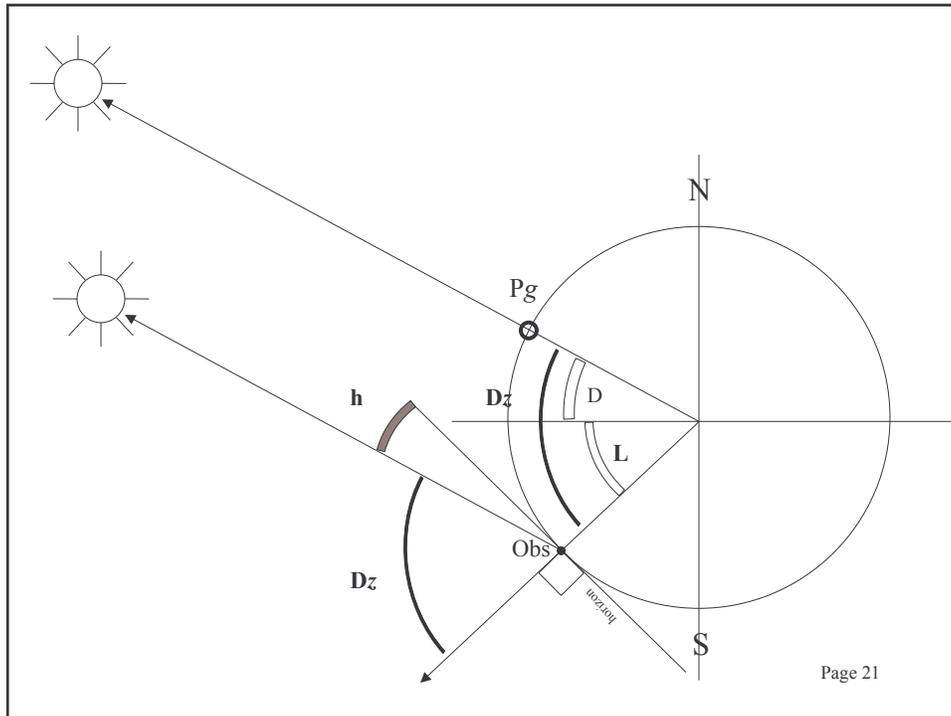
- On a besoin ici d'introduire la notion de Distance Zénithale.
 - La Distance Zénithale, notée Dz ou ξ est le complément de la hauteur, soit $(90^\circ - \text{hauteur})$.
 - On voit les rapports respectifs entre hauteur et distance zénithale sur les diagrammes suivants.

Page 19

Un cas particulier

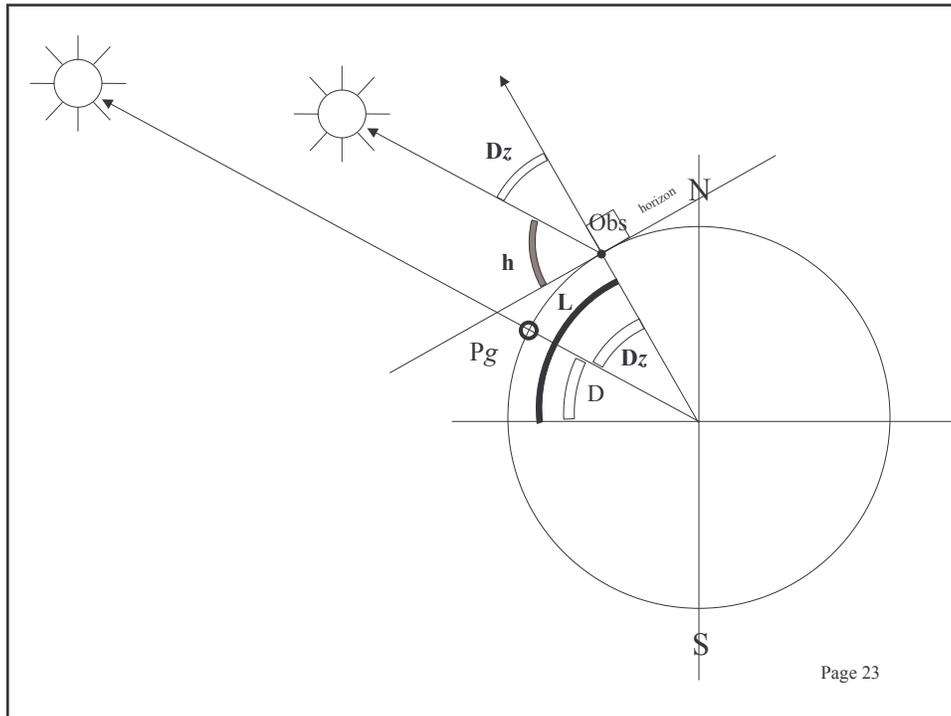
- Dans le diagramme qui suit, on a représenté 2 fois le soleil, uniquement afin que ses rayons soient parallèles.
- On constate que dans ce cas, la Distance Zénithale est égale à la *somme* de la Latitude et de la Déclinaison.
- Connaissant la Distance Zénithale, la détermination de la hauteur est immédiate.

