Rose double pour le calcul de la variation[1] et applications

D.42-51

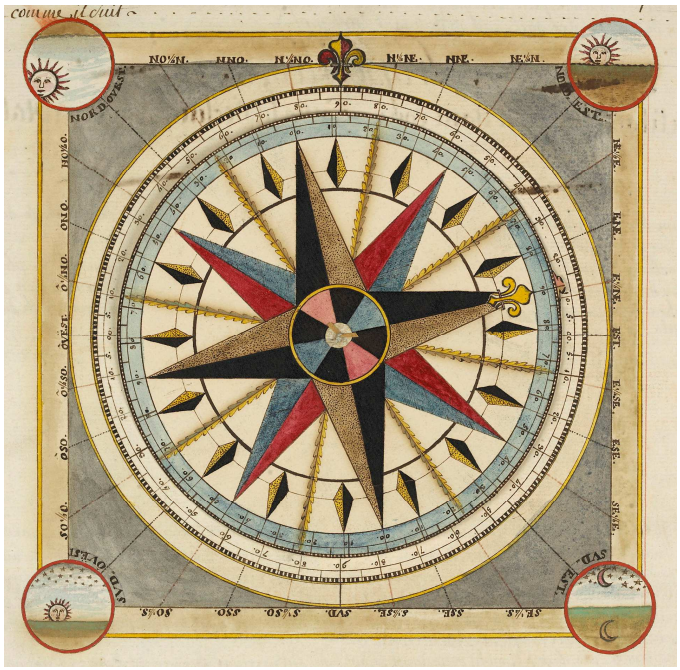
Aide et complément :

Rose des vents (II 1)
Variation et déclinaison magnétique
Compas de route et compas de variation
Définitions astronomiques pour comprendre la détermination de la variation de la boussole

But :

Cette rose double est un instrument de calcul. Elle sert à trouver la variation à partir de deux observations en un lieu, ou d'une observation et d'un calcul théorique (ou lecture dans une table). Elle en donne simplement une approximation mais elle permet surtout de déterminer très sûrement l'opération à faire pour connaître la variation précisément.

1. Rose double D.46



Description :

Le disque du dessous est gradué en 32 rumbs tous les 11°15' avec le nom correspondant à chacun d'eux. Une autre graduation est en degrés de 0° à 90° à partir de l'Est et à partir de l'Ouest sur chaque quartier. Les subdivisions donnent une lecture au ½ degré.
Sur le disque mobile est dessinée une rose des vents qui signale aussi les 32 rumbs. Sa couronne extérieure a une graduation en degrés similaire à la précédente.
La fleur de lys en haut du dessin représente le nord géographique et celle du disque mobile, le nord magnétique, contrairement à la rose double (D.41) fixé à l'aimant du compas de route.

Utilisation :

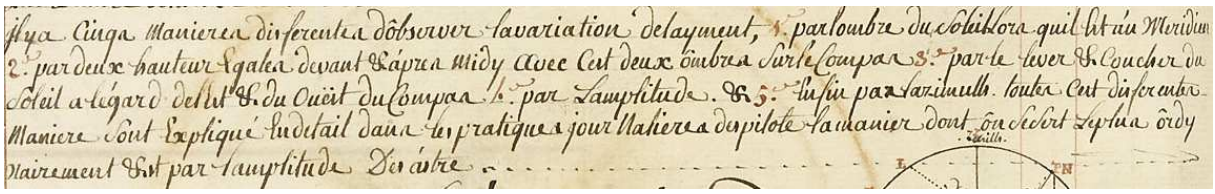
Cette rose double placée dans un carré n'est pas faite pour tourner dans un compas de route. Elle permet de trouver la variation par lecture directe ou d'aider aux calculs plus exacts.
Toute la difficulté est de déterminer de combien est la variation magnétique mais aussi si cette variation est Est ou Ouest par rapport au nord géographique. La rose double est une précieuse aide pour répondre à ces deux problèmes.

2. Les différentes méthodes

Cinq méthodes. Une diversité indispensable si l'on veut prendre en compte les caprices du Soleil sur une journée, les caractéristiques du compas de variation utilisé, la précision de la lecture instrumentale…
Les traités de navigation de l'époque comme celui de Bouguer ou celui de Guillaume Denys développent toutes ces méthodes. Denoville, lui, s'inspire énormément, il le dit lui-même, *des pratiques journalières* écrit par Le Cordier père, et repris par M. Le Cordier fils de 1740 sous le titre de *Traité géométrique de la variation de la boussole.* Dans ce dernier ouvrage, on trouve une table des amplitudes[2] pour une latitude donnée de degré en degré de 0° à 90°(15 pages) ainsi que celle des heures de lever & coucher du Soleil pour une latitude donnée tous les 2°, de 0° à 30°, puis tous les degrés jusqu'à 60° (15 pages).

Denoville privilégie la partie pratique de l'exposé en faisant des choix judicieux pour illustrer les différentes situations :

[1] On utilise le terme *variation* à la place de *déclinaison magnétique* comme dans le manuscrit. La déviation propre au milieu local et au cap n'est pas prise en compte (voir variation et déclinaison magnétique).
[2] L'amplitude d'un astre est l'arc de l'horizon compris entre l'Est ou l'Ouest et le point de l'horizon où cet astre se lève & couche.



