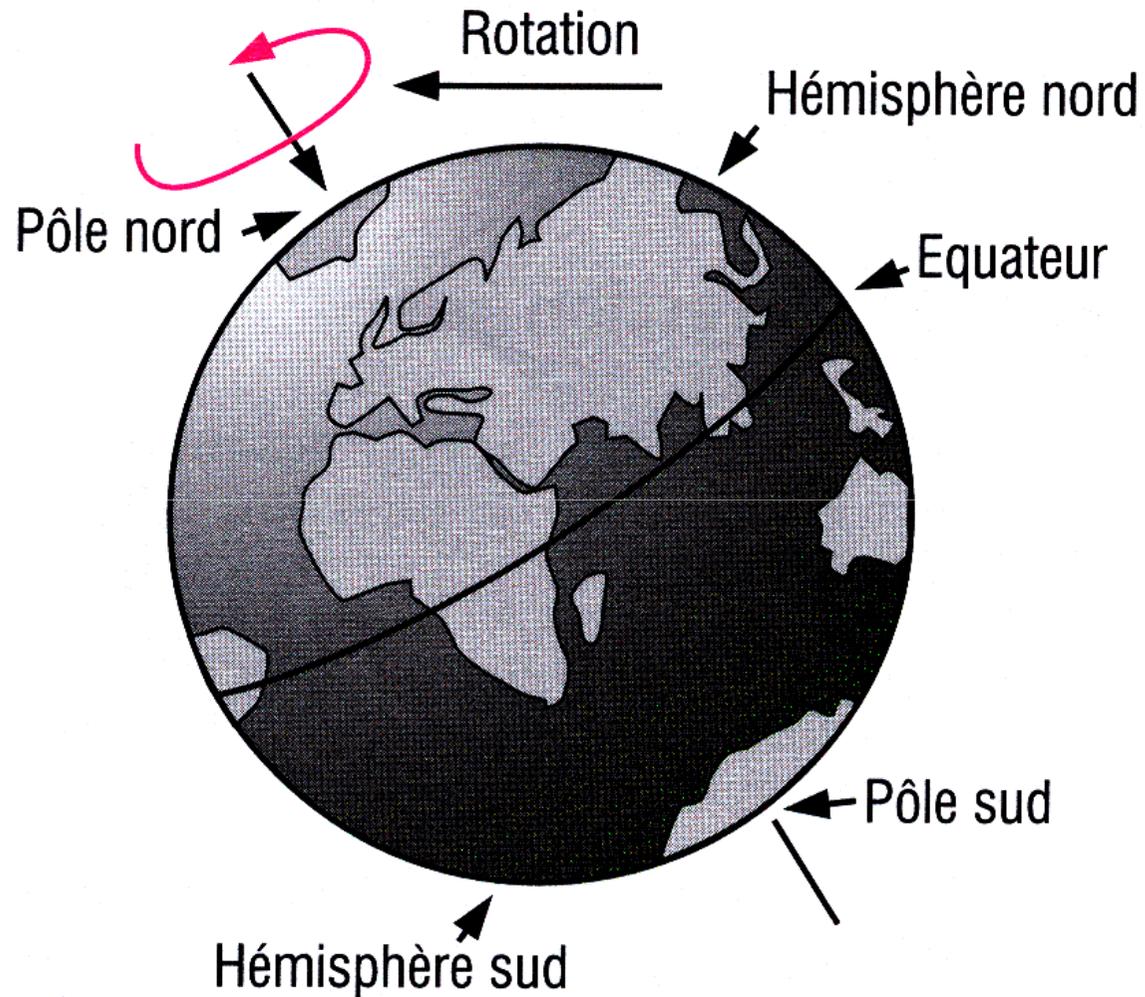


Navigation

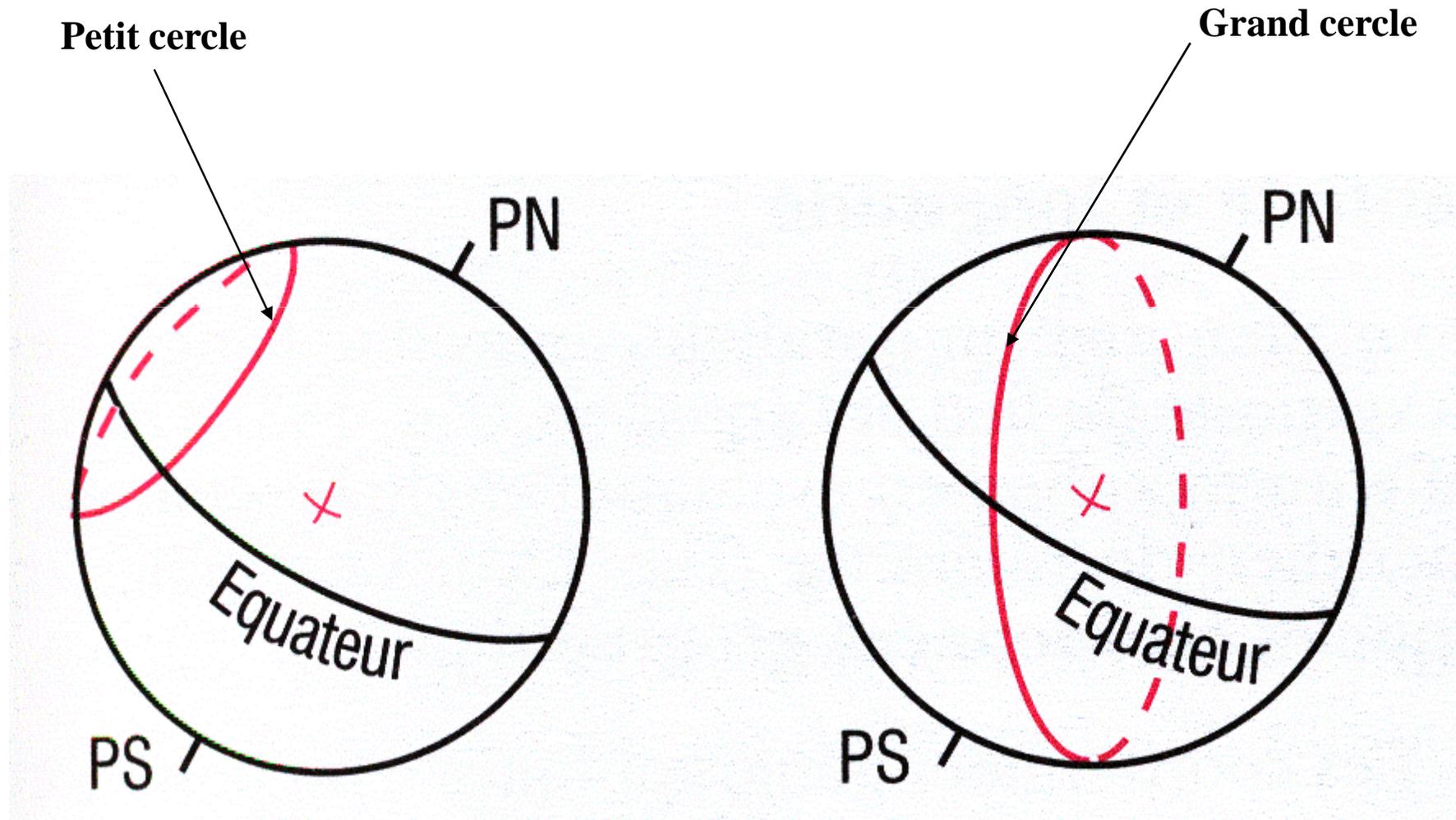


La sphère Terrestre



Circonférence de la sphère terrestre = 40 000 Km

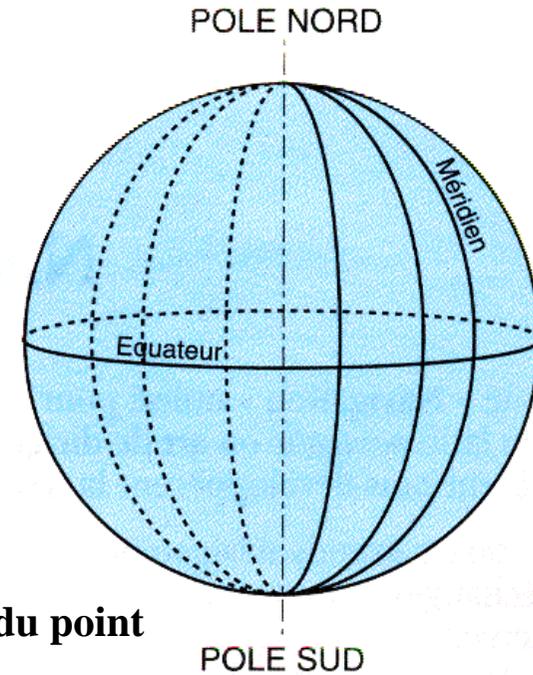
Notion de grand cercle et de petit cercle



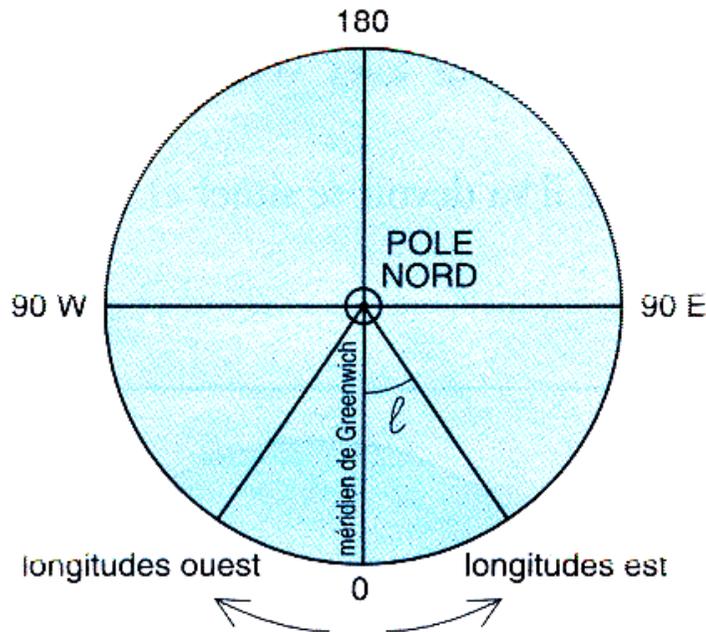
Méridiens et Longitude

Le méridien d'origine est le méridien de Greenwich .