Page 20



Un cas particulier

- Sur la figure suivante, on constate que dans ce cas, la Distance Zénithale est égale à la *différence* entre la Latitude et de la Déclinaison.
- Il est donc important de considérer les signes respectifs de la Latitude de l'observateur et de la Déclinaison de l'astre.



Un cas particulier

- Ainsi, dans ce cas particulier où l'observateur et l'astre se trouvent sur le même méridien, il est facile de calculer la hauteur de l'astre pour cet instant donné, à la position estimée de l'observateur.

Un cas particulier

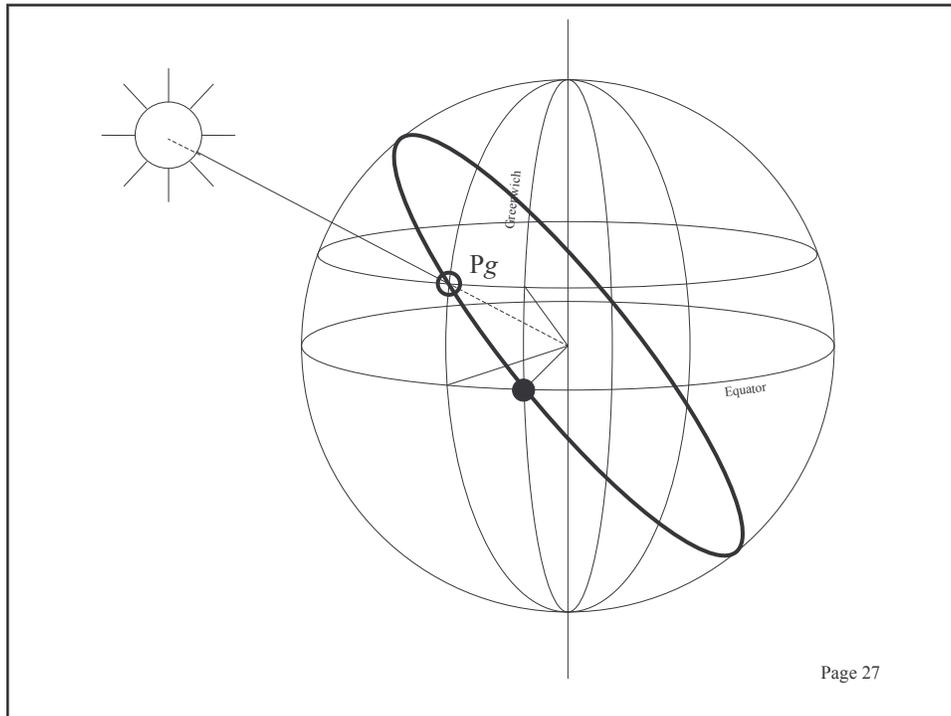
- Pour résumer
 - Si L & D sont de même signe
 - $H_e = 90^\circ - (L-D) = 90^\circ - L + D$
 - Si L & D sont de signes contraires
 - $H_e = 90^\circ - (L+D) = 90^\circ - L - D$