Il y a 5 manières différentes d'observer la variation de l'aimant, 1. par l'ombre du Soleil lorsqu'il est au méridien, 2. par deux hauteurs égales d'avant et après midi avec ses deux ombres. 3. par le lever & coucher du Soleil à l'égard de l'Est & de l'Ouest du compas 4. par l'amplitude & 5.enfin par l'azimut. Toutes ces différentes manières sont expliquées en détail dans les pratiques journalières des pilotes la manière dont on se sert le plus ordinairement est par l'amplitude des astres. D.40

Toutes les méthodes ont un lien commun, celui de trouver l'aire de vent du vertical du Soleil sur l'horizon en fonction de sa hauteur en un lieu. Au lever et au coucher, la hauteur est nulle et elle est maximale au passage du Soleil au méridien. Dans cette dernière situation, une seule observation suffit. Pour utiliser l'une des autres méthodes, ou bien il faut faire deux observations à deux moments différents de la journée, ou bien il faut une observation et une donnée théorique lue dans une table ou calculée par le pilote. Par exemple, on peut trouver la variation par deux observations de l'orientation du Soleil au lever et au coucher un même jour mais aussi par une seule observation et la connaissance par lecture de table ou calcul de l'amplitude du Soleil au même moment, au lever ou au coucher du Soleil.
Cette donnée théorique dépend de la déclinaison du Soleil (jour de l'année) et de la latitude du lieu.
Si le marin avait emporté des tables de déclinaisons, d'amplitudes, …, fréquentes à l'époque, il pouvait connaître le résultat par simple lecture. Sinon, avec de bonnes connaissances, il trouvait le résultat théorique, *par le planisphère, le quartier sphérique, le quartier de réduction, les sinus, l'échelle anglaise*[3]*, ou enfin les tables.* D. 45**.** Tous ces outils demandaient un certain savoir-faire mais étaient plus accessibles que les calculs de trigonométrie sphérique.

Les calculs de la valeur théorique par le quartier sphérique, le quartier de réduction et les sinus sont repris dans les documents sur le site de l'Association Sciences en Seine et patrimoine, http://assprouen.free.fr/rouen. Le tableau suivant récapitule les exemples du manuscrit de Denoville où sont exposés les calculs nécessaires aux différentes méthodes :

		Calculs par		
A calculer :	Données :	Le quartier de réduction	Le quartier sphérique	Les sinus
		Par D. Baverel	Par C. Philippe	Par C. Vassard
Déclinaison du Soleil en degrés	Date dans le mois zodiacal	D.108 *1er Problème*	D.115 *1ère Question*	D.193 *Question 1*
Lever & coucher du Soleil en heures	Déclinaison latitude	D.110 *3ème Problème*	D.117 *3ème Question*	D.196 *Question 4*
Amplitude en degrés à partir de E ou O	Déclinaison latitude	D.111 *4ème Problème* En degré et aire de vent	D.117 *4ème Question*	D.198 *Question 5* En degré et aire de vent
Ascension droite du Soleil en heures ou degrés	Déclinaison latitude	D.112 *5ème problème*		D.195 Question 3
Azimut du Soleil en degrés	Déclinaison Latitude hauteur du S.		D.118 *5ème Question*	D.199 *Question 6*
Heure solaire* en heures	Déclinaison Latitude hauteur du S.		D.119 *6ème Question*	D.200 *Question 7*

*****Pour les angles situés sur l'équateur, il est simple de passer des degrés aux heures par une *règle de trois*. Par contre il est plus difficile de passer d'un azimut du Soleil en degrés à l'heure solaire.

3. Exemples

Nous présentons les cinq méthodes en les illustrant par des exemples repris dans le manuscrit.
Chaque exemple est résolu de différentes manières : figure géométrique, préceptes, rose double et même calcul algébrique plus actuel.

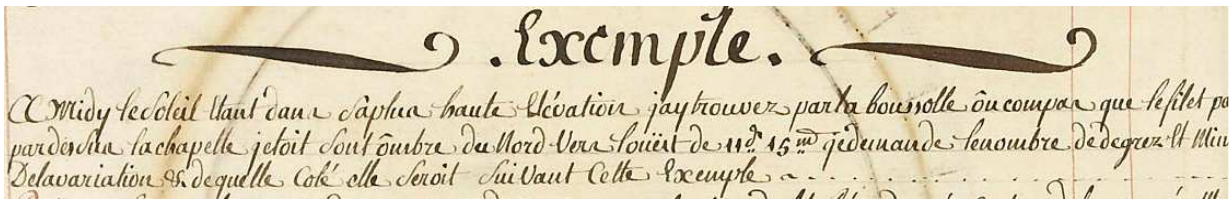
[3] Ancêtre de la règle à calcul, des règles existaient pour différents calculs comme ceux de logarithme et de trigonométrie.

Pour résoudre ces exemples avec la rose double, il faut avoir en tête que le repère origine est celui du nord géographique, représenté par la fleur de lys du disque fixe. La valeur de la variation est donnée par l'écart entre les deux fleurs de lys. Le sens est NE si la fleur de lys du disque mobile est tourné vers l'Est et NO si elle est tournée vers l'Ouest.
La valeur obtenue est approchée mais cette manipulation permet de connaître simplement le sens de la variation et l'opération à faire pour obtenir une valeur plus exacte. Sans le calcul algébrique, on se rendra compte que les règles sont loin d'être évidentes.

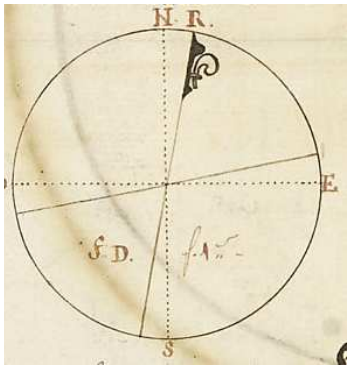
1-Connaître la variation par la hauteur méridienne du Soleil.

Connoitre la Variation Par la hauteur Meridienne du Soleil

méthode 1. par la hauteur méridienne du Soleil. Sachant que la culmination du soleil a lieu dans le plan méridien, on peut repérer avec l'ombre sur la boussole sous quel angle le nord vrai est relevé. Cet angle est la variation au sens près. Cette méthode est *un moyen sujet aux erreurs*, car il est difficile d'observer la plus haute élévation du Soleil sachant que, pendant un certain temps, la hauteur ne semble pas variée. D. 42


. Exemple.