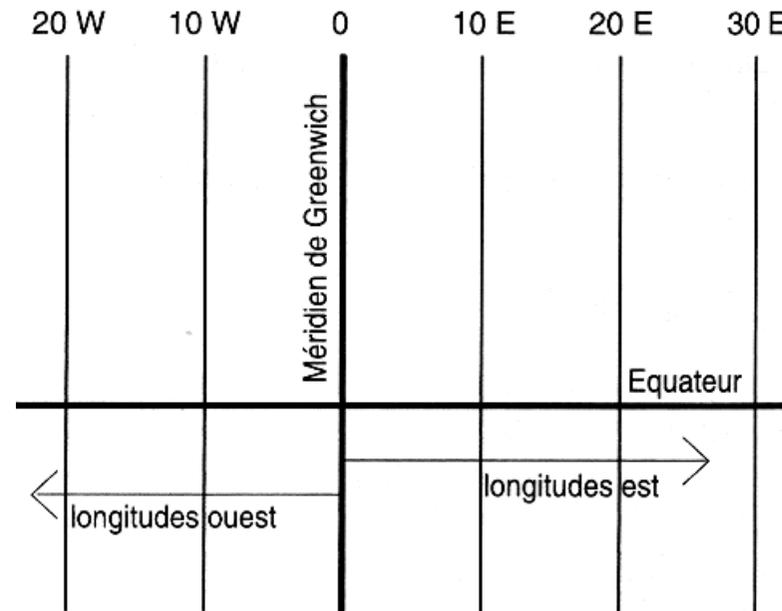
Sa longitude est de 0°



Longitude (l) = angle entre le méridien de Greenwich et le méridien du point



LA TERRE VUE DEPUIS LE POLE NORD

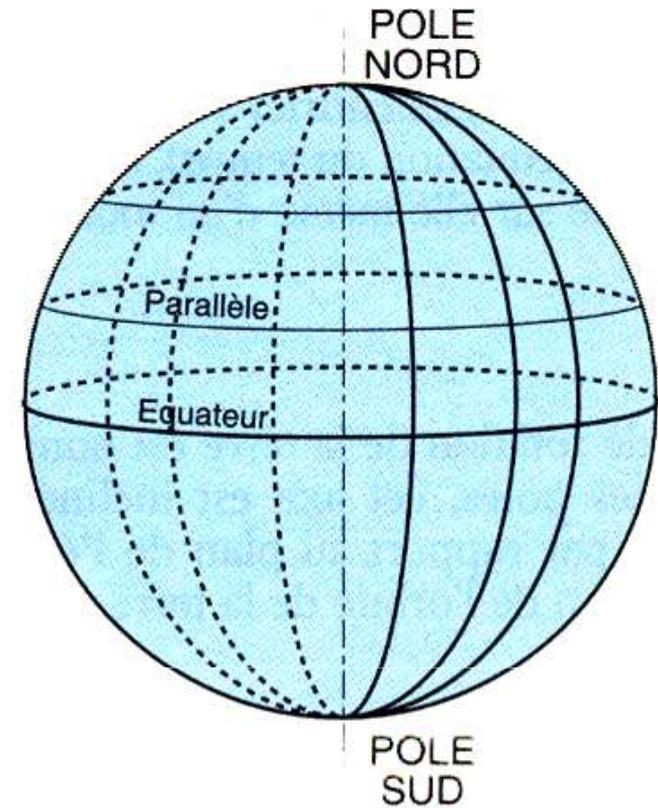
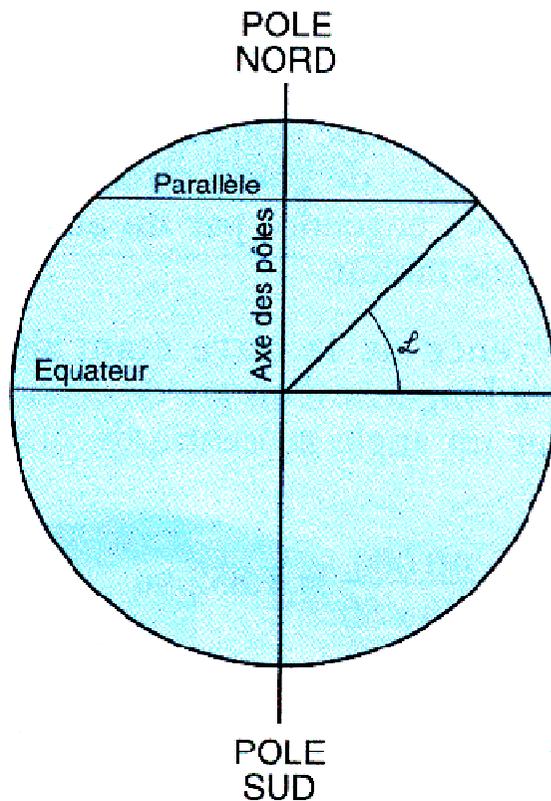


LA TERRE VUE DE FACE, À L'ÉQUATEUR

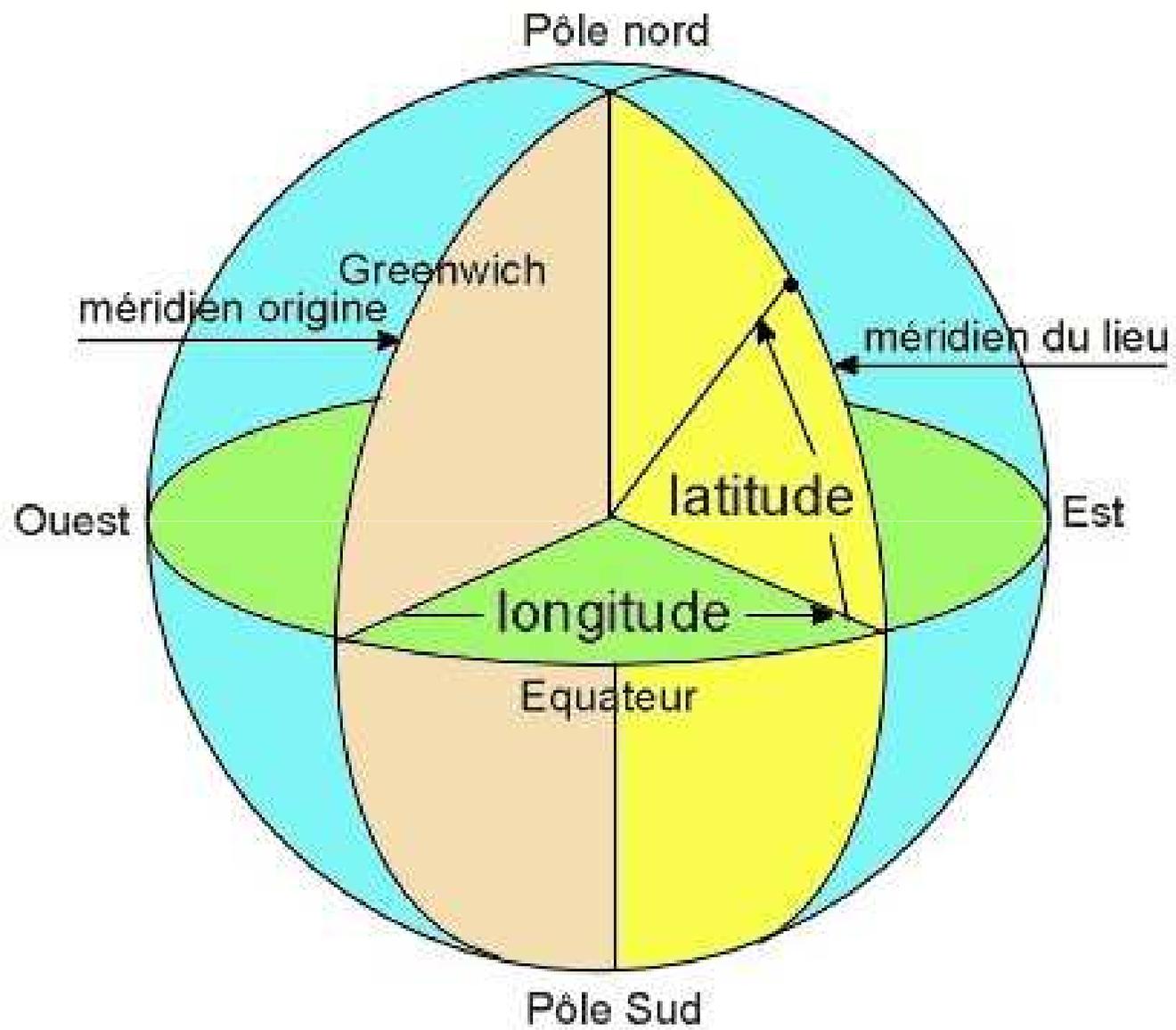
Parallèles et Latitude

Le parallèle d'origine est l'équateur sa latitude est de 0°

Latitude (L) = angle entre l'équateur et le point



LA TERRE VUE EN COUPE SUIVANT L'AXE DES PÔLES



Coordonnées d'un point sur la terre

Exemple :

Grenoble St Geoirs : $45^{\circ} 22' N$; $5^{\circ} 19' E$

45 degrés et 22 minutes de Latitude Nord

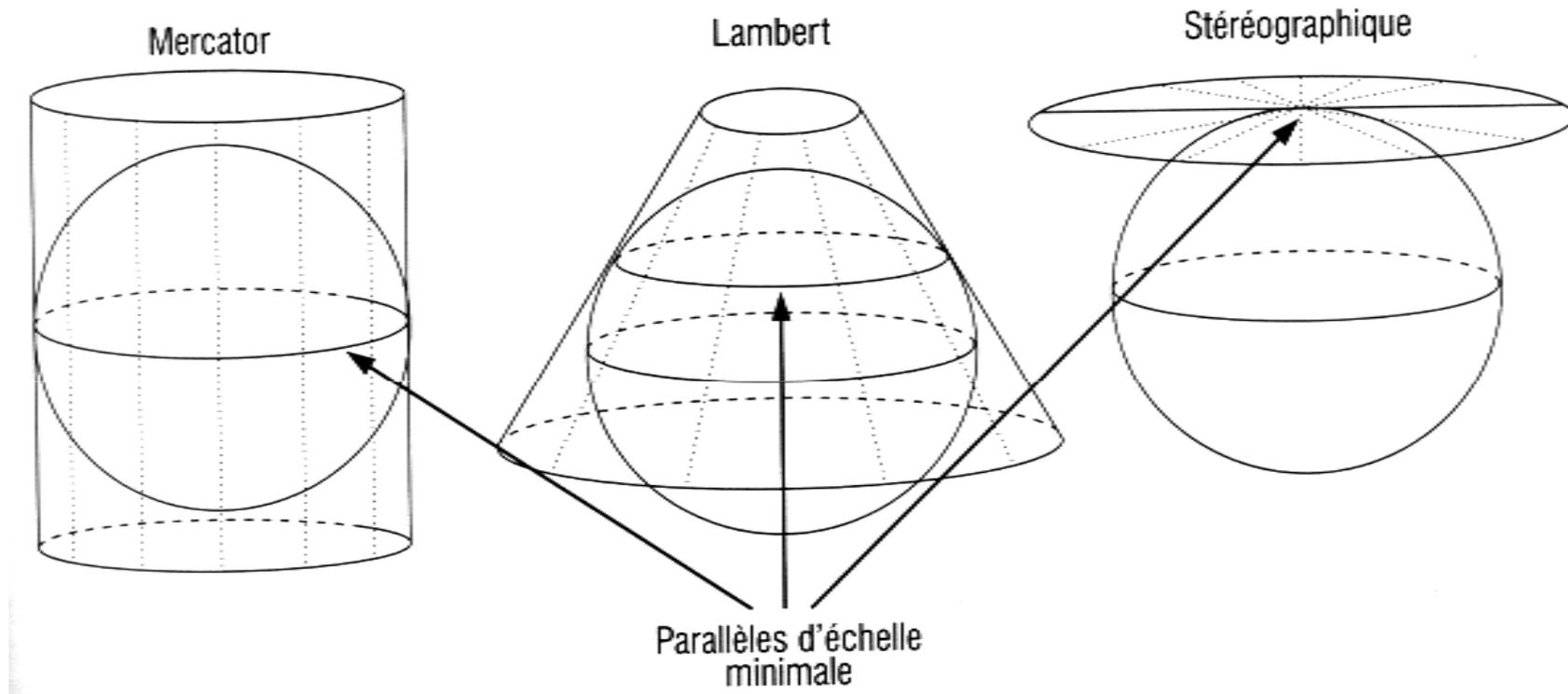
5 degrés et 19 minutes de longitude Est

Une minute d'angle = $1/60$ de degré (1' = $1/60^{\circ}$)