Page 25

Deuxième définition

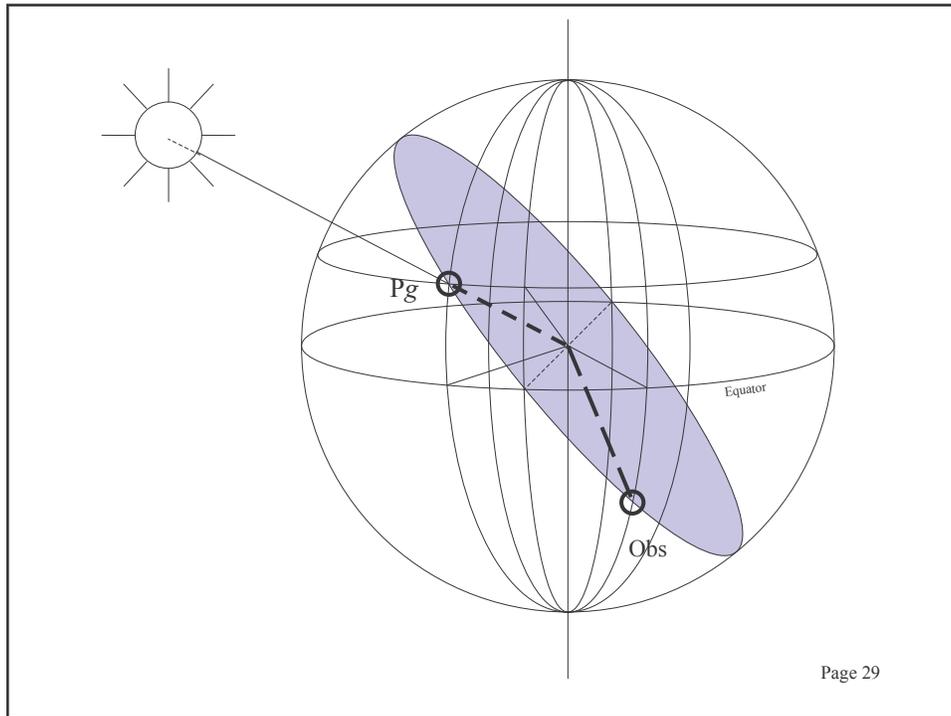
- Grand Cercle
 - Un Grand Cercle est un cercle qui coupe la Terre en deux moitiés égales.
 - Tous les méridiens sont des grands cercles
 - L'équateur est le seul parallèle qui soit un grand cercle.
 - Par deux points donnés sur la Terre, il ne passe qu'un grand cercle.
 - Sauf s'ils sont chacun à l'extrémité d'un diamètre, évidemment...
 - Le trajet le plus court d'un point à un autre est un arc de grand cercle (qu'on appelle *orthodromie*)

Page 26



Généralisation

- Dans le cas – fréquent – où l'observateur et le point P_g ne sont pas sur le même méridien, on considère le grand cercle – unique donc – qui passe par la position estimée de l'observateur, et le point P_g .



