

## PRINCIPES GÉNÉRAUX DU COMPAS MAGNÉTIQUE

### Définitions et généralités

#### Intérêt du compas :

Le compas permet au navigateur de connaître la direction du Nord et d'en déduire :

- **le cap**, angle entre la ligne de foi du navire et le Nord,
- **le relèvement Z** d'un amer, angle entre l'amer et le Nord.

#### Principe :

Le champ magnétique terrestre oriente les aiguilles aimantées vers le Nord compas.

Le Nord indiqué par le compas n'est pas le Nord géographique, mais le Nord compas.

En effet l'aiguille aimantée du compas magnétique est soumise à l'action de deux champs :

- Le **champ magnétique terrestre** (le Nord magnétique) qui fait un angle **D** avec la direction du Nord géographique ; **D** est la **déclinaison magnétique**, sa valeur est variable dans l'espace et dans le temps.
- Le **champ magnétique créé par le navire**  
Ce champ magnétique supplémentaire dévie l'aiguille du compas par rapport au Nord magnétique d'une valeur **d** appelée **déviation**.  
La déviation varie en fonction du cap du navire et est propre à chaque couple Navire/compas

La somme de la déviation et de la déclinaison s'appelle la variation :  $W = D + d$

La variation est aussi appelée **erreur du compas**

Pour réduire l'erreur du compas, on cherche à diminuer la valeur de la déviation : on réalise **la compensation** du compas (cf. § suivants).

L'opération de compensation n'étant pas parfaite, il reste toujours une déviation résiduelle qui est déterminer pour chaque cap par l'opération de **régulation** (cf. § suivants).

### Notations /traductions et formules

 Cap compas (Cc) $\Leftrightarrow$ Compass course (C) Déviation (d) $\Leftrightarrow$ Deviation (D) Cap magnétique (Cm) $\Leftrightarrow$ Magnetic course (M) Déclinaison (D) $\Leftrightarrow$ Variation (V) Cap vrai $\Leftrightarrow$ True Course (T) Variation (W) $\Leftrightarrow$ Compass error	 $Zm = Zc + d$ $Zv = Zm + D$ $Zv = Zc + d + D$ $Zv = Zc + W$	$Cm = Cc + d$ $Cv = Cm + D$ $Cv = Cc + d + D$ $Cv = Cc + W$
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------

 **Attention aux faux amis**

## Rose de la carte et déclinaison magnétique

Sur la carte, sont présents plusieurs roses de déclinaison magnétique. Sur chaque rose est indiquée la déclinaison magnétique pour l'année d'édition de la carte, ainsi que sa variation annuelle. Il est ainsi possible de calculer la déclinaison magnétique à tout moment.

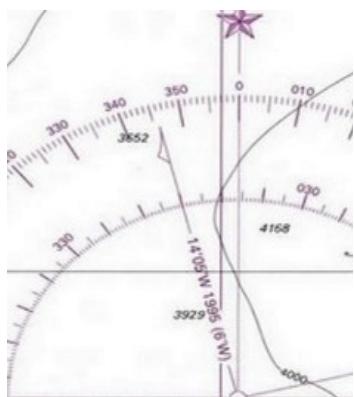


Illustration 2 : Rose de déclinaison magnétique d'une carte marine

### Convention

Pour les signes de la déclinaison, déviation et variation, on utilise les conventions du cercle trigonométrique, à savoir + vers l'Est et - vers l'Ouest

**⚠ Attention cette convention est le contraire de celle utilisée pour les longitudes.**

### Exemple

Dans l'exemple ci contre, la déclinaison est donnée est de  $14^{\circ} 05'W$  en 1995 avec une variation annuelle de la déclinaison de  $6'W/an$ . Entre 2016 et 1995, il s'est écoulé 21 ans ; la déclinaison a donc varié de  $6 \times 21 = 126' W = 2^{\circ} 06'W$ .

Donc la déclinaison en 2016 est :

$$D = (-14^{\circ} 05') + (-2^{\circ} 06') = -16^{\circ} 09' = 16^{\circ} 09'W$$

## Aides mémotechnique

Ci après quelques aides mémotechniques ... à prendre ou à laisser

### CADET

Pour se souvenir qu'il faut ajouter vers l'Est (et donc soustraire vers l'ouest), on peut mémoriser le mot CADET = **C**ompass **A**dd **E**st **T**rue



Illustration 3 : Aide mématoire CADET

## Du wiskhy capitaine de vaisseaux et de corvettes

**Cv= Cc+ W** : un capitaine de vaisseau (Cv), c'est un capitaine de corvette (Cc) avec un bonne dose de Whisky (W)

car le capitaine de vaisseau a plus de bouteille et d'ancienneté que le capitaine de corvette (donc plus de Whisky?)