Aéroport de Reykjavik (Islande) : $64^{\circ} 8.20' N$; $21^{\circ} 56.34' W$

Les cartes

Les différents types de canevas :



Les cartes aéronautiques utilisées sont au canevas lambert

L'échelle d'une carte :

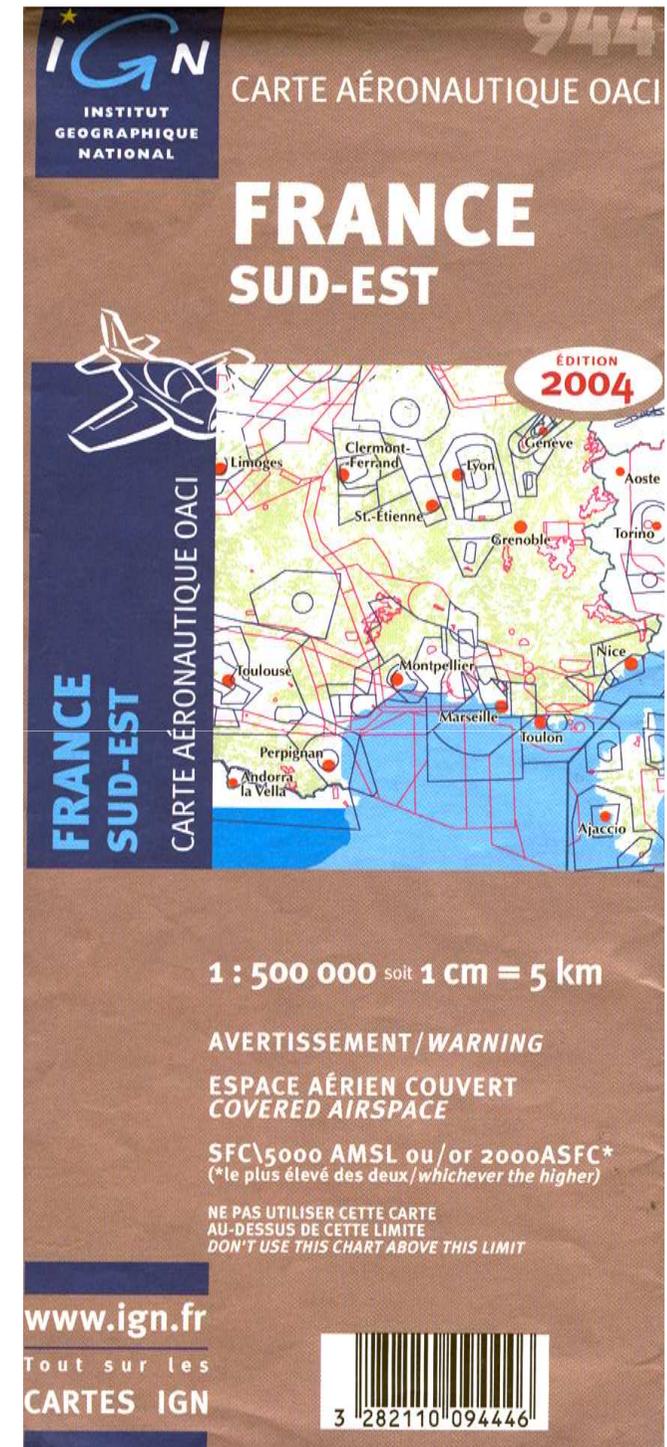
$$\text{Echelle} = \frac{\text{Distance lue sur la carte}}{\text{Distance sur la terre}}$$

La carte aéronautique au 1/500 000

Canevas Lambert

Echelle = 1/500 000

1cm sur la carte représente 500 000 cm (5 km)
sur la terre



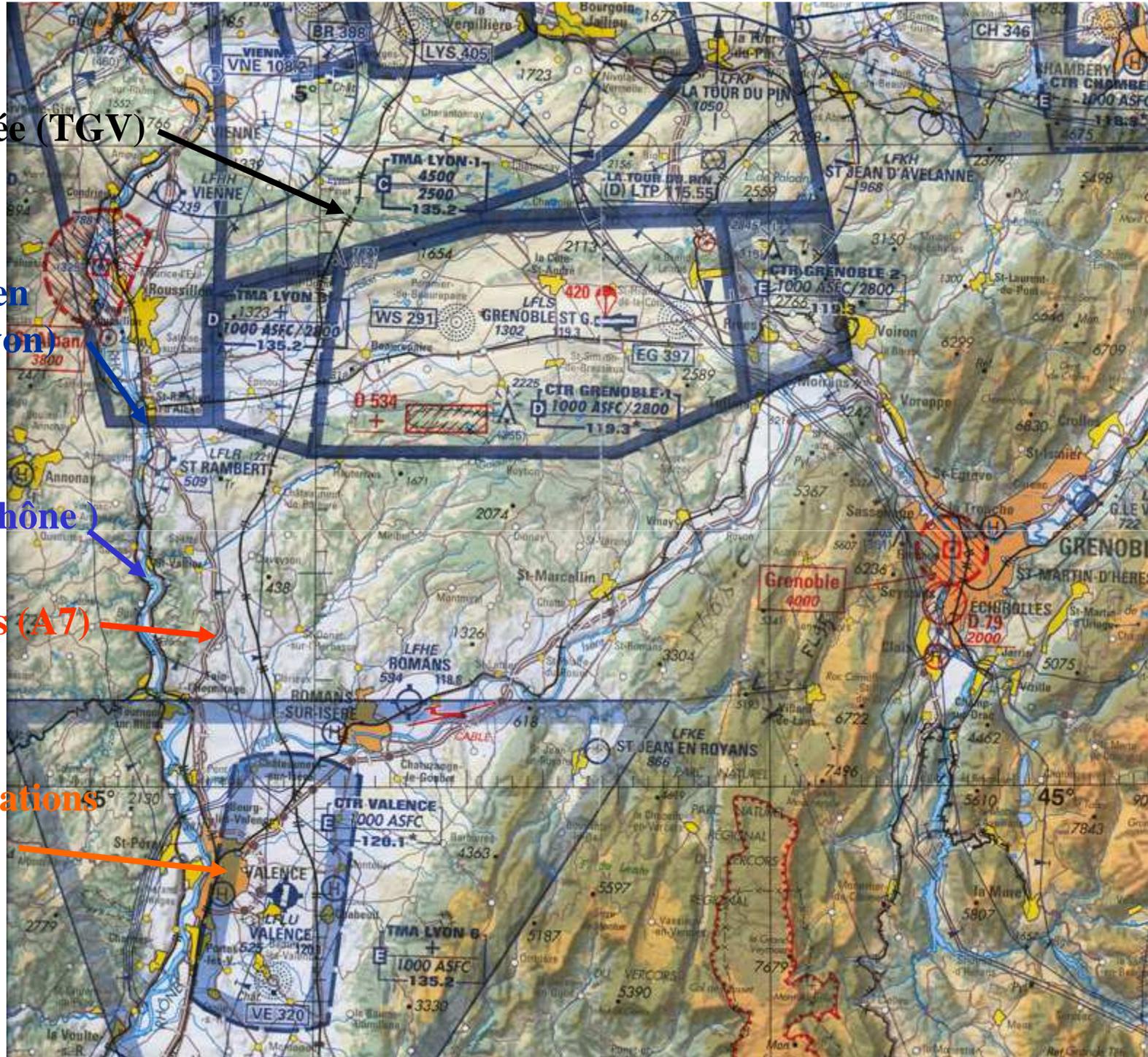
Voie Ferrée (TGV)

Espace aérien
(TMA de Lyon)

Fleuves (Rhône)

Autoroutes (A7)

Agglomérations
(Valence)