A midi, le Soleil étant dans sa plus haute élévation, j'ai trouvé par la boussole ou compas que le filet passant par-dessus la chapelle jetait son ombre du nord vers l'ouest de 11°15'. Je demande le nombre de degrés et minutes de la variation et de quel côté elle serait suivant cet exemple.
*Réponse : la variation du compas est 11°15' nord-est.*D.42



Ici le compas fonctionne avec l'ombre comme celle du style sur un cadran solaire, l'ombre à midi solaire indique le vrai nord, situé à 11°15'vers l'ouest du nord du compas.
Et lorsqu'il s'agit de faire valoir une route qu'on veut tenir il faut compter les degrés de variations depuis le rumb de vent du <u>*côté du contraire.*</u>

Donc le nord magnétique est de 11°15' NE, variation du lieu que l'on peut retrouver avec la rose double.

La figure[4] est fausse, elle illustre tout à fait la difficulté du sens de variation. La lettre *N* représente le nord géographique et *R* le nord magnétique qui est bien à 11°15' du Nord vers l'Est mais L'Est et l'Ouest de la boussole sont mal représentés.

Dans les applications, Denoville laisse fixe le nord géographique ou le nord magnétique selon les méthodes[5], comme Le Cordier d'ailleurs, ce qui entraîne des confusions et montre que le problème n'était pas simple

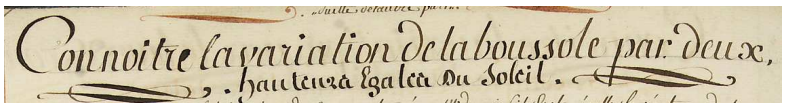
Le calcul algébrique est élémentaire, mesure positive dans le sens trigonométrique et négative dans l'autre sens :

Repère par rapport à	Nord géographique N_G		Nord magnétique N_m		Variation V	
	Aire de vent	algébrique	Aire de vent	algébrique	Aire de vent	Algébrique $V = N_m$
N_m*	N+11°15'(vers O)	+11°15'	N_m	0°		
N_G**	N	0°	N+11°15'(vers E)	-11°15'	11°15'NE	-11°15'

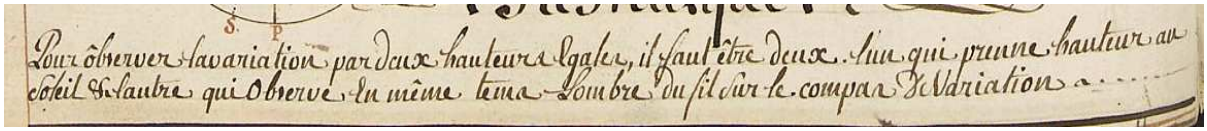
* mesure d'observation de l'ombre par rapport à l'aiguille de la boussole et donc au N_m.
**mesure de la variation par rapport au nord géographique N_G., de graduation 0°.

[4] Denoville commence par présenter la variation N E et N O par 2 figures p.42 en prenant comme point en haut à la verticale du cercle le nord vrai N. Puis, il reprend un exercice avec figure de Le Cordier qui prend pour ce point la lettre A qui représente le nord magnétique. C'est ainsi que Denoville se trompe en recopiant la figure.
[5] Pour les méthodes 1, 2 et 3, le nord magnétique (normalement !) est fixe. Pour les méthodes 4 et 5, pour lesquelles l'utilisation de la rose double est préconisée et qui font appel à un résultat théorique, c'est le nord vrai qui est fixe.

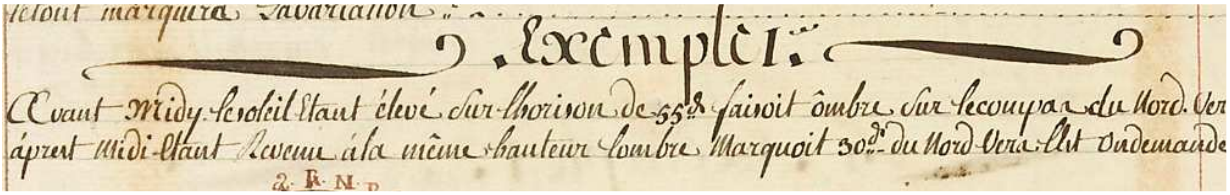
2-Connaître la variation de la boussole par 2 hauteurs égales du Soleil



méthode 2. par deux hauteurs égales du Soleil. Le plan méridien est le plan de symétrie des deux relevés faits matin et après-midi. Pour obtenir la variation, on compare la ligne de ce plan méridien sur l'horizon déduite de l'observation sur la boussole avec celle de la fleur de lys du compas. Pour que cette méthode soit satisfaisante, les deux relevés ne doivent être faits ni à des distances trop grandes pour ne pas risquer un changement de déclinaison magnétique, ni à des amplitudes de temps trop importantes pour éviter une déclinaison du Soleil différente. D. 44



A terre, la meilleure méthode était de tracer la méridienne avec l'ombre d'un style vertical en prenant deux hauteurs égales du Soleil, la boussole placée sur cette méridienne indiquait la variation.

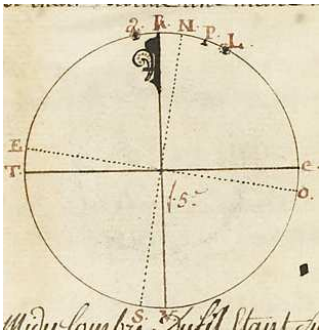


Avant midi, le Soleil étant élevé sur l'horizon de 55° faisait ombre sur le compas du Nord vers l'Ouest de 10° après midi étant revenu à la même hauteur l'ombre marquait 30° du Nord vers l'Est. On demande la variation.
R : la variation est 10° Nord Ouest. D.44

Pour trouver la variation selon différentes méthodes :

Par la figure et les calculs :

RL l'ombre après-midi vers l'est de	*30°*
Ra égale LP ombre avant midi vers l'ouest	*10°*
PR reste différence	*20°*
NR variation Nord-Ouest	*10°*



Par la rose double :
Dans l'exemple, on repère sur le disque mobile, représentant la rose de la boussole, de la rose double les 2 points à 10°N vers l'Ouest et 30°N vers l'Est puis on le tourne de manière à ce que l'axe N/S du disque fixe soit axe se symétrie de ces deux points. La lecture donne bien 10° NO de variation.
(*N* reste fixe et *R* se déplace)