Illustration 4 : Extrait "Les aventures de Tintin - Objectif Lune" de Hergé - 1993 - édition Castermann

ENSM Le Havre	COMPAS MAGNÉTIQUE PRÉSENTATION DU COMPAS MAGNÉTIQUE	V2.0 – 01/16 3/14
---------------	--------------------------------------------------------	----------------------

### Can dead men vote twice At Election?

Can	Dead	Men	Vote	Twice	At	Election
C	D	M	V	T		
Compass	Déviation	Magnetic	Variation	True	Add	Est

⚠ *Le mot anglais variation correspond au mot français déclinaison*

### Avantage et inconvénient du compas magnétique

Avantage	Inconvénient
Indépendant de toute source d'énergie	Pas d'interface aisée avec les autres équipements de navigation
Représentation claire des caps	Obligation de réaliser la <b>régulation</b> voire la <b>compensation</b> (opérations valides pour une zone <b>seulement de navigation donnée</b> )
Très bonne stabilité (si la rose est importante)	Obligation d'être disposé près du poste de barre (endroit généralement soumis aux perturbations électromagnétiques)

### Les autres types de compas

Il existe différents types de compas :

- le compas magnétométrique (compas à saturation magnétique ou compas fluxgate),
- le compas à magnéto-résistance,
- le compas gyroscopique mécanique,
- le compas gyroscopique à anneau laser,
- le compas gyroscopique à fibre optique,
- le compas gyromagnétique,
- le compas satellitaire.

## DESCRIPTION DU COMPAS

### Le compas

Le compas à proprement dit se compose principalement d'une **cuvette** et d'un **équipage magnétique**.

#### La cuvette est

- hémisphérique,
- en matériaux amagnétiques,
- fermée par une glace,
- remplie par un mélange 1/3 alcool et 2/3 eau,
- lestée par une couronne de plomb.

Elle comporte des soufflets de dilatation et d'un bouchon de remplissage ; la ligne de foi est matérialisée par un trait gravée dans la cuvette.

1. flotteur
2. glace
3. rose
4. index de ligne de foi
5. chape
6. pivot
7. orifice de remplissage
8. cercle de cardan
9. diaphragme
10. anneau de lestage
11. fond de cuvette
12. aimant torique

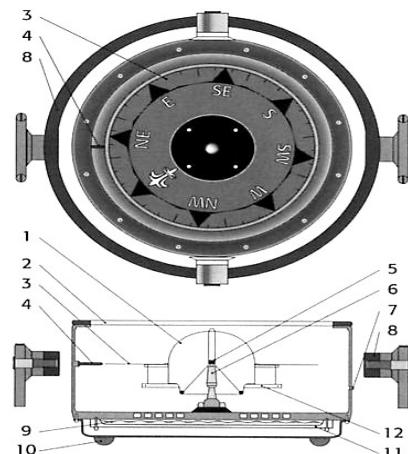


Illustration 5 : Description de la cuvette du compas

#### L'équipage magnétique est constitué :

- d'aiguilles aimantées disposées parallèlement à l'axe Nord/Sud dans un flotteur,
- d'une **rose** graduée de 000° à 360 ° pour la lecture des caps sur le flotteur.

Il repose par l'intermédiaire d'un saphir sur un **pivot**.

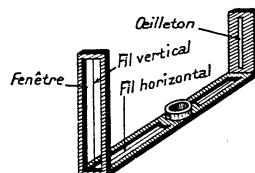


Illustration 6 : L'alidade

### L'habitacle

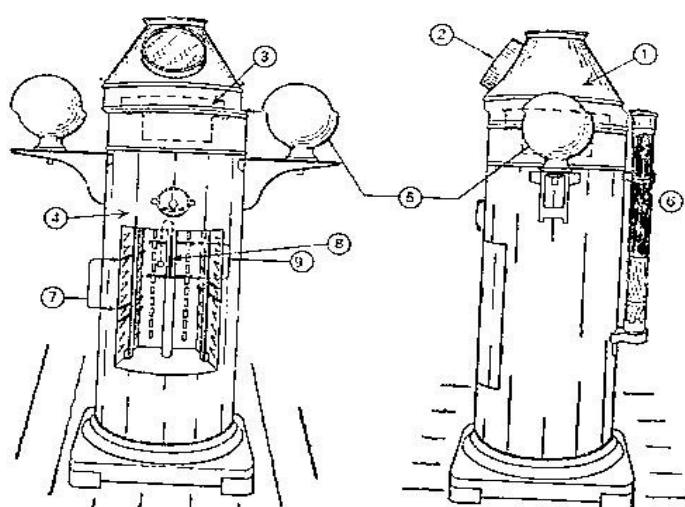


Illustration 7: Description de l'habitacle du compas

C'est un fut cylindrique en matériau amagnétique (bois, laiton, fibre de verre....).