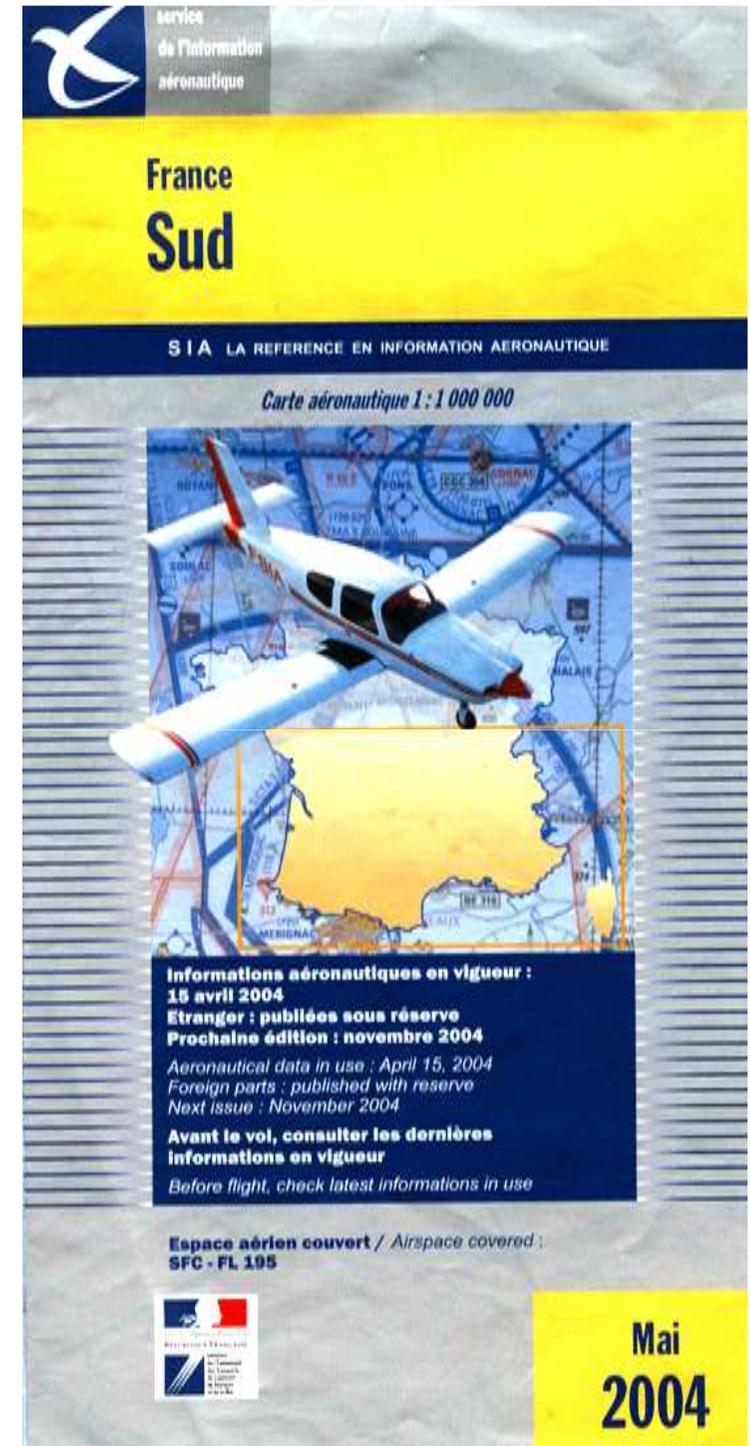


La carte aéronautique au 1/1 000 000

Canevas Lambert

Echelle = 1/1 000 000

1cm sur la carte représente 1 000 000 cm (10 km)
sur la terre



Mesure des distances sur une carte

En navigation on utilise le « mille Nautique » comme unité de distance

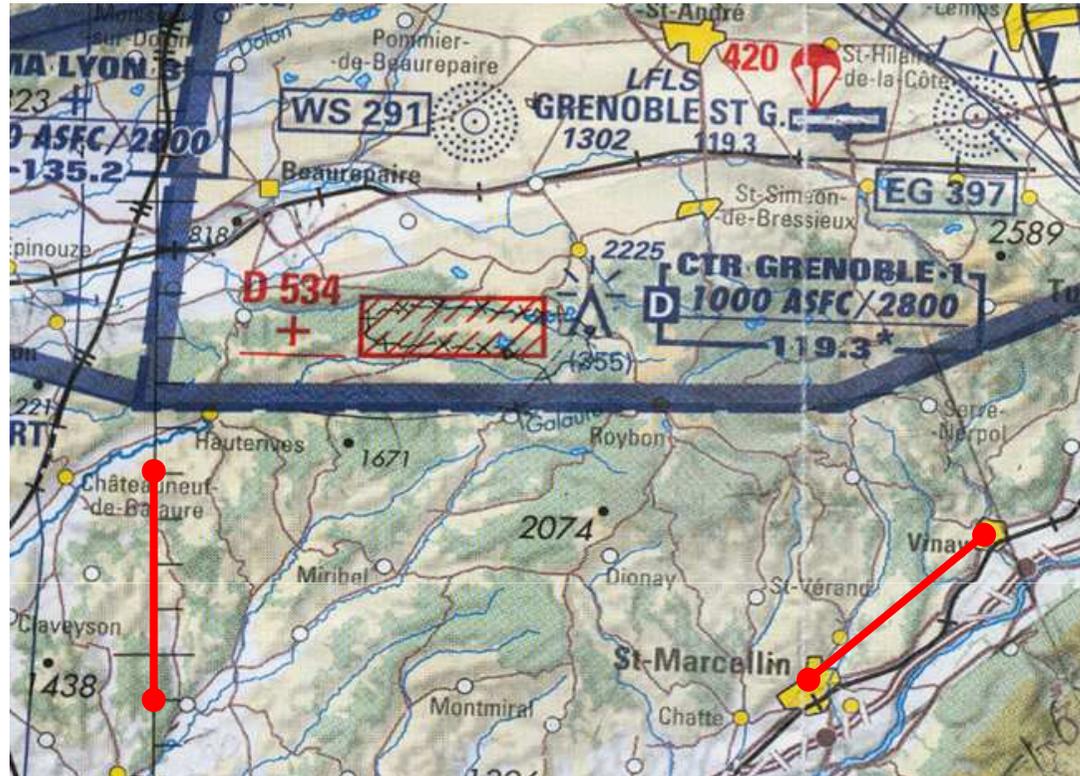
Conversion : 1 NM = 1,852 km

Un mile nautique est la longueur d'un arc de grand cercle correspondant à une minute d'angle

1 NM correspond à 1' (une minute d'angle)

60 NM correspond à 1° (un degré d'angle)

Première méthode de mesure d'une distance



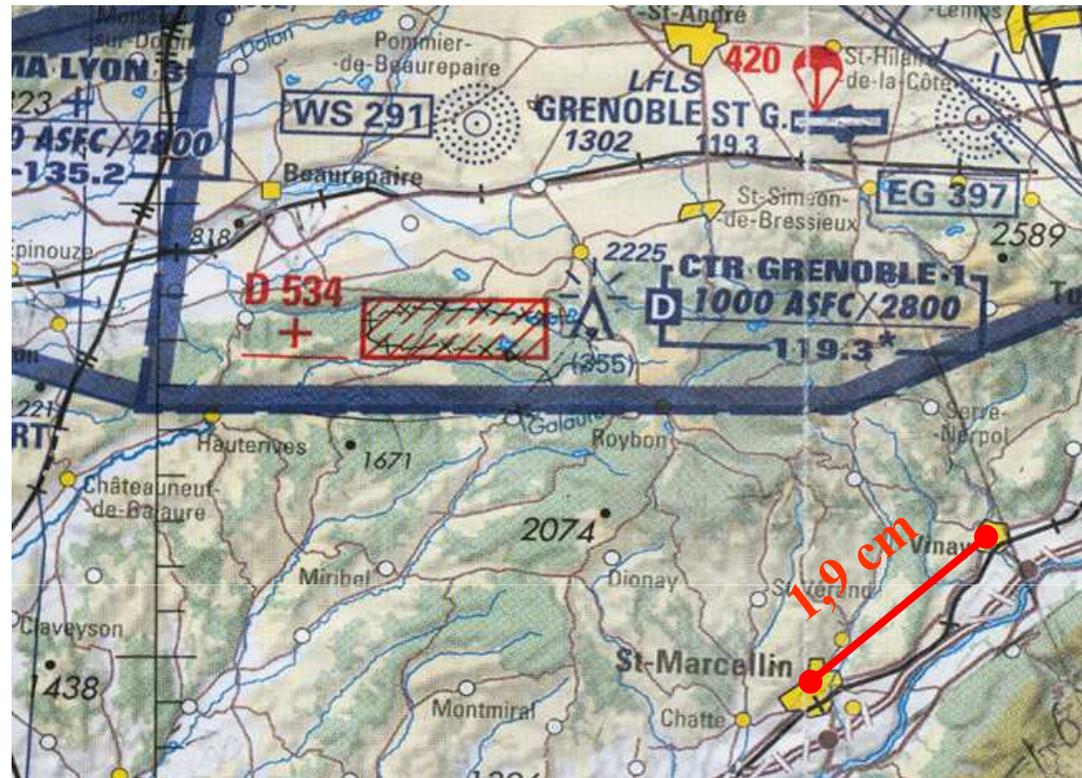
On mesure au compas la distance entre St Marcellin et Vinay (par exemple)

On reporte cette longueur sur le graticule des latitudes et on trouve la distance en appliquant 1' correspond à 1 NM

Résultat : Distance entre St Marcellin et Vinay = **5 NM**

Attention ! Ne jamais mesurer en utilisant le graticule des longitudes !

Deuxième méthode de mesure d'une distance



On mesure sur la carte entre St Marcellin et Vinay au double décimètre

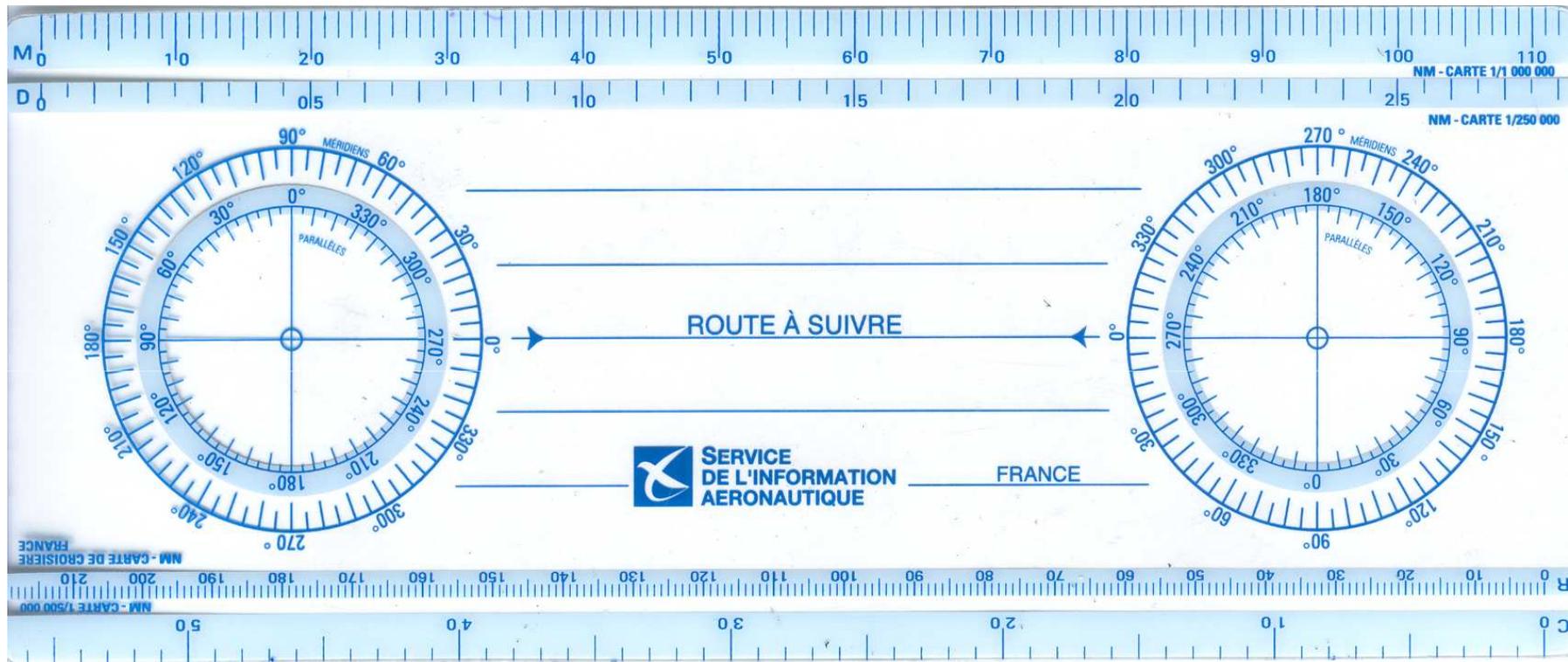
On Trouve 1,9 cm

On applique le facteur d'échelle distance = $1,9 \times 500\,000 = 950\,000 \text{ cm} = 9,5 \text{ Km}$

On convertit en mille nautique = $9,5 / 1,852 = 5,12 \text{ NM}$

Troisième méthode de mesure d'une distance

On utilise une règle directement graduée en Milles Nautiques :



Retro projecteur

Quatrième méthode de mesure d'une distance

La largeur d'un doigt correspond environ à une distance de 5 NM sur la carte au 1/500 000