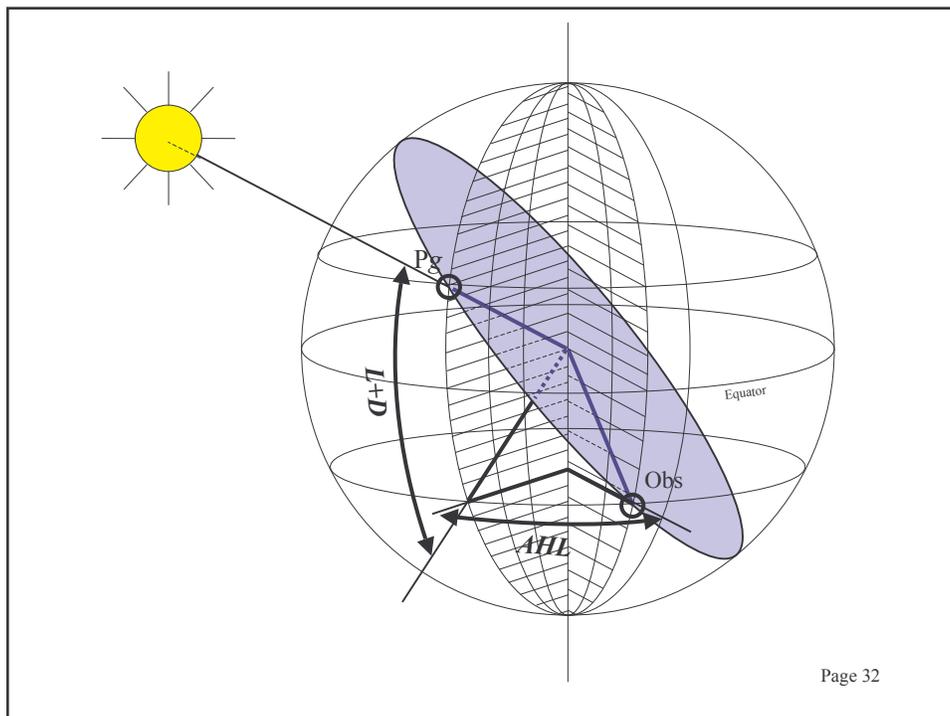
Généralisation

- Toute l'astuce de calcul, destinée à trouver la hauteur estimée de l'astre consiste donc à faire "*pivoter*" ce grand cercle de manière à l'amener dans le plan de la feuille.
- Ainsi, on se trouve dans le cas de figure déjà décrit pour la hauteur méridienne.

Généralisation

- De trigonométrie dans le plan, on passe donc en trigonométrie sphérique. Les calculs sont plus compliqués, mais le principe est simple...
- Ce calcul de “*pivotement*” fait intervenir deux grandeurs essentielles:
 - La somme $L \pm D$
 - La différence de longitude entre l’observateur et Pg, appelée Angle Horaire Local, noté **AHL**.
- Ces deux grandeurs sont en fait
 - La différence de latitude entre Pg et Obs
 - La différence de longitude entre Pg et Obs

Page 31



Page 32

Généralisation

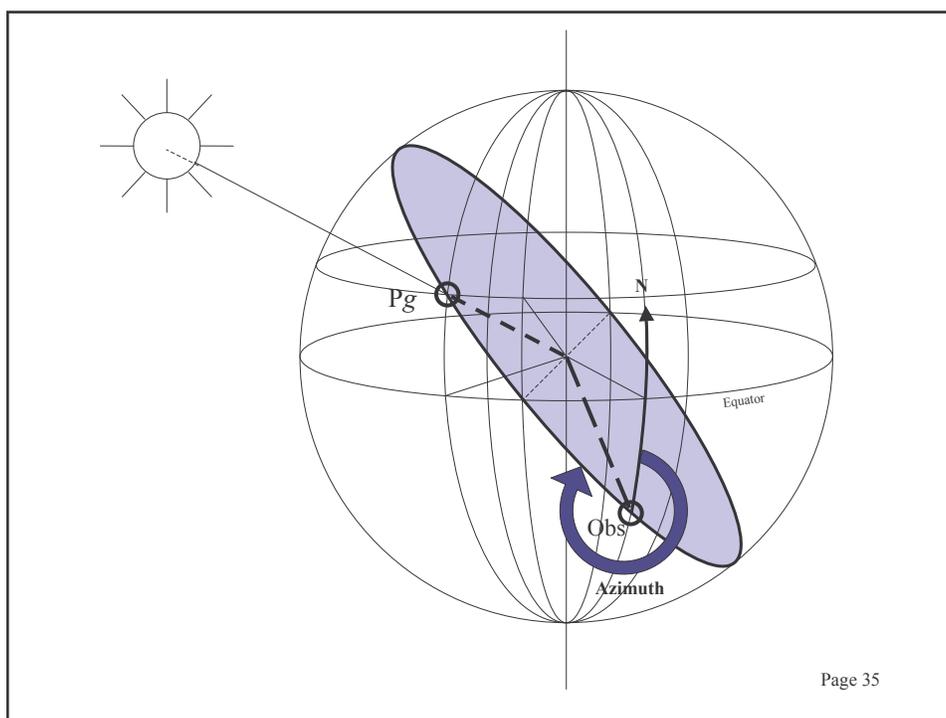
- Une fois ce pivotement effectué, on a tous les éléments pour déterminer la hauteur estimée de l'astre observé.
- Ces calculs seront détaillés dans un autre document, pas ici.

Page 33

Troisième définition

- Azimuth
 - L'azimuth – noté **Z** – n'est rien d'autre que la **direction** dans laquelle on voit l'astre observé.
 - C'est également le relèvement du point Pg, autrement dit la direction à prendre pour l'atteindre.
 - L'azimuth est compté de 0° à 360°
- *Remarque*: dans le cas de la hauteur méridienne, l'azimuth est 0 ° ou 180 °

Page 34



Ce qu'on cherche...