Par les préceptes[6] :
Pour calculer la variation, sans rose double et sans calcul algébrique, les pilotes utilisaient des préceptes ou maximes qu'ils devaient connaître par cœur.
Si dans l'observation faite après midi, l'ombre du fil se trouve aussi éloignée de la fleur de lys du côté de l'Est qu'elle était du côté de l'Ouest dans celle du matin, il n'y a pas de variation.
Mais il y a de la variation quand l'une des deux ombres se trouve plus près de la fleur de lys que l'autre.
Quand l'ombre du fil après midi est moins éloignée de la fleur de lys du côté de l'Est qu'elle ne l'était du côté de l'Ouest, la variation est Nord Est.
Que, si au contraire, l'ombre d'après-midi est plus éloignée de la fleur de lys du côté de l'Est qu'elle ne l'était du côté de l'Ouest, la variation est Nord Ouest.
Quand les deux ombres se sont trouvées d'un même côté, si c'est entre le Nord et l'Ouest, la variation est Nord Est et si c'est entre le Nord et l'Est, la variation est Nord Ouest.

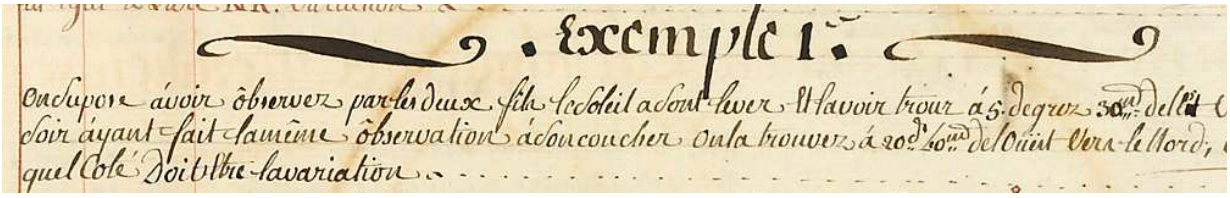
[6] Dans l'ouvrage Le Cordier n'écrit pas les maximes :« *On ne trouvera point ici un nombre de préceptes pour apprendre à connaître de quel côté est la variation, parce qu'étant fondés sur la démonstration qu'on peut en faire aisément, ils deviennent inutiles & ne feraient que charge en vain de mémoire.* ».On ne peut être que d'accord avec lui !

Par le calcul algébrique :

Repère par rapport à	Orientation du matin 0_m		Orientation de l'après-midi O_s		Variation V	
	Aire de vent	algébrique	Aire de vent	algébrique	Aire de vent	Algébrique $V=-(O_m+O_s)/2$
N_m	N+10°(vers O)	+10°°	N+30°(vers E)	-30°		
N_G					10°NO	+10°

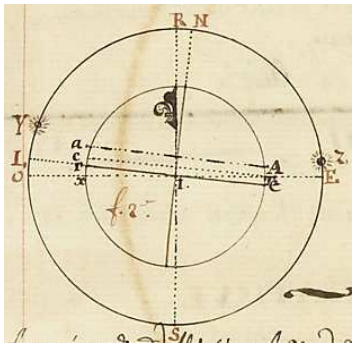
3-Connaître la variation par le lever et coucher du Soleil

méthode 3. par le lever et le coucher du Soleil. C'est un cas particulier de la situation précédente, la hauteur du Soleil étant alors nulle.



On suppose avoir observé par les deux fils le Soleil à son lever et l'avoir trouvé à 5°30' de l'Est vers le Nord. Le soir ayant fait la même observation à son coucher, on l'a trouvé à 20°40'de l'Ouest vers le Nord. On demande de quel côté doit être la variation.
R : la variation est 7°35' Nord Ouest. D.43

On vise par les 2 fenêtres opposées de la boîte du compas (voir compas de route et compas de variation) pour prendre les mesures des deux angles.



Pour trouver la variation selon différentes méthodes :

Par la figure et les calculs :
OY est égal à xa coucher du Soleil vers le Nord… *…..20°40'*
ac égale à AT lever du Soleil vers le Nord…… *…..5°30'*
reste cx différence…… *…15°10'*
dont la différence est rx égale à LO ou NR variation N.E….7°35'
Denoville fait une erreur, la variation est N.O , erreur qu'il ne commet pas dans les exemples 2 & 3.
A partir des préceptes (voir ci-dessous), la variation est bien Nord Ouest.

Par la rose double :

Les deux mesures observées sont repérées sur le disque mobile de la rose double comme dans l'exemple précédent puis on tourne le disque mobile jusqu'à ce que l'axe N/S du disque fixe soit axe de symétrie. La rose double permet de retrouver simplement la figure géométrique. Avec les graduations, on lit le résultat au demi-degré.

Par les préceptes :

Les maximes ci-dessous permettent seulement de connaître la direction de la variation :
Quand le point de la rose de la boussole ou compas de variation qui marque le lever du Soleil est aussi éloigné de l'Est que le point qui en marque le coucher l'est de l'Ouest et que ces deux points se trouvent dans la partie du Sud, il n'y a pas de variation.
Quand le Soleil se lève entre l'Est et le Nord et qu'il se couche entre l'Ouest et le Nord, si le point du lever est plus éloigné de l'Est que le point du coucher ne l'est de l'Ouest, la variation est Nord Est.
Que si au contraire, le point du lever était plus près de l'Est que celui du coucher ne l'était de l'Ouest, la variation serait Nord Ouest.
Lorsque le Soleil s'élève entre l'Est et le Sud & qu'il se couche entre l'Ouest et le Sud, si le point du lever est plus près de l'Est que le point du coucher ne l'est de l'Ouest, la variation est Nord Est.