Il porte par l'intermédiaire d'une suspension à la cardan le compas proprement dit (cuvette et équipage magnétique).

L'habitacle est recouvert d'un capot avec une fenêtre pour la lecture du cap.

1. Capot
2. Fenêtre de lecture des caps
3. Compas/cuvette
4. Fut en bois
5. Sphères transversales de compensation
6. Barreau de Flinders
7. Trou pour aimants transversaux
8. Chaînette de l'aimant de bande
9. Trou pour aimants transversaux

## Les correcteurs

Ces éléments sont destinés à réduire l'action perturbatrice exercée sur la rose par les fers du navire. Ces correcteurs sont de deux types, les fers doux et les fers durs.

### Les fers durs (aimants) :

Généralement de section cylindrique, ils se placent dans les orifices horizontaux de l'habitacle. Ils s'installent longitudinalement ou transversalement (par pairs sur un compas équipé de barreau de Flinders. Ils peuvent servir aussi d'aimant de bande (aimant permanent placé verticalement dans un tube au-dessous du centre d'un compas magnétique, afin de corriger la déviation due à la bande). Les aimants compensent les champs magnétiques permanents du navire.

### Les fers doux :

- sphères transversales,
- barreau de Flinders (cylindres de fer doux empilés dans une boîte en laiton).

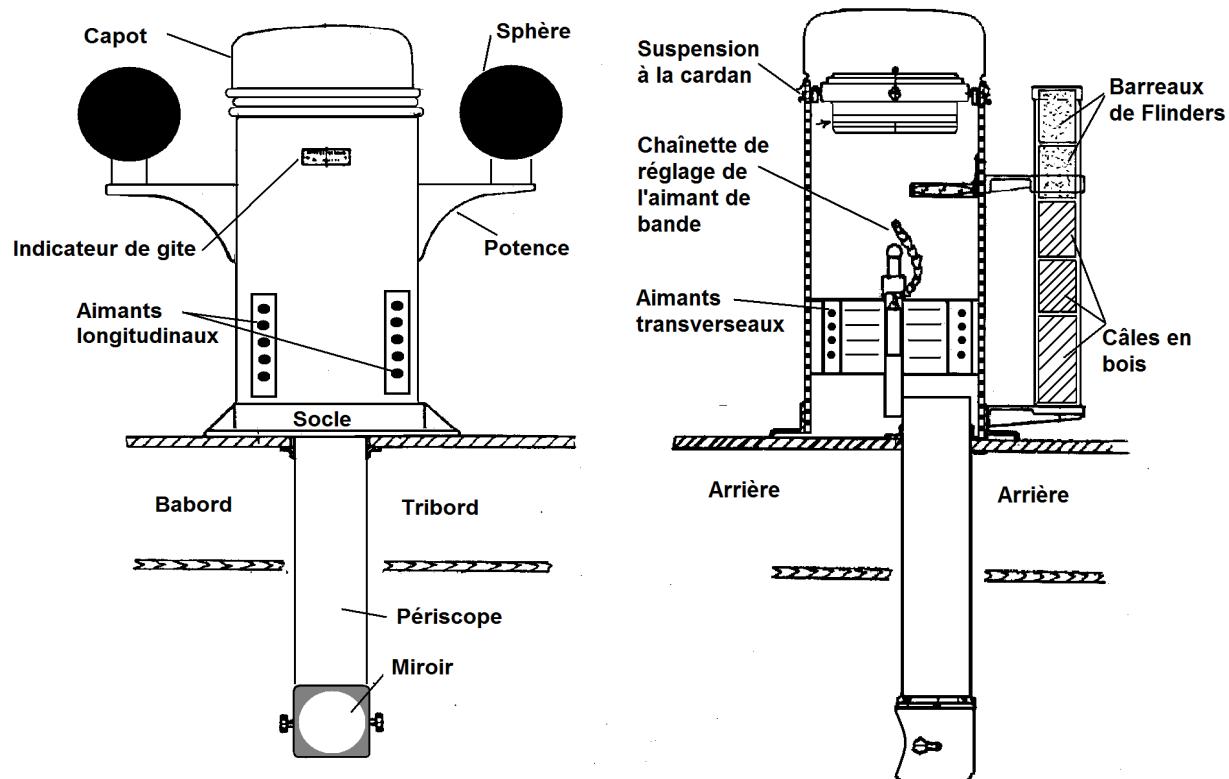


Illustration 8 : Coupe du compas magnétique

Les fers doux compensent les champs magnétiques induits.