Mesure du temps

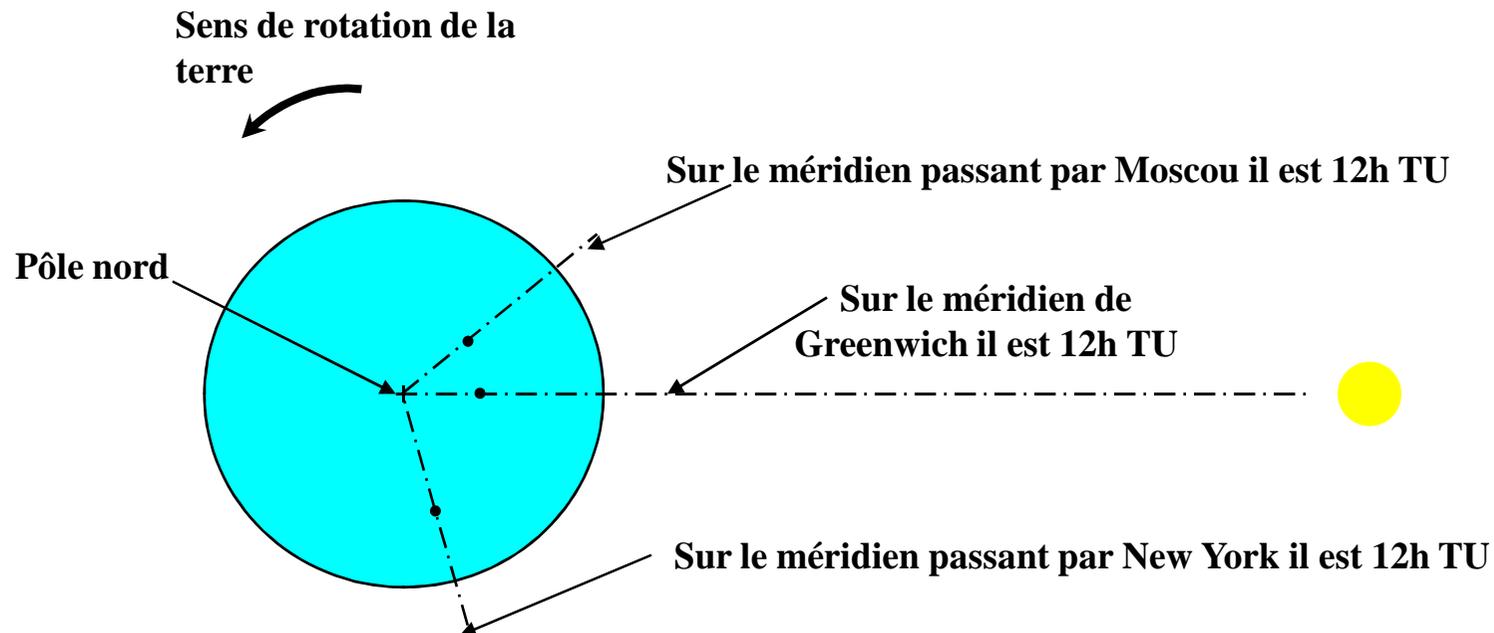
Heure TU (ou GMT ou encore UTC) :

TU : Temps Universel

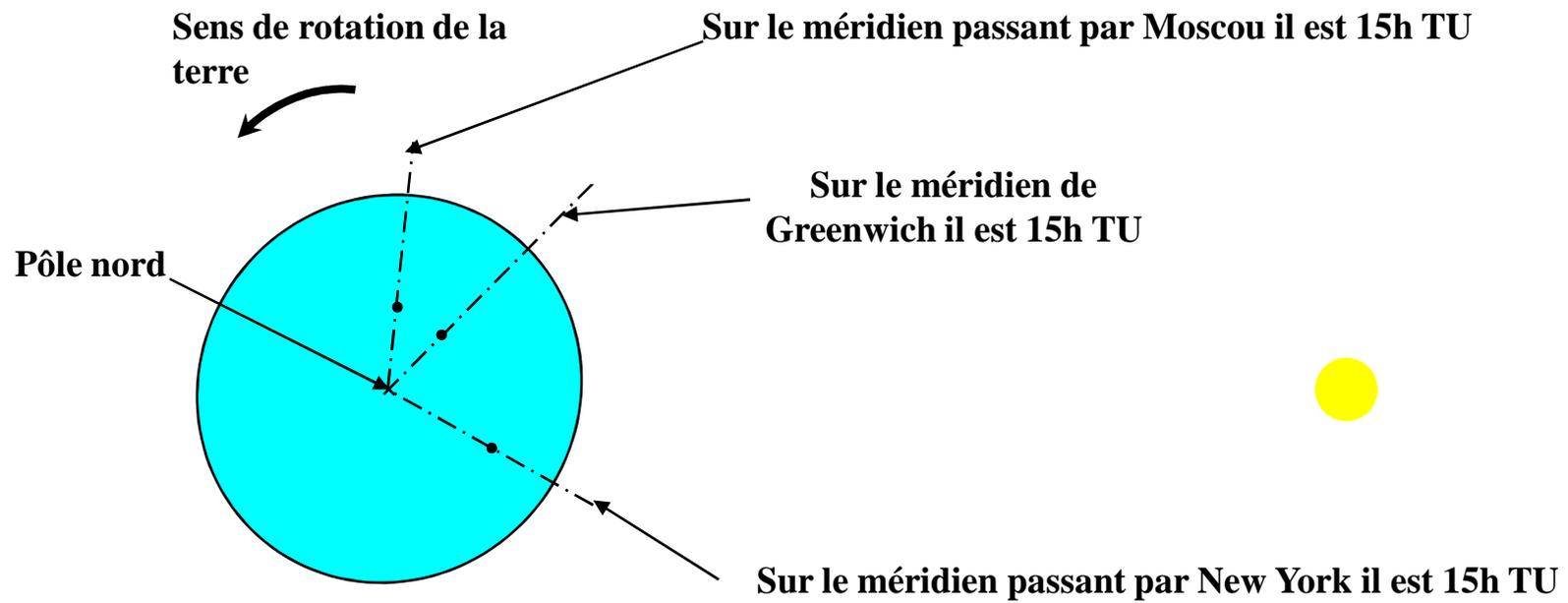
GMT : temps moyen à Greenwich

UTC : temps universel coordonné

En tout point de la terre il est 12h (midi) lorsque le soleil passe à la verticale du méridien de greenwich .



Trois heures plus tard



Heure locale :

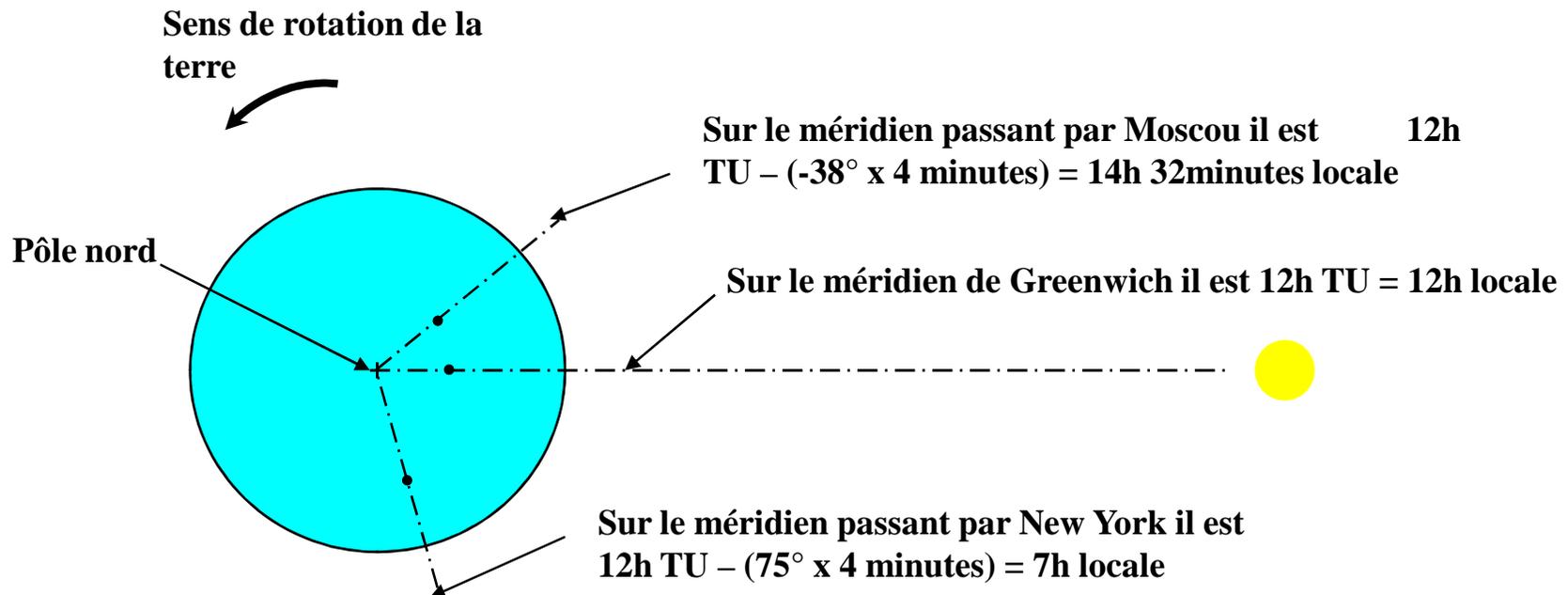
Lorsque le soleil passe à la verticale d'un méridien il est 12h sur ce méridien .

L'heure locale dépend de la longitude du méridien .

La terre fait 1 tour en 24h . Elle fait aussi **1° en 4 minutes**

L'heure locale peut se calculer en fonction de la longitude et de l'heure TU :

$$\text{Heure locale} = \text{Heure TU} - \text{longitude} \times 4$$



Heure légale :

Utiliser l'heure locale nous obligerait à régler notre montre à chaque fois que l'on change de longitude, et entre deux personnes vivant l'une à Strasbourg et l'autre à Brest, il ne serait pas possible de fixer un rendez-vous à une heure précise à Paris sans faire un savant calcul.