Mais si le point du coucher était plus près de l'Ouest que le point du lever ne l'était de l'Est, la variation serait Nord Ouest.
Quand le Soleil se lève entre l'est et le Nord & qu'il se couche entre l'Ouest et le Sud, la variation est Nord Est.
Mais quand le Soleil se lève entre l'Est et le Sud & qu'il se couche entre l'Ouest et le Nord, la variation est Nord Ouest. D. 43

Pour l'opération à effectuer, il faut appliquer la règle suivante :

Pour connaître les degrés de variation dans tous les cas où le Soleil s'est levé & couché, soit du côté du Nord ou du côté du Sud, des deux nombres dont l'un marque le lever du Soleil et l'autre le coucher, ôtez le moindre du plus grand nombre et prenez la moitié du reste, elle marquera la variation.
Dans les cas où le lever et le coucher du Soleil sont de différent côté l'un vers le Nord, l'autre vers le Sud, ajoutez les degrés du lever à ceux du coucher et prenez la moitié du produit (de la somme) *pour la variation.*

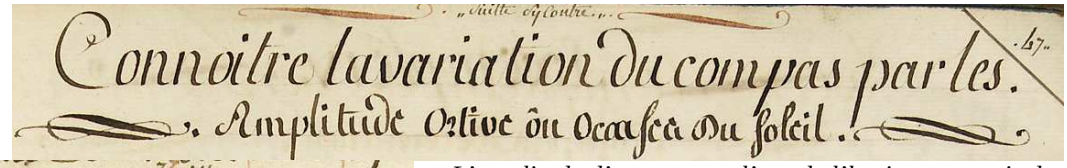
Par le calcul algébrique :

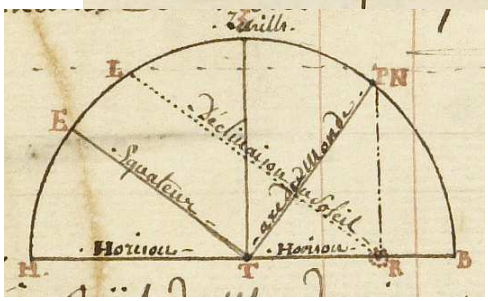
Actuellement, la résolution du problème s'exprime simplement pour tous les cas :

Repère par rapport à	Lever du Soleil *L*		Coucher du Soleil *C*		Variation *V*	
	Aire de vent	algébrique	Aire de vent	algébrique	Aire de vent	Algébrique $V=-(L+V)/2$
N_m	E+5°30' (vers N)	-84°30'	O+20°40' (vers N)	69°20'		
N_G					7°35' NO	+7°35'

Il est possible de faire une seule observation au lever ou au coucher du Soleil si le pilote possède une table des orientations théoriques ou s'il sait retrouver la valeur théorique appelée amplitude. C'est la méthode 4 développée maintenant.

4-Connaître la variation du compas par les amplitude ortive et occase du Soleil





L'amplitude d'un astre est l'arc de l'horizon compris depuis le véritable Est ou Ouest du monde jusqu'au point de l'horizon où cet astre se lève & couche donc […] *il y a deux sortes d'amplitude l'une appelée amplitude ortive lorsque l'astre se lève et l'autre nommée amplitude occase lorsque l'astre se couche. L'amplitude, soit ortive ou occase, est du côté du Nord lorsque l'astre se lève de l'Est vers le Nord ou se couche à l'Ouest vers le Nord, et elle est Sud quand l'astre se lève ou se couche vers le Sud. Ainsi la distance TR égale à ZP est l'amplitude de l'astre en R du côté du Nord.* D. 45

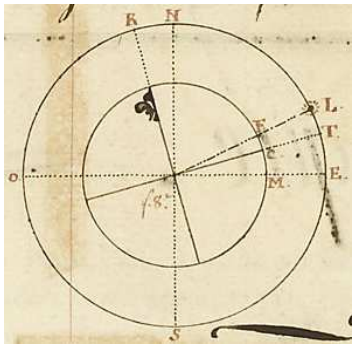
méthode 4. par l'amplitude du Soleil, soit à son coucher, soit à son lever.

La vraie amplitude d'un astre étant connue […], il faut observer le même jour son amplitude sur le compas en coupant l'astre par deux fils verticaux ou les deux pinnules lorsque son astre est élevé au dessus de l'horizon sensible d'environ un ½ degré[7] *et pour lors examiner à quelle distance il s'élève ou se couche de l'Est ou du Ouest du compas vers le Nord ou vers le Sud* …D. 46

Cette méthode était le moyen le plus courant pour déterminer la variation. *Il est en même temps le plus exact et le plus aisé à pratiquer sur mer* et une seule observation suffit, car l'amplitude du Soleil peut être lue dans une table ou calculée théoriquement. En comparant cette amplitude lue ou calculée et l'amplitude observée au lever ou au coucher, on en déduit la variation.

[7] *à cause de la réfraction qui le fait toujours paraître plus élevé qu'il n'est en effet.* D. 48

Exemple I.
On suppose que la vraye amplitude du Soleil soit un jour de 25 d. 28 m. du coté du Nord à laquelle son amplitude observe lever de 10 degrez de l'est du compas vers le Nord. On demande la variation de ce compas.



On suppose que la vraie amplitude du Soleil était un jour de 25°28' du côté du nord correspondant à une amplitude observée à son lever de 10° de l'est du compas vers le nord. On demande la variation du compas.
R : la variation est 15°28' nord-ouest
PRATIQUE
MF égale à EL vraie amplitude ortive Nord de ……..25° 28'
FC égale à TE[LT] *amplitude observée Nord de …* *10° 00'*
MC égale à NR variation Nord Ouest de …… *15°28'*
D.47

Par la rose double

Pour trouver le sens de la variation et éviter d'avoir à se soucier s'il faut ajouter ou soustraire les amplitudes, la rose double est d'un grand secours. C'est d'ailleurs pour illustrer la méthode des amplitudes que Denoville a dessiné cette rose double. Le Cordier présente cette rose double sans dessin «*Tous ces exemples de variation par les amplitudes sont aisés à résoudre avec la rose double, c'est-à-dire, avec une rose mobile appliquée au centre d'une autre immobile, dont les circonférences seraient divisées en degrés ; car si l'on fait tourner la rose mobile, en sorte que les degrés et minutes de l'amplitude observée tombe sur le degré et minutes de l'amplitude vraie prise sur la rose immobile, on verra aussitôt de quel côté est la variation & sa quantité* » .. Il précise que la rose double est très utile pour la méthode 5 des azimuts.