- Toutes les figures et tous les calculs décrits précédemment n'ont que deux objectifs:
 - Calculer, pour la position estimée de l'observateur, à l'heure exacte de l'observation
 - La hauteur estimée
 - L'azimuth de l'astre

Généralisation

- Ces données s'obtiennent par la résolution des formules suivantes:

$$H_e = \text{arcSin} [\sin(L) \cdot \sin(D) + \cos(L) \cdot \cos(D) \cdot \cos(AHL)]$$

$$Z = \text{arcTg} \left(\frac{\sin(AHL)}{(\cos(L) \cdot \text{tg}(D)) - (\sin(L) \cdot \cos(AHL))} \right)$$

- On ne rit pas.

Page 37

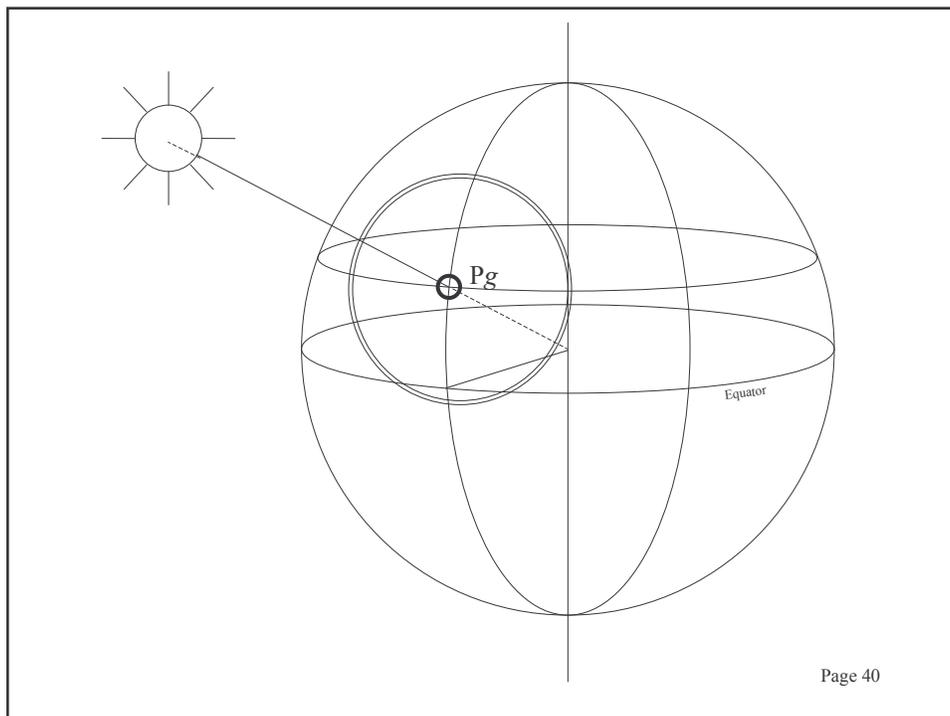
Exploitation des résultats

Correction de l'estime, et
détermination de la position

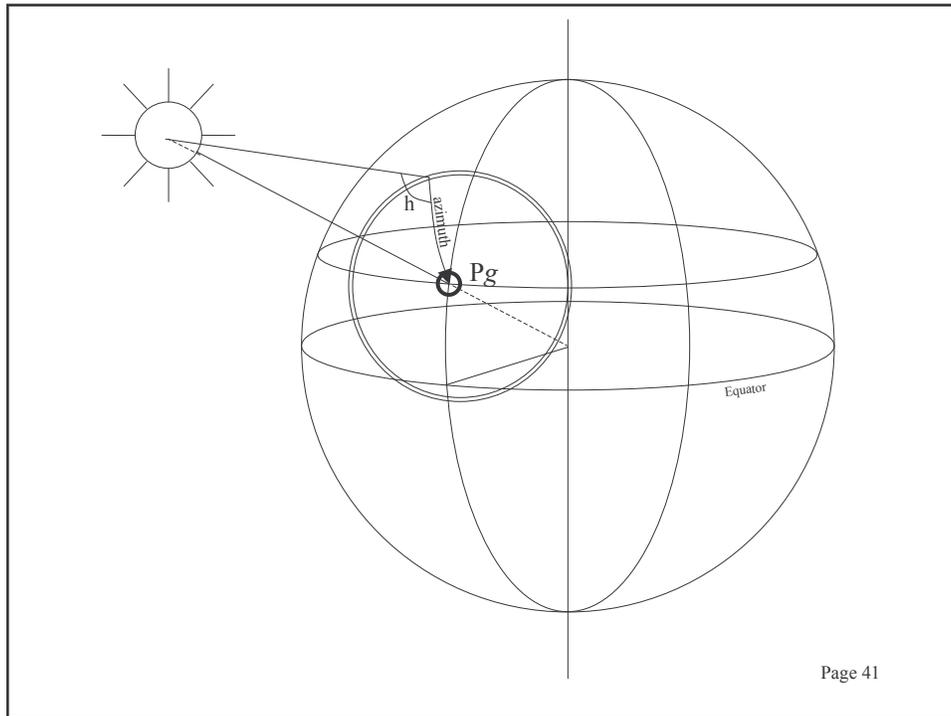
Exploitation des résultats

- On a donc déterminé par le calcul la hauteur estimée d'un astre, à savoir la hauteur qu'on observerait si on était effectivement à position estimée de l'observateur.
- Tous les points d'un cercle, centré sur le point P_g , voient l'astre à la même hauteur.

Page 39

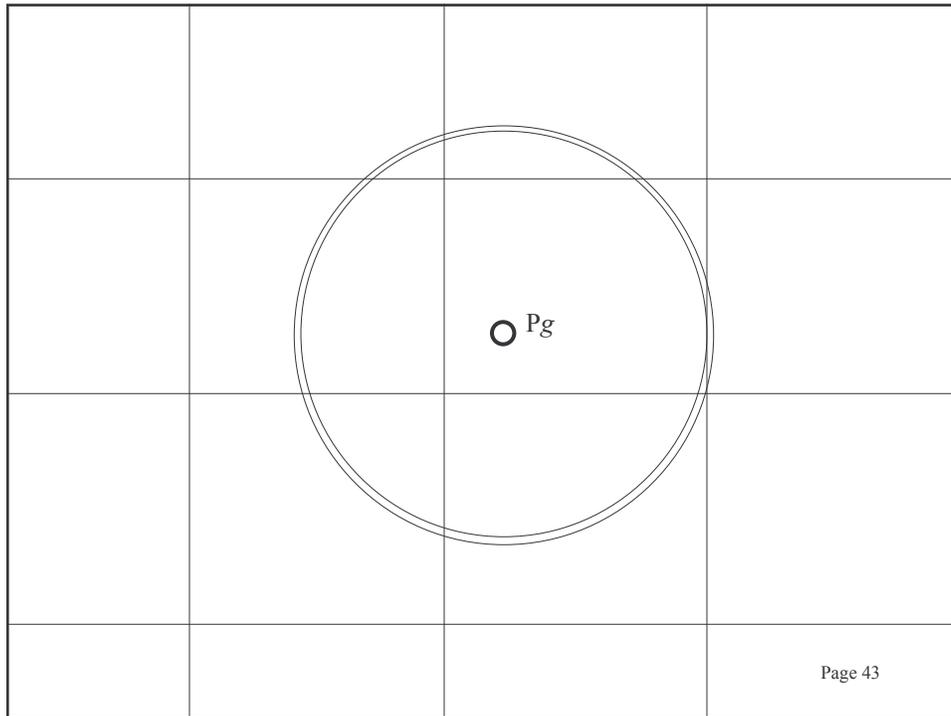


Page 40



Exploitation des résultats

- On passe le diagramme précédent sur la carte, et on obtient le suivant



Page 43

Exploitation des résultats

- En pratique, on est rarement assez près du point Pg pour qu'un tel *cercle d'égaux hauteurs* tienne sur la carte.
- De fait ce cercle est souvent tellement grand que sur une longueur de 20 ou 30 miles sur sa circonférence, il est assimilable à une droite, qu'on appelle *droite d'égaux hauteurs* (que tout le monde abrège en *droite de hauteurs*)

Page 44

Exploitation des résultats

- On a donc jusqu'à présent :
 - La hauteur estimée de l'astre
 - L'azimuth de l'astre
 - La position estimée de l'observateur

Page 45

Quatrième définition

- Intercept
 - L'intercept est la différence entre la hauteur estimée (calculée) et la hauteur observée (avec le sextant).
 - Il peut donc être positif ou négatif
 - Il est exprimé en minutes d'arc
 - On rappelle la définition du mile marin:
 - Une minute d'arc au centre de la Terre projetée à sa surface.
 - Il y a donc une corrélation directe entre la valeur de l'intercept en minutes et la valeur de la correction à apporter à l'estime en miles.