Les sphères compensent des champs magnétiques induits dans le plan horizontal du compas et les barreaux de Flinders ceux situés dans le plan vertical.

## Rappels

- Fer dur : matériau ferromagnétique caractérisé par le fait qu'il est susceptible d'acquérir un magnétisme permanent.
- Fer doux : matériau ferromagnétique caractérisé par le fait qu'il est susceptible d'acquérir des propriétés magnétiques transitoires quand il est placé dans un champ magnétique.

ENSM Le Havre	COMPAS MAGNÉTIQUE PRÉSENTATION DU COMPAS MAGNÉTIQUE	V2.0 – 01/16 6/14
---------------	--------------------------------------------------------	----------------------

## CONTRÔLES SUR LE COMPAS

*Avant toute manipulation du compas :*

- *s'assurer que les personnes amenées à se tenir près du compas ont vidé leurs poches de tout objet susceptible de créer un champ perturbateur (téléphone portable, montre, trousseau de clefs, couteau) ;*
- *noter l'emplacement et l'orientation des compensateurs.*

### Contrôle du liquide

- Vérifier l'absence de bulles dans la cuvette (sinon compléter).
- Vérifier que le liquide est clair. Si ce n'est pas le cas, il faut le changer.

✓ Attention, la composition du liquide varie d'un fabricant à un autre ; un mauvais dosage peut endommager l'équipage magnétique ou les marquages de la rose et/ou entraîner une modification de l'indice de réfraction.

### Contrôle du cardan

- Vérifier le libre mouvement des axes du cardan.
- Vérifier la lubrification des axes.

✓ Dans l'entretien courant, les axes doivent être lubrifiés périodiquement.

### Contrôle de l'équipage magnétique

- **Matériel nécessaire :** un aimant et un chronomètre.
- **Méthode :**
  1. Décaler le cap de 45° à l'aide d'un aimant et le retirer rapidement.
  2. Laisser le compas repasser par son cap initial.
  3. Au deuxième passage au cap initial, déclencher le chronomètre.
  4. Au troisième passage au cap initial, stopper le chronomètre et noter le temps  $\Delta t$  écoulé.

Le temps écoulé  $\Delta t$  est appelé demi-période et doit être compris entre 12 et 14 s pour un compas dont la rose a un diamètre de 180 mm.

Si  $\Delta t$  dépasse de beaucoup cet ordre de grandeur, il faut remplacer l'équipage magnétique ou la cuvette complète.

### Contrôle du pivot

- **Matériel nécessaire :** un aimant
- **Méthode**
  1. Décaler le compas de 3 à 4 ° avec l'aimant et le stabiliser au nouveau cap.
  2. Retirer doucement l'aimant ; le compas doit alors revenir à son cap initial avec une tolérance de +/- 0,5°.
  3. Procéder 2 ou 3 fois dans les deux sens.

Si l'erreur est supérieure 0,5°, le pivot est usé ; il faut remplacer le pivot ou la cuvette complète.

ENSM Le Havre	COMPAS MAGNÉTIQUE PRÉSENTATION DU COMPAS MAGNÉTIQUE	V2.0 – 01/16 7/14
---------------	--------------------------------------------------------	----------------------

## Contrôle des compensateurs

---

- **Vérifier l'absence de rouille** sur les sphères et barreaux ; en cas de rouille les pièces doivent être sablées puis démagnétisées<sup>(1)</sup>.
- **Contrôler l'aimantation :**
  - Aimants : en les mettant bout à bout, ils doivent s'attirer ou se repousser fortement (sinon les changer) ;
  - Sphères : en rapprochant les sphères près du compas ; si l'aiguille du compas dévie de plus de 2°, les sphères doivent être démagnétisées<sup>(1)</sup>;
  - Barreau de Flinders : sortir les barreaux du cylindre et les remettre après les avoir basculés de 180°, attendre une dizaine de minute. Si le cap initial a été modifié, il faut démagnétiser<sup>(1)</sup> les barreaux.

(1) *La démagnétisation : chauffage à la forge jusqu'à rougissement (couleur cerise) puis refroidissement pendant une trentaine d'heure enterrée dans un bac à sable*

ENSM Le Havre	COMPAS MAGNÉTIQUE PRÉSENTATION DU COMPAS MAGNÉTIQUE	V2.0 – 01/16 8/14
---------------	--------------------------------------------------------	----------------------

## LA COMPENSATION

### Présentation

**Objectif** : Diminuer la valeur de la déviation  $d$  due aux fers du navire.

**Condition de réalisation** : à réaliser si la déviation devient supérieure à  $5^\circ$ .

### Principe

En plaçant des aimants (longitudinaux et transversaux) et des pièces de fer doux (sphère de compensation, barreaux de Flinders) à proximité des aiguilles aimantées du compas, on tente de créer un champ égal et opposé au champ magnétique propre au navire : on compense le champ magnétique du navire. Connaissant le Cv du navire on tente de faire rapprocher le Cap vrai du Cap compas.