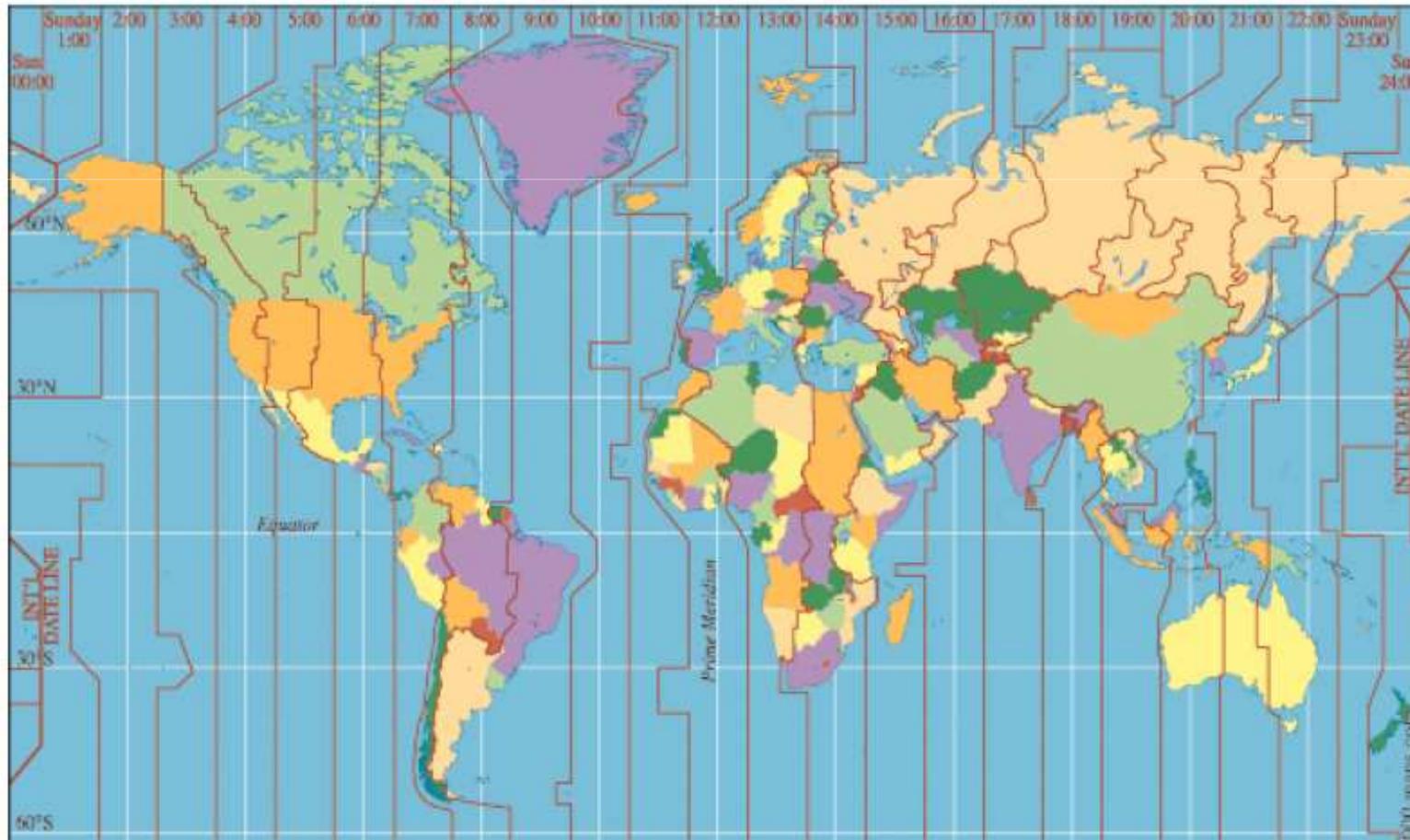
On a donc créé l'heure du fuseau afin d'avoir la même heure sur une grande étendue.

On a divisé la terre en 24 fuseaux de 15° de différence de longitude chacun ($15^\circ \times 24 = 360^\circ$)

L'heure du fuseau est constante à l'intérieur d'un même fuseau et égale à l'heure locale du méridien central du fuseau, plus ou moins un nombre entier d'heures fixé par la loi d'état.

En France : en hiver, heure locale légale = UTC+ 1h

en été, heure locale légale = UTC+2h



La nuit aéronautique :

La nuit aéronautique **commence 30 minutes après** le couché du soleil et se termine **30 minutes avant** le lever du soleil .

Exercices

Quelle est l'heure légale ici et en ce moment ?

C'est l'heure indiquée par la montre :

Quelle est l'heure TU en ce moment ?

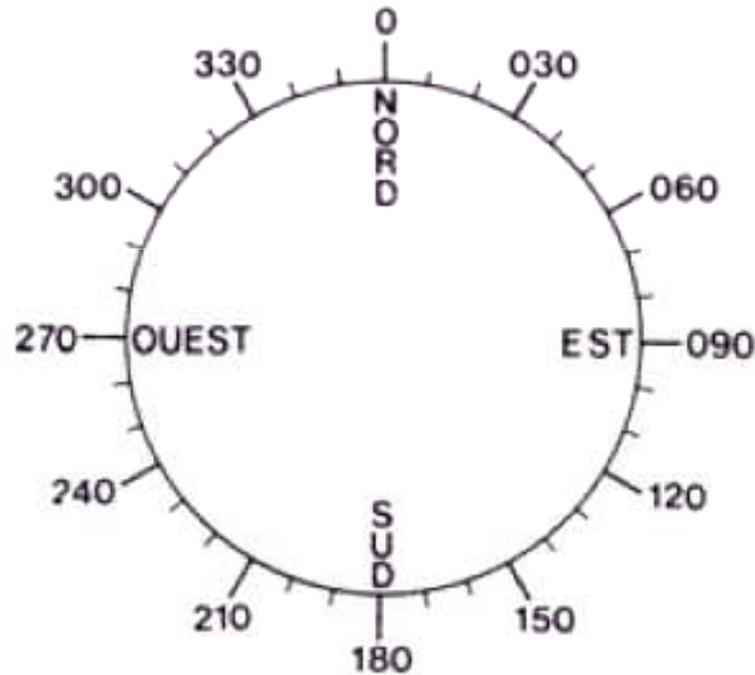
Il faut retrancher une heure à l'heure indiquée par la montre :

Quelle est l'heure Locale en ce moment sachant que l'on se situe sur le méridien 5°E ?

Il faut rajouter $5^\circ \times 4 = 20$ minutes à l'heure TU :

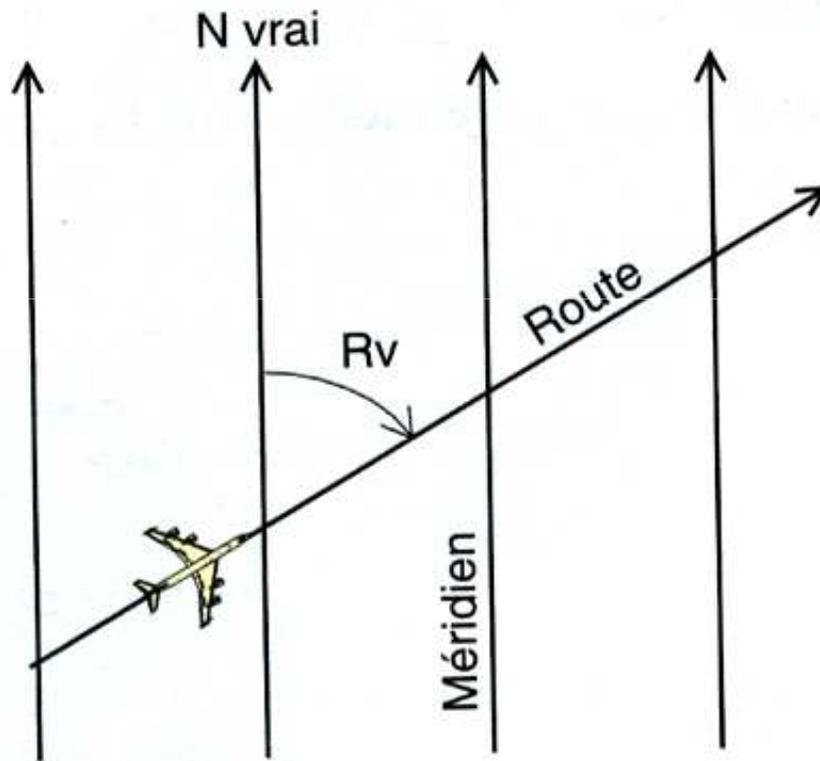
L'orientation sur la terre

Un direction est toujours comptée dans le sens des aiguilles d'une montre à partir de l'origine . Les angles sont compris entre 0° et 360°

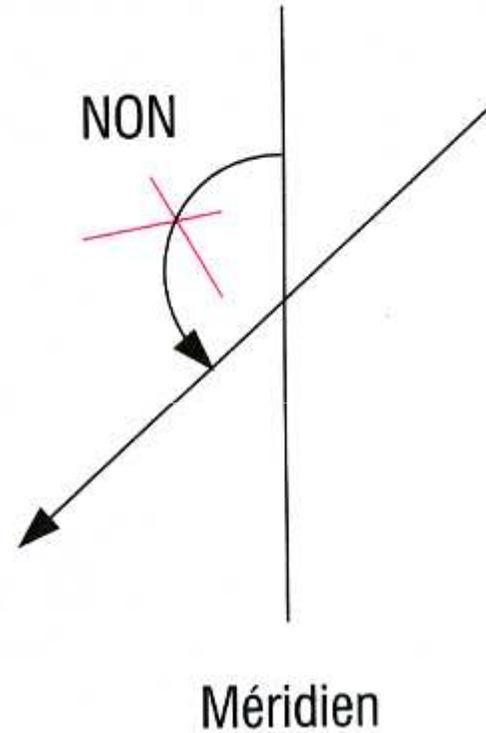
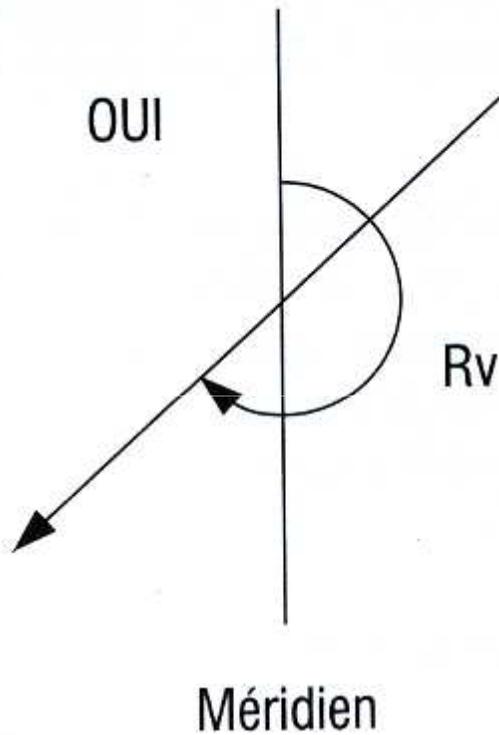


Mesure d'une route vraie :

Route vraie (Rv) = Angle entre la direction du pôle nord géographique (donnée par les méridiens) et la « route » de l'avion tracée sur la carte :



Une route est toujours mesurée dans le sens des aiguilles d'une montre



Exemple de mesure d'une route vraie : voir retro projecteur

Les différents Nord

Le Nord vrai : pôle nord géographique

Toute direction mesurée par rapport au nord vrai est dite « vraie »

Le Nord magnétique : Autour du globe règne un champ magnétique terrestre.

Tout se passe comme si la terre contenait un aimant gigantesque passant par son centre, mais dont l'axe ne coïnciderait pas exactement avec la ligne des pôles géographiques.

Toute direction mesurée par rapport au nord magnétique est dite « magnétique »

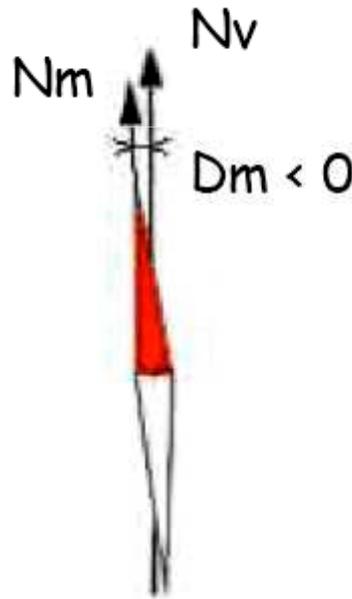


La déclinaison magnétique

Déclinaison magnétique (D_m) = angle entre le nord vrai et le nord magnétique ,

D_m est **EST** ou **positive** si le nord magnétique est à l'est du nord vrai.