Page 46

Exploitation des résultats

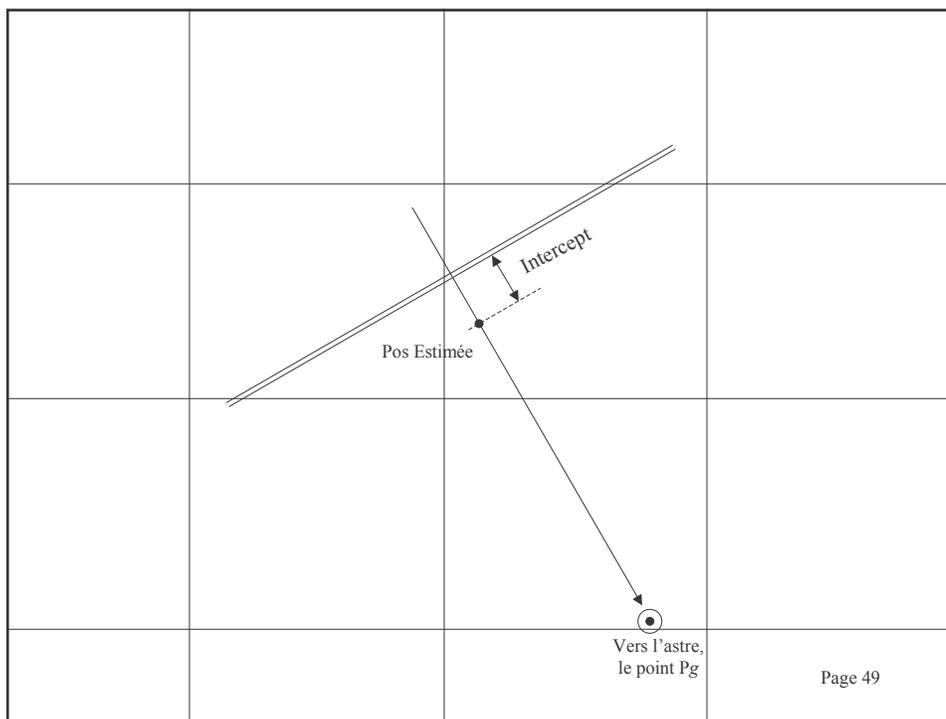
- On porte sur la carte la position estimée de l'observateur
- On trace l'azimuth, passant par cette position
- Si la hauteur observée est plus grande que la hauteur estimée, ça signifie qu'on est en réalité *plus près* de l'astre que ne le prétend l'estime, et ce d'autant de miles qu'il y a de minutes dans l'intercept.
- Si la hauteur observée est plus petite que la hauteur estimée, ça signifie qu'on est en réalité *plus loin* de l'astre que ne le prétend l'estime, et ce d'autant de miles qu'il y a de minutes dans l'intercept.

Page 47

Exploitation des résultats

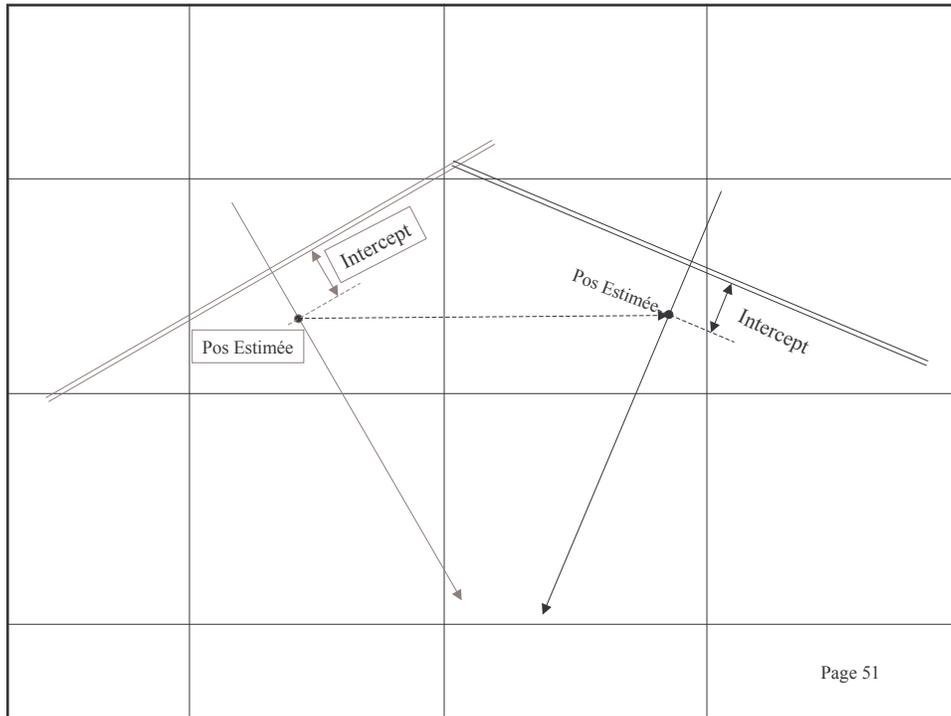
- On porte donc sur la carte l'intercept le long de l'azimuth, dans le sens approprié.
- Perpendiculairement à l'azimuth, à partir du point ainsi trouvé, on trace la *droite de hauteurs*.