Le Cap vrai de l'objet peut être déterminer en utilisant :

- le compas gyroscopique,
- des alignements,
- les relèvements d'amers éloignés,
- les relèvements d'un astre de faible hauteur (soleil le matin ou le soir, planètes, ...),
- les relèvements réciproques.

La compensation n'étant jamais parfaite, il reste toujours une déviation résiduelle ; on détermine alors la déviation en fonction du cap en faisant l'opération de régulation.

La valeur du champ magnétique terrestre (et donc de  $\mathbf{D}$ ) étant variable dans le temps et l'espace, la compensation n'est valable que pour une région donnée et pour un laps de temps fini : **un compas n'est jamais compensé pour tout lieu et pour toujours !**

### Procédure (pour information)

#### Préliminaires :

- Vérifier que les personnes amenées à se tenir près du compas ont vidé leurs poches de tout objet susceptible de créer un champ perturbateur (téléphone portable, montre, trousseau de clefs, couteau) ;
- Vérifier que l'ensemble des équipements habituels est à poste ;
- Démarrer tous les équipements électriques ;
- Disposer les sphères à mi-course.

1. Venir cap au  $\mathbf{N}_m$  et annuler la déviation à l'aide des aimants transversaux ou les barreaux de Flinders ;
2. Venir cap à  $\mathbf{l'E}_m$  et annuler déviation à l'aide des aimants longitudinaux ;
3. Venir cap au  $\mathbf{S}_m$  et réduire  $d$  de moitié à l'aide des aimants transversaux ;
4. Venir cap à  $\mathbf{l'W}_m$  et réduire  $d$  de moitié à l'aide des aimants longitudinaux ;
5. Venir cap au  $\mathbf{NW}_m$  et annuler la déviation à l'aide des sphères transversales ;
6. Venir cap au  $\mathbf{N}_m$  et annuler la déviation à l'aide des aimants transversaux ;
7. Venir cap au  $\mathbf{NE}_m$  et réduire  $d$  à l'aide des sphères transversales ;
8. Venir cap au  $\mathbf{E}_m$  et annuler déviation à l'aide des aimants longitudinaux.

On peut effectuer la régulation en route ou en station fixe (sur coffre, évitage).

ENSM Le Havre	COMPAS MAGNÉTIQUE	V2.0 – 01/16
A. Charbonnel	PRÉSENTATION DU COMPAS MAGNÉTIQUE	9/14

## RÉGULATION

### Présentation

#### Objectif :

Déterminer la courbe de déviation c'est à dire définir la déviation en fonction du cap compas.

#### Conditions de réalisation :

La régulation devrait être réalisée :

- **À chaque changement de région de navigation :**  
en effet la déclinaison variant en fonction de la zone, les champs induits vont donc varier et par conséquence la déviation va elle aussi varier.
- **À chaque changement de cargaison :**  
en changeant de cargaison, on modifie le chargement magnétique du bord et donc la déviation.
- **À chaque modification importante du bord :**  
l'ajout ou le remplacement de nouveaux matériels (radar, machine, ecdis,etc.) va modifier l'équilibre magnétique du bord et donc la déviation.
- **Chaque année :**  
en effet, la déclinaison magnétique varie annuellement, les champs induits vont donc varier et la déclinaison va changer

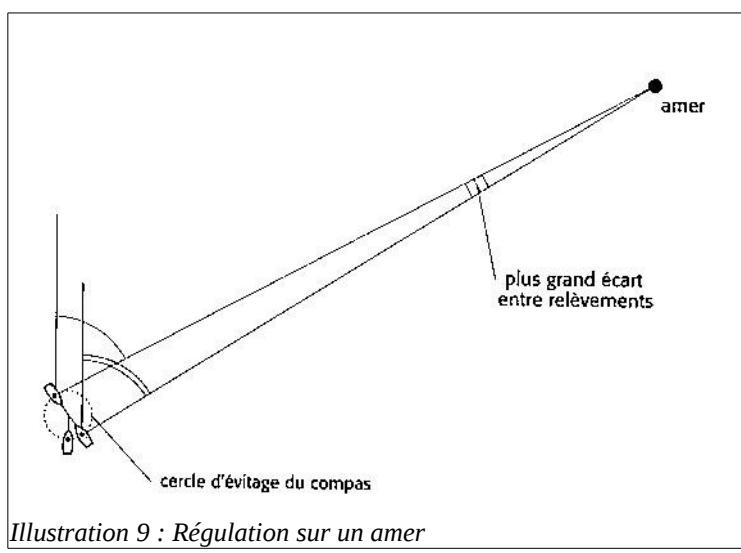
#### Principe :

Le navire suit un cap au compas Cc, on note à un instant donné la valeur Zc du relèvement au compas d'un objet. Connaissant la déclinaison magnétique le relèvement vrai de cet objet on en déduit  $d = Zv - Zc - D$ .