Par les préceptes
[8]

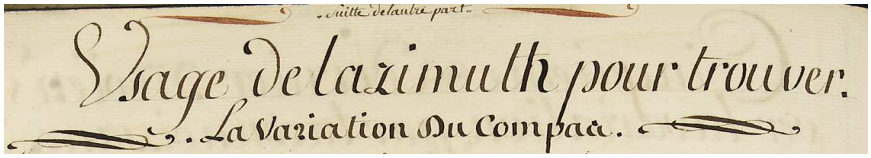
Après avoir observer l'amplitude du Soleil,[…]et connaissant la vraie amplitude, on pourra savoir si le compas varie et de combien de degrés par les préceptes que voici :
1er précepte : quand l'amplitude observée du Soleil ortive ou occase, se trouve égale à la vraie amplitude & de même dénomination, il n'y a point en ce cas de variation.
2ème précepte : Lorsque l'amplitude ortive observée du Soleil est Nord & plus grande que la vraie amplitude ortive Nord, la variation est Nord Est & qu'au contraire si la vraie amplitude est plus grande des deux, la variation est Nord Ouest.
3ème précepte : Quand les deux amplitudes sont Sud et ortives si l'amplitude observée est la moindre des deux, la variation est Nord Est, & si elle est plus grande, la variation est Nord Ouest.
4ème précepte : Quand les deux amplitudes sont Nord et occases, si l'amplitude observée est moindre des deux, la variation est Nord Est, mais si elle est plus grande, la variation est Nord Ouest.
5ème précepte : Les deux amplitudes étant Sud et occases, si l'amplitude observée est la plus grande des deux, la variation est Nord Est, & si elle est plus petite que la vraie amplitude, la variation est Nord Ouest
6ème précepte : Lorsque l'amplitude ortive observée est Nord & que la vraie amplitude ortive est Sud, la variation est Nord-Est mais quand la vraie amplitude est Nord & que l'amplitude observée est Sud la variation est Nord Ouest.
7ème précepte : Quand l'amplitude occase observée est Sud & que la vraie amplitude occase est Nord, la variation est Nord Est, & au contraire, quand la vraie amplitude occase est Sud et que l'amplitude observée est Nord, la variation est Nord Ouest.
Pour savoir de quel nombre de degrés est la variation dans tous les cas où l'amplitude observée & la vraie amplitude sont toutes deux Nord ou toutes deux Sud, il faut ôter la moindre de la plus grande, le reste sera la variation.

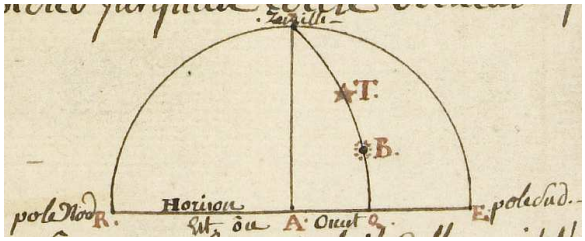
Par le calcul algébrique :

Repère par rapport à	Amplitude observée A_o		Amplitude vraie A_v		Variation V	
	Aire de vent	algébrique	Aire de vent	algébrique	Aire de vent	Algébrique $V = A_v - A_o$
N_m	E+10° (vers N)	-80°				
N_G			E+25°28' (vers N)	-64°32'	15°28' NO	+15°28' =-64°32'+80°

[8] Ortive : au lever- occase : au coucher.

5- Usage de l'azimut pour trouver la variation du compas



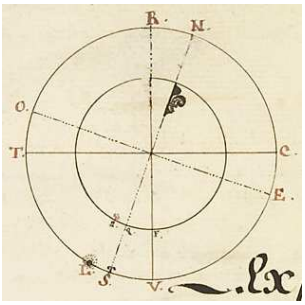


[…] *l'arc azimut d'un astre est l'arc de l'horizon compris depuis le méridien du Nord et Sud jusqu'au cercle vertical qui passe par le centre de cet astre. Cet astre peut aller jusqu'à 90°*[…] *d'azimut pour un astre en T ou B.* D. 40

méthode 5. par la connaissance de l'azimut. On détermine par une table ou par le calcul l'azimut du Soleil à partir de sa hauteur, de sa déclinaison et de la latitude, puis on compare l'azimut calculé à l'observation faite au compas de variation pour conclure.

Le vrai azimut du Soleil étant du Sud vers l'Ouest de 30°40' & son azimut observé de 10°45' du Sud vers l'Ouest. On demande la variation.
R : la variation est 19°55' Nord Est D. 50

Sur cette figure R est le Nord vrai et N le nord magnétique[9] *!*



Explication de la dite règle :

Placez le Soleil à 30° 40' du Sud du monde vers l'Ouest à savoir en L. Ensuite mettez le Sud du compas à 10°45' de L en allant vers le Sud du monde V. Si vous tirez la ligne SN, elle fera connaître que le compas varie du côté de l'Est de 19°55'qui est la différence de LS 10°45' à VL 30°40'.