Page 48



Exploitation des résultats

- Tout ce qu'on sait à présent, c'est qu'on est en réalité quelque part sur cette droite.
- Afin d'affiner cette information, on fait une deuxième droite, quelques heures plus tard, afin que la nouvelle droite n'ait pas le même azimuth que l'ancienne.

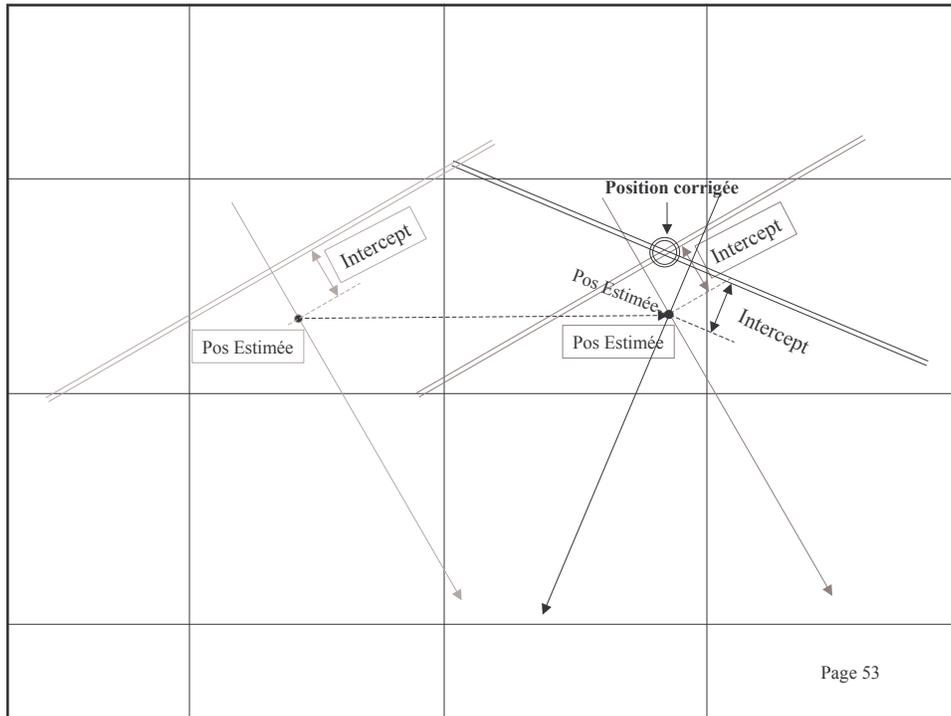


Page 51

Exploitation des résultats

- On translate ensuite la première droite de la distance parcourue dans l'intervalle qui sépare les deux observations, dans la direction qu'on a suivie.
- On obtient ainsi une intersection entre les deux droites, qui se trouve être la *position corrigée*, puisqu'elle synthétise à la fois les informations données par la première et la deuxième droite.

Page 52



Conclusion

- La démarche décrite dans ce document est simple, mais les calculs pour la mettre en œuvre n'ont rien de trivial.
- Néanmoins, une bonne compréhension du principe est nécessaire, ne serait-ce qu'afin de détecter les erreurs de calcul, qui ne manqueront pas d'arriver.