On réalise cette opération en faisant évoluer le Cc de 20 en 20° environ

Le relèvement vrai de l'objet peut être réalisé en utilisant :

- le compas gyroscopique,
- des alignements,
- les relèvements d'amers éloignés,
- les relèvements d'un astre de faible hauteur (soleil le matin ou le soir, planètes, ...),
- les relèvements réciproques.



La valeur du champ magnétique terrestre (et donc de **D**) étant variable dans le temps et l'espace, la régulation n'est valable que pour une région donnée et pour un laps de temps fini : **un compas n'est jamais réglé pour tout lieu et pour toujours !**

On peut effectuer la régulation en route ou en station fixe (sur coffre, amer à une distance supérieure à plus de 120 fois le cercle d'évitage afin que l'écart entre relèvements soit toujours inférieur à  $\frac{1}{2}^\circ$ )

ENSM Le Havre	COMPAS MAGNÉTIQUE PRÉSENTATION DU COMPAS MAGNÉTIQUE	V2.0 – 01/16 10/14
---------------	--------------------------------------------------------	-----------------------

## Procédure

1. Venir à un cap compas quelconque,
2. Relever l'amer (astre, alignement...) noter son relèvement vrai et noter l'indication compas  $Z_c$ ,
3. Calculer la déviation  $d = Z_v - Z_c - D$ ,
4. Venir au cap suivant  $+ 20^\circ$  et répéter les opérations précédentes,
5. Réaliser la courbe de déviation en

Pour éviter les problèmes de traînage magnétiques, il faut

- Soit conserver le cap pendant 10 à 15min
- Soit effectuer **deux tours d'horizon** de sens contraire et définir la déviation comme la moyenne des déviations mesurées dans les deux sens
- En outre il ne faut pas procéder à la régulation après un long séjour à quai (aimantation induite).

## Exemple

Cc	Zv	Zc	D	'd= Z - Zc
002				
023				
047				

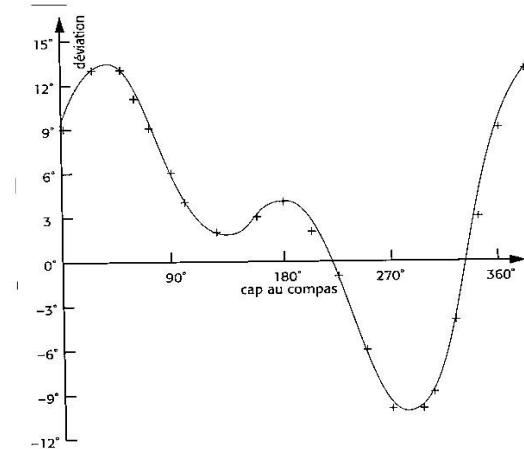


Illustration 10 : Exemple de courbe de déviation

## Les différents types de régulation

### Régulation par relèvements d'amer éloigné

On connaît avec précision sa position (GPS, arc capable, point par deux alignements...).

Amer à 5 ou 6 M minimum.

On détermine le  $Z_v$  à partir de la carte.

### Régulation par relèvements d'un astre

On relève l'azimut  $Z_c$  d'un astre peu élevé sur l'horizon et l'on note l'heure.

A partir de l'heure et d'une éphéméride, on détermine les coordonnées horaires de l'astre et l'on en déduit son azimut vrai.

✓ La régulation par relèvement d'un astre a l'avantage de ne nécessiter ni de connaître précisément sa position ni d'être en vue des côtes.

ENSM Le Havre	COMPAS MAGNÉTIQUE PRÉSENTATION DU COMPAS MAGNÉTIQUE	V2.0 – 01/16 11/14
---------------	--------------------------------------------------------	-----------------------

### **Régulation par franchissement d'un alignement**

Au moment où l'on franchit un alignement, c'est à dire où deux amers sont confondus en direction, l'on note le relèvement  $Z_c$ .

A partir de la carte on détermine  $Z_v$ .

### **Régulation par compas gyroscopique**

On relève le cap compas  $C_c$  et le cap gyro  $C_g$  au même moment.