Par le calcul algébrique :

Repère par rapport à	Azimut observé Z_o		Azimut vrai Z_v		Variation V	
	Aire de vent	algébrique	Aire de vent	algébrique	Aire de vent	Algébrique* $V = Z_v - Z_o$
N_m	S+10°45' (vers O)	-190°45'* =-180°-10°45'				
N_G			S+30°40' (vers O)	-210°40'** =-180°-30°40'	19°55' NE	-19°55' =-210°40'+190°45'+

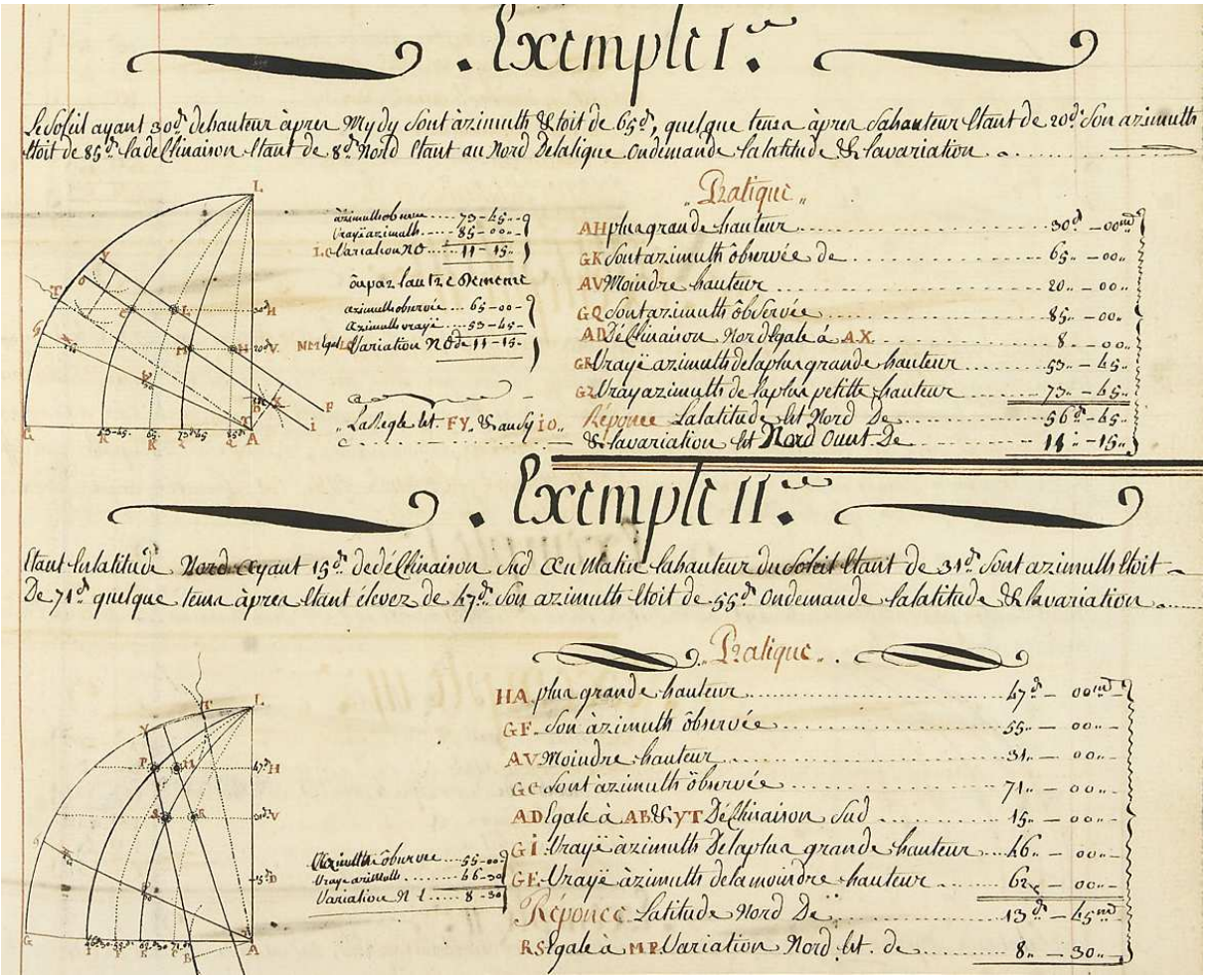
* ou +169°15' **ou +149°20'

Même si la méthode par l'amplitude est la plus exacte, un pilote ne doit pas négliger les autres. D'abord, les mesures dépendent avant tout des conditions météorologiques et il n'est pas rare surtout en hiver de n'avoir ni lever ni coucher de Soleil visible sur plusieurs jours. La fréquence des mesures permet aussi une meilleure qualité dans les corrections des routes et leur élaboration.
L'utilisation d'étoiles remarquables à la place du Soleil permettait aussi de déterminer la variation par les méthodes énoncées, dont celle de l'étoile polaire qui indiquait le Nord [10].

[9] Denoville donne six exemples pour cette méthode toujours en s'inspirant de Le Cordier qui prend A comme lettre en haut de cercle. Denoville ne confond pas les deux nord, il se trompe sur les lettres d'attribution aux deux nord. Pour les exemples 1 et 2, *R* est le vrai nord, pour les autres exemples le nord vrai est la lettre *N*.
[10] Une correction était nécessaire car elle était à 2°5' (Le Cordier, 1740) du nord vrai.