D_m est **OUEST** ou **négative** si le nord magnétique est à l'ouest du nord vrai.

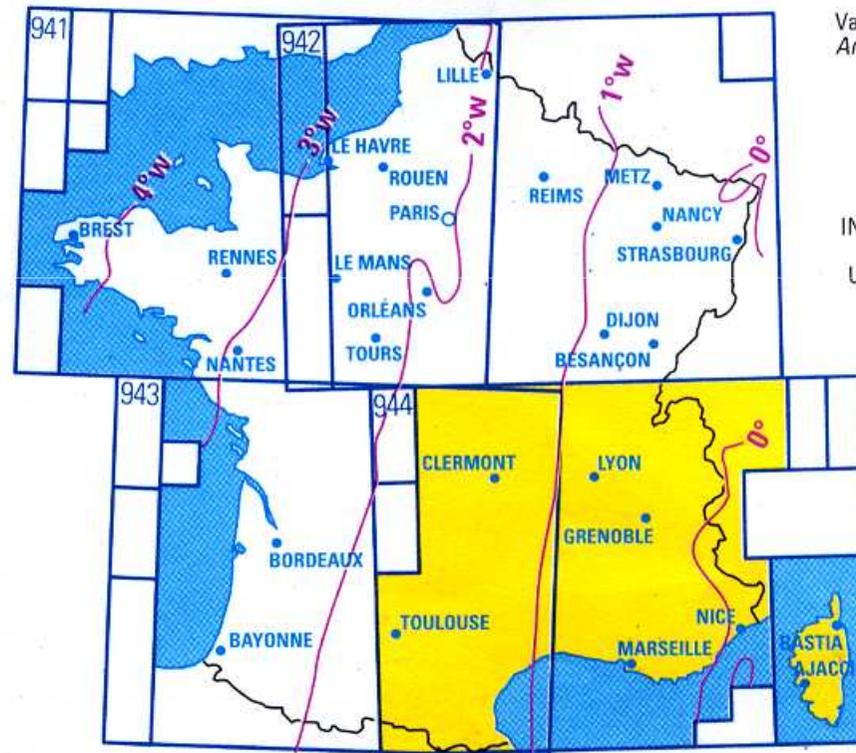


La déclinaison magnétique change en fonction du lieu où l'on se trouve et en fonction du temps
(~ 1° tous les 6 ans en France)

Valeurs de la déclinaison magnétique en France

La valeur de la déclinaison magnétique est donnée dans les cartouches des cartes aéronautiques

Les lignes d'égale déclinaison correspondent au : **1er JANVIER 2000**
Lines of equal magnetic variation on :



Variation annuelle: **7' Est**
Annual rate of change:

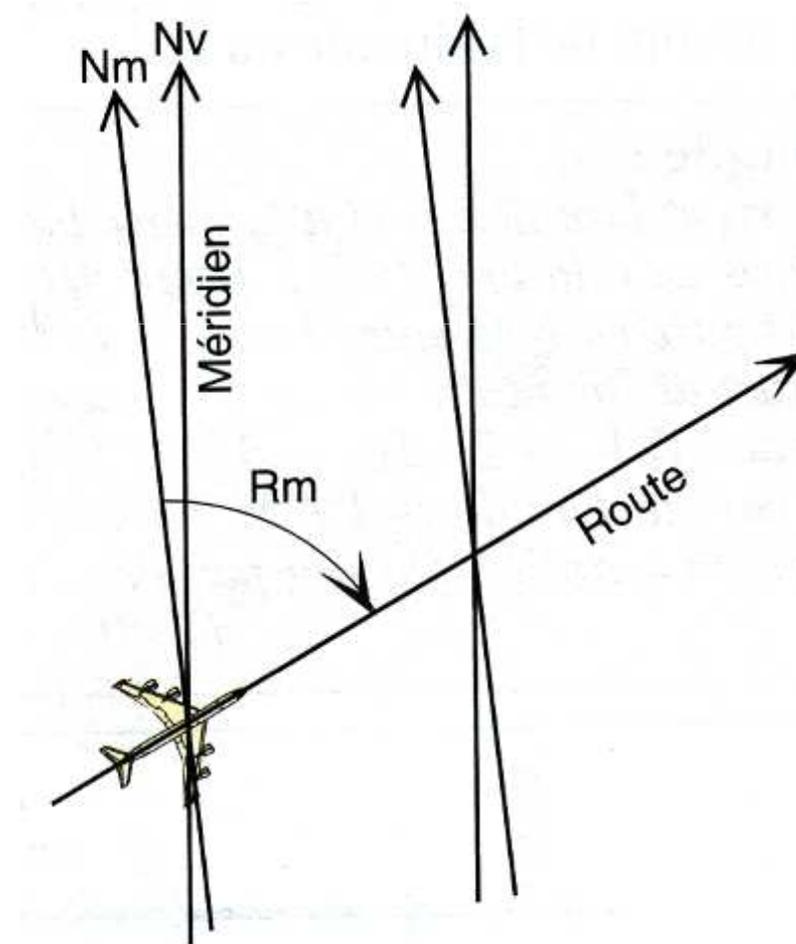
Origine, from:
INSTITUT DE PHYSIQUE
DU GLOBE
UNIVERSITÉ DE PARIS

Déclinaison
moyenne pour
la Corse: 0° 30' E

*Mean magnetic
variation for
Corsica : 0° 30'E*

Calcul d'une route magnétique :

Route magnétique = Angle entre la direction du pôle nord magnétique et la « route » de l'avion tracée sur la carte :



Pour transformer une route vraie en une route magnétique on applique la relation :

Route magnétique = route vraie - déclinaison

Exemple :

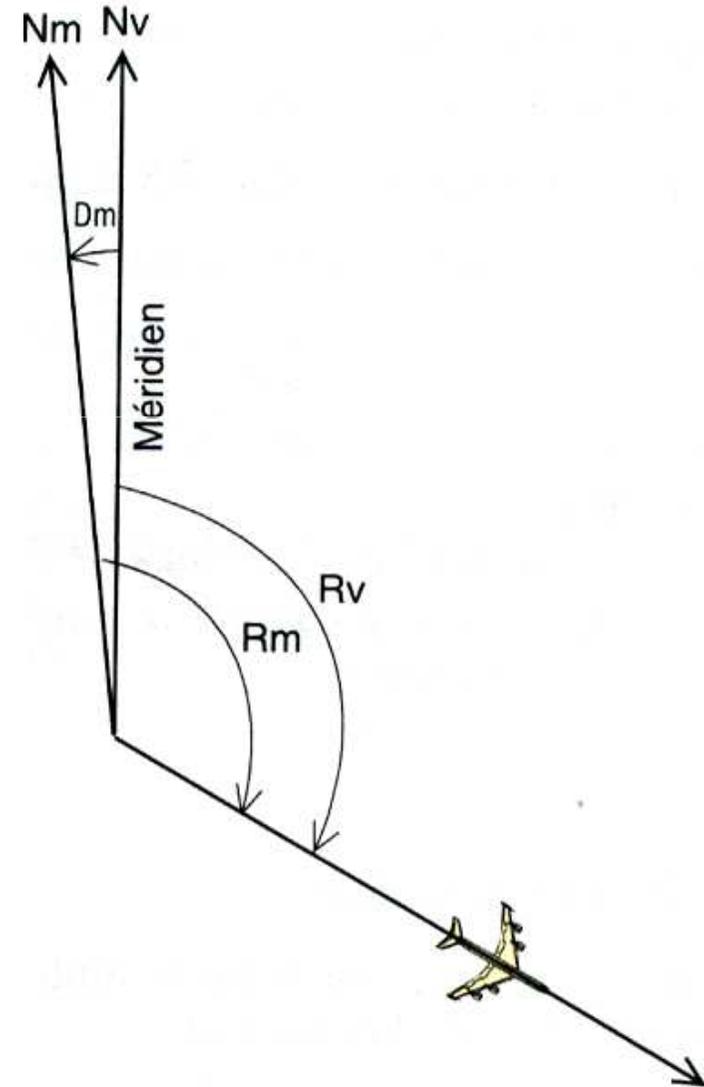
Route vraie mesurée sur la carte : $Rv = 120^\circ$

Déclinaison magnétique en ce lieu : $Dm = 5^\circ \text{ouest} = -5^\circ$

Route magnétique :

$$Rm = Rv - Dm$$

$$Rm = 120^\circ - (-5^\circ) = 125^\circ$$



Calcul du Cap :

Le cap = angle entre le nord et l'axe de l'avion

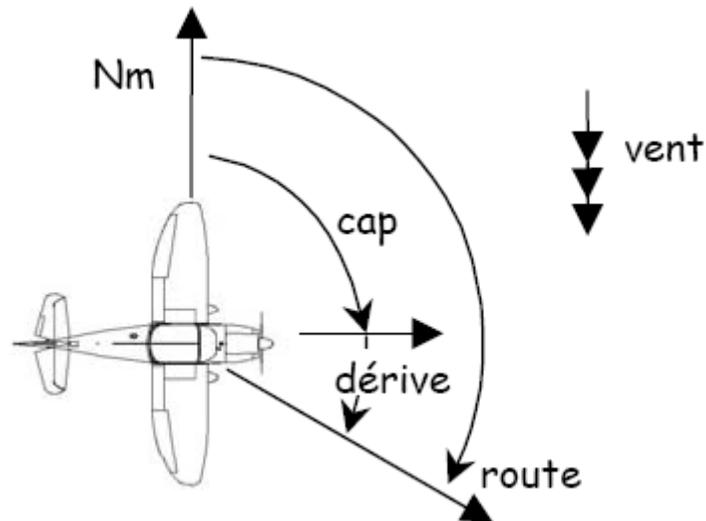
Le cap peut être magnétique (Cm) si il est mesuré par rapport au nord magnétique .

Le cap peut être vrai (Cv) si il est mesuré par rapport au nord vrai .

Sans vent le cap et la route sont confondus

Lorsqu'il y a du vent de travers l'avion dérive

On appelle dérive (X) l'angle entre le cap et la route



Dans la pratique :

on obtient la valeur du cap en **additionnant** ou en **retranchant** la valeur de la dérive à la route

Le nez de l'avion devant toujours être orienté du côté d'où vient le vent .

$$\text{Cap} = \text{Route} - \text{dérive}$$

$$C = R - X$$

La dérive est **positive** si l'avion dérive à **droite** .

La dérive est **négative** si l'avion dérive à **gauche** .

Calcul du Cap compas :

Le compas :

C'est une boussole composée d'un flotteur contenu dans un bol étanche .

La rose est un plateau circulaire aimantée (flotteur) qui se dirige vers une direction fixe .