On a  $C_v = C_g + W_g$ .

Connaissant la variation gyroscopique  $W_g$ , et la déclinaison, on en déduit  $d = C_v - C_c - D = C_g + W_g - D$ .

L'erreur de route ou variation du compas gyroscopique est donnée par la relation :

$$W_g = \frac{-V \cdot \cos(C_v)}{15 \cdot \cos \varphi}$$

V : vitesse du navire  
 $C_v$  : cap vrai du navire  
 $\varphi$  : latitude du navire

Attention, un changement rapide de route et de vitesse du navire entraîne une erreur momentanée du gyrocompas qui peut atteindre 2 à 3°.

ENSM Le Havre	COMPAS MAGNÉTIQUE PRÉSENTATION DU COMPAS MAGNÉTIQUE	V2.0 – 01/16 12/14
---------------	--------------------------------------------------------	-----------------------

## PRATIQUE DU COMPAS MAGNÉTIQUE

### Problème direct

Le cap compas est connu, on veut déterminer le cap vrai :

- calculer D grâce à la carte ;
- déterminer d à partir de la courbe de déviation ;
- en déduire Cv = Cc + d + D.

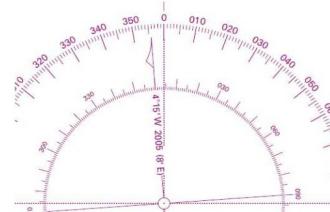


Illustration 11 : Exemple de rose de déclinaison magnétique

### Problème inverse

Le cap vrai à suivre est défini, on veut déterminer le cap compas à suivre :

- calculer D grâce à la carte ;
- déterminer d à partir de la courbe de déviation, **mais ATTENTION cela pose problème car la courbe de déviation est tracée en fonction du cap compas et non du cap magnétique.**

Il existe deux méthodes pour trouver d en fonction du cap magnétique :

#### Méthode 1 : dichotomie

1. On suppose que Cc = Cm.
2. A partir de la courbe on en déduit une valeur d <sub>approchée</sub>.
3. On calcule alors un nouveau cap compas Cc = Cm - d <sub>approchée</sub>.
4. A partir de ce nouveau Cc, on en déduit avec la courbe un nouveau d <sub>approché</sub>.
5. On recalcule Cc = Cm - d <sub>approché</sub>.
6. On réitère une ou deux fois sachant que la précision est demandée est de 0,5°.

#### Méthode 2 :

On trace sur la courbe de déviation une droite de pente -1 qui passe par la valeur du Cm sur l'axe des abscisses.

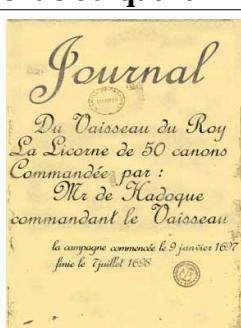
On lit d à l'intersection de cette droite et de la courbe de déviation.

### Faire une variation

La courbe de déviation doit être vérifiée chaque fois qu'est donnée l'occasion de connaître le relèvement vrai d'une direction (amer éloigné, astre, alignements....).

Réaliser ses vérifications est appelée faire une variation.

### Tenue du quart



A chaque quart, sont portés dans le journal de bord le cap compas et le cap gyrocompas.

Le compas magnétique n'est pas précis mais très stable dans le temps ; si le navire ne change pas de cap le cap compas sera toujours identique.

Au contraire le cap gyrocompas est très précis mais pas parfaitement stable.

La comparaison du cap compas et gyrocompas permet de vérifier la stabilité du gyrocompas.

Inversement si le gyrocompas ne fonctionne plus, à partir du journal de bord, il sera possible de définir une courbe de déviation valable pour la zone et la cargaison.