3. Problèmes où il est question de variation dans le manuscrit

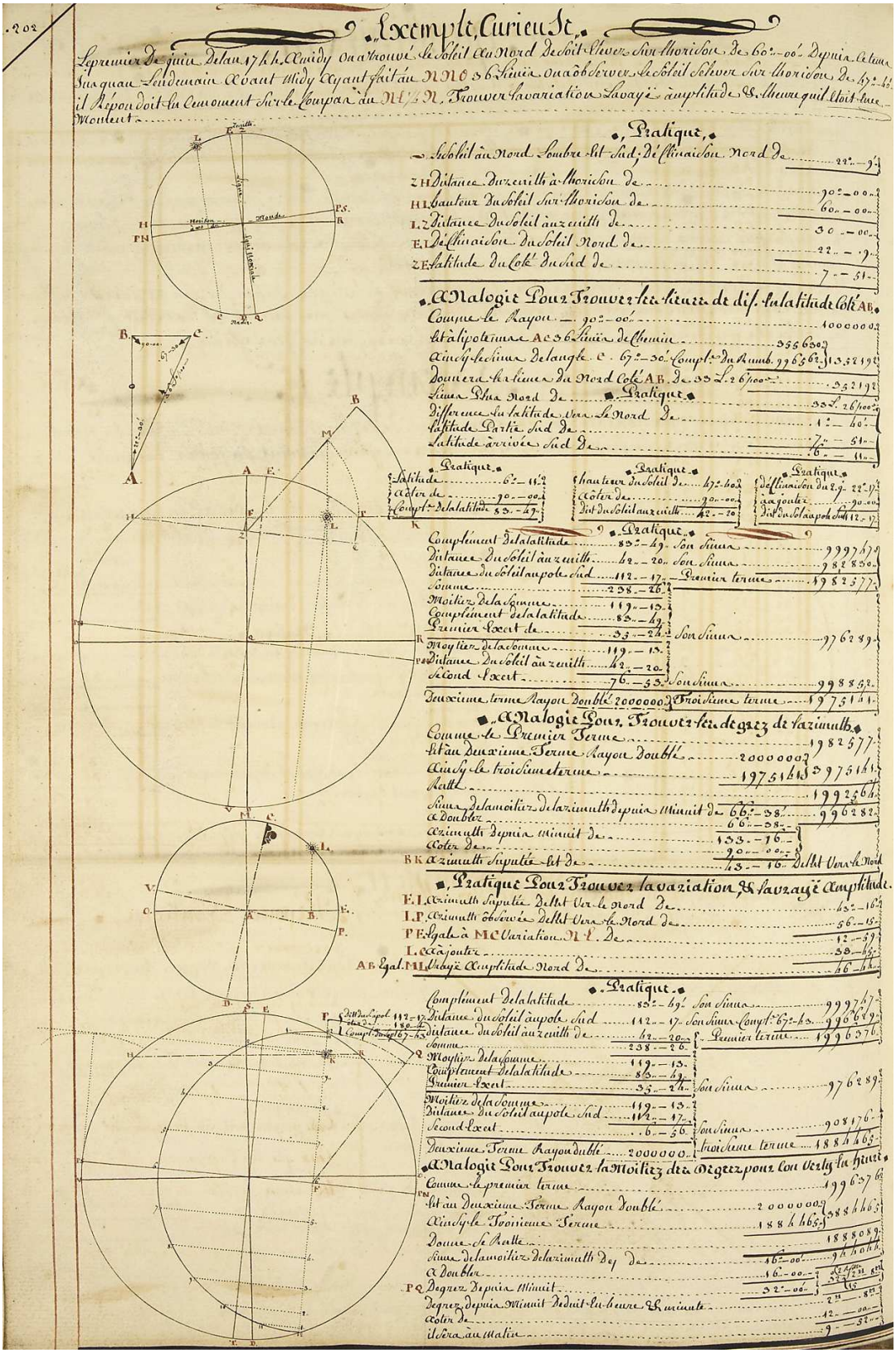
Dans la 8ème question des questions astronomiques par le quartier sphérique D 121, deux exemples de calcul de variation sont exposés. Connaissant la déclinaison du Soleil et ayant l'azimut à l'aide du compas ainsi que la hauteur du Soleil à deux moments de l'après-midi, pour l'exemple 1, et du matin, pour l'exemple 2, on demande la variation et la latitude du lieu dans l'hémisphère Nord. (Voir sur le site : les 12 *questions astronomiques résolues avec le quartier sphérique*)



D. 121

Voilà quelques pistes avec les notations actuelles pour donner du sens à ce quartier sphérique dans l'exemple 1 : Il représente l'image par projection orthographique d'un quart de la sphère céleste sur un plan passant par le centre de la Terre. Par la suite, on parlera de point, de cercle, de plan et non pas de « représentation par la projection » de ces objets pour simplifier. Dans un premier temps, L est le zénith, [AG] le rayon de l'horizon, le plan de projection est le plan méridien : On place alors les 2 mesures du Soleil observées (hauteur, azimut), L & H : L(30°, 65°) et H(20°, 85°). On trace la ligne (LH) qui passe par les 2 points observées. Dans un deuxième temps, L est le pôle nord, [AG] le rayon de l'équateur, le plan de projection est le plan du colure des solstices : On repère la déclinaison et son sinus AD sur l'axe vertical un arc de cercle est tracé pour conserver cette distance.	Dans un troisième temps, on revient à la première représentation : On trace la perpendiculaire à partir de A à (LH). Puis, On repère X tel que AX=AD puis on prend le deuxième écartement de X à (LH). On reporte cet écartement à partir d'un point éloigné de A sur (LH) puis l'écartement AD. On obtient ainsi 2 points qui permettent de tracer deux parallèles : -la parallèle (AT) passant par l'origine. Ce rayon [AT] est le rayon de l'équateur. -la ligne (CM) parallèle à l'équateur à la distance AX (=AD). C'est la trajectoire vraie du Soleil du jour. On peut alors repérer l'azimut vrai des 2 mesures du Soleil en considérant que la hauteur d'observation est la hauteur vraie. Conclusion : L'angle que fait l'équateur avec le zénith donne la latitude La différence de l'azimut d'observation et l'azimut vrai donne la variation.

Dans l'exemple curieux D.202, on demande la variation, l'amplitude et l'heure avec deux observations :
L'une à midi un jour donné permet de connaître la hauteur maximale du Soleil, et l'autre faite le matin après une route connue (distance et orientation), permet de repérer le Soleil en prenant sa hauteur et son orientation en aire de vent lue sur le compas (voir sur le site : *questions astronomiques résolues avec la trigonométrie sphérique* pour avoir quelques pistes sur la résolution de l'exercice)



Le premier de juin de l'an 1744 à midi on a trouvé le Soleil au Nord élevé sur l'horizon de 60° depuis le temps jusqu'au lendemain avant midi ayant fait au NNO 36 lieues on a observé le Soleil se lever sur l'horizon de 47°40'. Il répondait en ce moment sur le compas au NE1/4N. Trouver la variation, la vraie amplitude & l'heure qu'il était à ce moment. D. 202