## Exemple de courbe de déviation

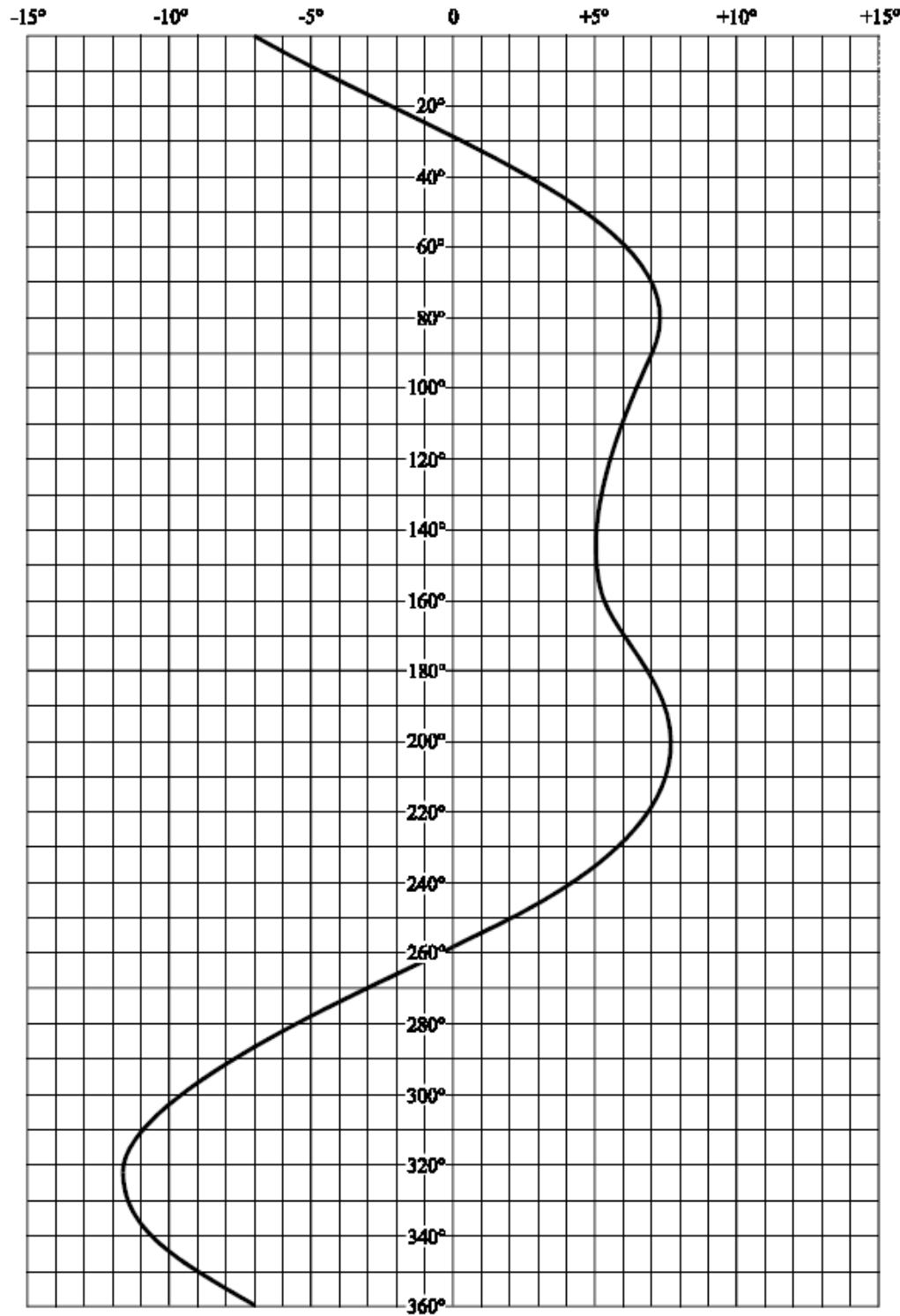


Illustration 12 : Courbe de déviation du compas magnétique

ENSM Le Havre	<b>COMPAS MAGNÉTIQUE</b>	V2.0 – 01/16
<i>A. Charbonnel</i>	<b>PRÉSENTATION DU COMPAS MAGNÉTIQUE</b>	14/14

## RESSOURCES

### Bibliographie

- SHOM - *Guide du navigateur* (volumes 1 et 2). SHOM (2010).  
 Philippe Bourbon - *Guide pratique du compas magnétique* Institut océanographique (2002).  
 Caillou/Laurent/Percier - *Traité de navigation* - Infomer.  
 Bowditch - *The American practical navigator* - National Imagery and Mapping Agency (2000).  
 Cutler - *Dutton's Nautical Navigation* –  
 Seamanship - *NavBasics vol.–* Whiterby (2009)

### Illustrations

- Illustration 1 : Les trois nord et trois cap : vrai, magnétique et compas  
 Illustration 2 : Rose de déclinaison magnétique d'une carte marine  
 Illustration 3 : Aide mémoire CADET  
 Illustration 4 : Extrait "Les aventures de Tintin - Objectif Lune " de Hergé - 1993 - édition Castermann  
 Illustration 5 : Description de la cuvette du compas  
 Illustration 6 : L'alidade  
 Illustration 7: Description de l'habitacle du compas  
 Illustration 8 : Coupe du compas magnétique  
 Illustration 9 : Régulation sur un amer  
 Illustration 10 : Exemple de courbe de déviation  
 Illustration 11 : Exemple de rose de déclinaison magnétique  
 Illustration 12 : Courbe de déviation du compas magnétique