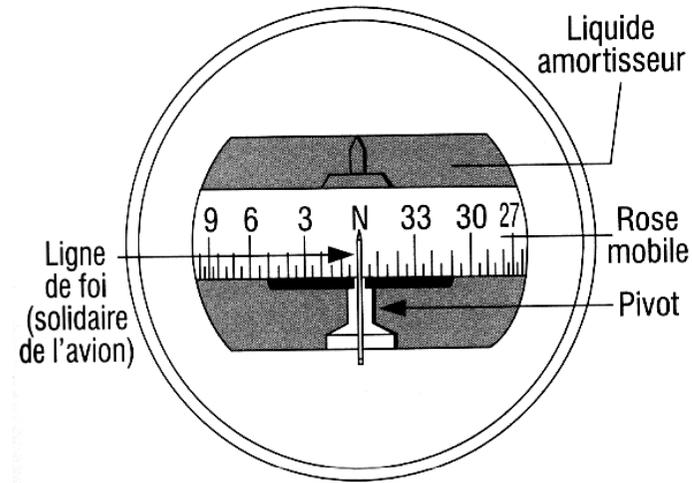
La rose est posée sur un pivot et baigne dans un liquide amortisseur .

La ligne de foi permet de lire le cap .

Cet instrument très simple ne donne pas exactement la direction du nord magnétique car il est perturbé par les masses métalliques de l'avion .

On appelle déviation (d) l'angle entre le nord magnétique et la direction du nord donné par le compas .

La déviation est **positive si elle est **EST** ; elle est **négative** si elle est **OUEST****



Pour transformer un cap magnétique en cap compas on applique la relation :

$$\text{Cap compas} = \text{cap magnétique} - \text{déviation}$$

Conclusion

Le cap compas est le cap que l'on sélectionnera sur le compas magnétique de l'avion pour suivre la route choisie et atteindre sa destination .

On peut procéder comme suit :

1 tracer sur la carte et mesurer la route vraie

2 Calculer la route magnétique ($R_m = R_v - D_m$)

3 Calculer le cap magnétique (en tenant compte de la dérive)

4 Calculer le cap compas ($C_c = C_m - d$)

Les vitesses

En navigation , l'unité de vitesse est le **NŒUD (kt)**

(kt : knot en anglais)

1 nœud = 1mille nautique par heure

1 Kt = 1 NM /h

1Kt = 1.852 Km/h

Exemples :

Un avion qui vole à la vitesse de 100 kt ; sa vitesse est de 185 km/h

Un avion en finale à la vitesse de 120 km/h ; sa vitesse est de 65 kt

On appelle : vitesse propre (V_p) la vitesse de l'avion par rapport à la masse d'air qui l'entoure

Le vent est le déplacement de cette masse d'air par rapport au sol .

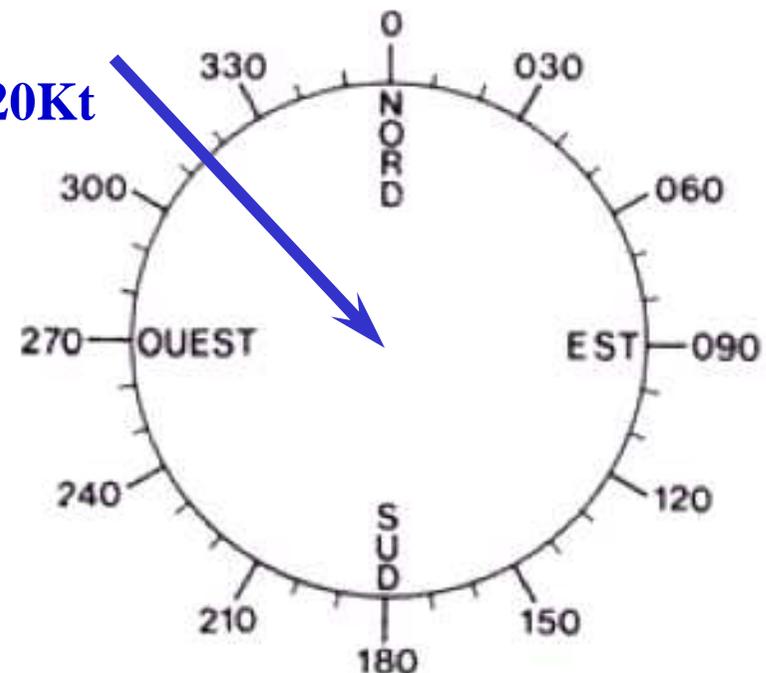
On appelle : vitesse Sol (V_s) la vitesse de l'avion par rapport au sol .

Les services météo donnent la vitesse du vent en kt et la direction d'où il vient en $^{\circ}$

Exemple :

On donne un vent : $V_w = 315^{\circ} / 20Kt$

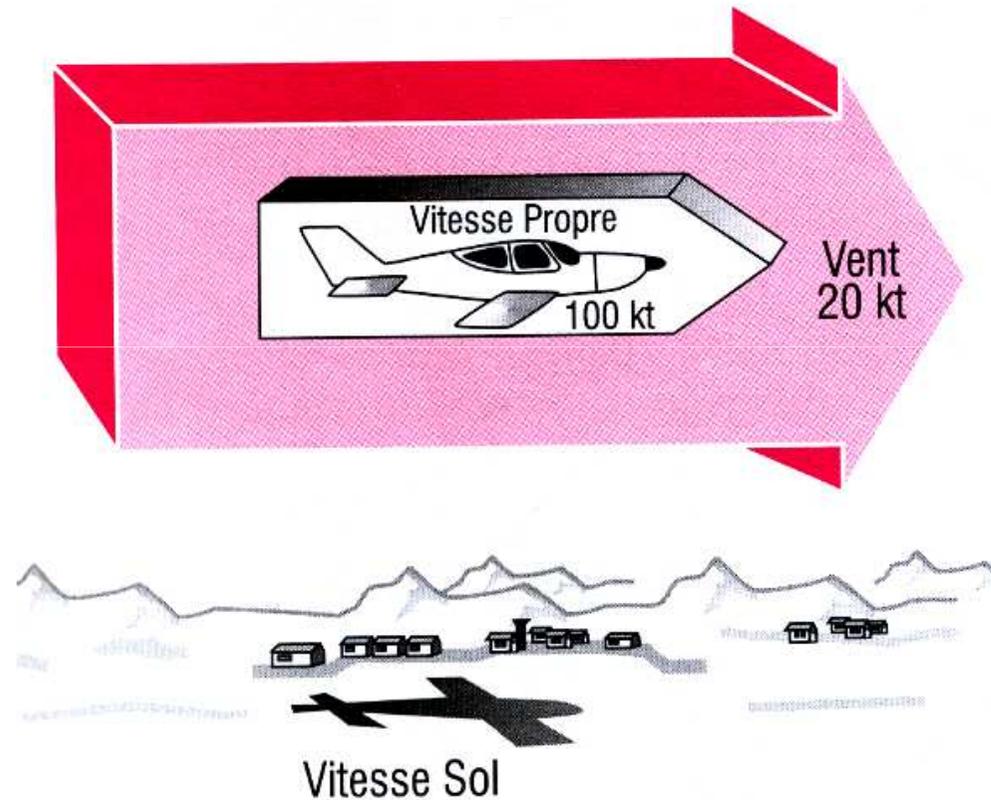
vent du 315° de 20Kt



1er cas:

L'avion vole au cap 090° sa vitesse propre est de 100kt .

Il subit un vent du 270° (vent d'ouest) pour 20kt

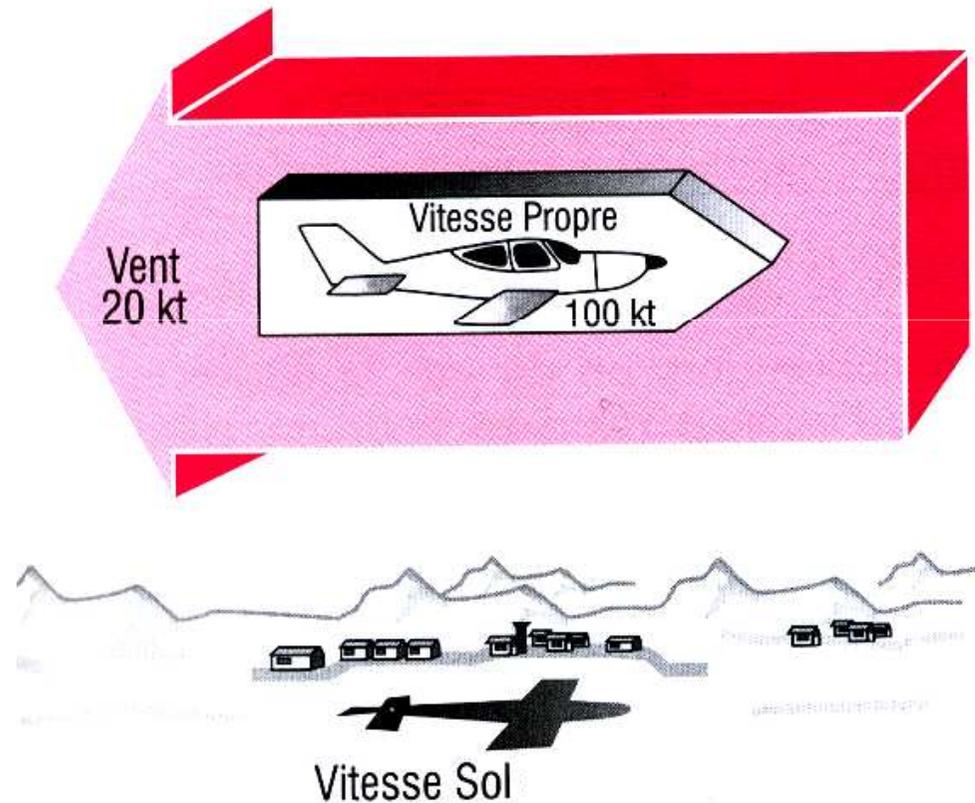


Sa vitesse sol (V_s) est de : $100 \text{ kt} + 20 \text{ kt} = \underline{120\text{kt}}$

2ème cas :

L'avion vole au cap 090° sa vitesse propre (V_p) est de 100kt .

Il subit un vent du 090° (vent d'est) pour 20kt

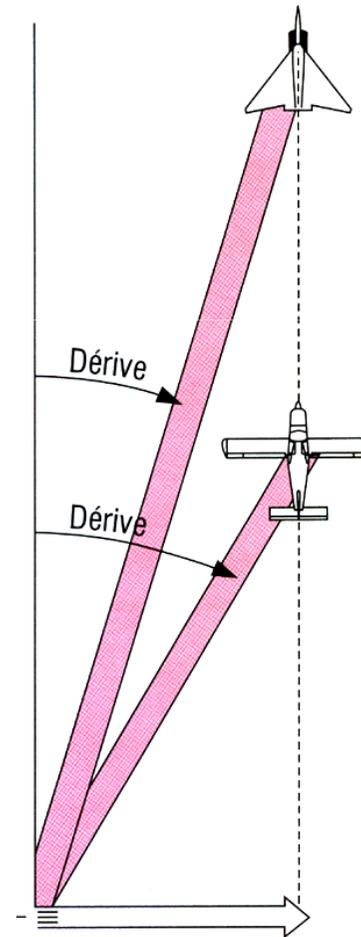
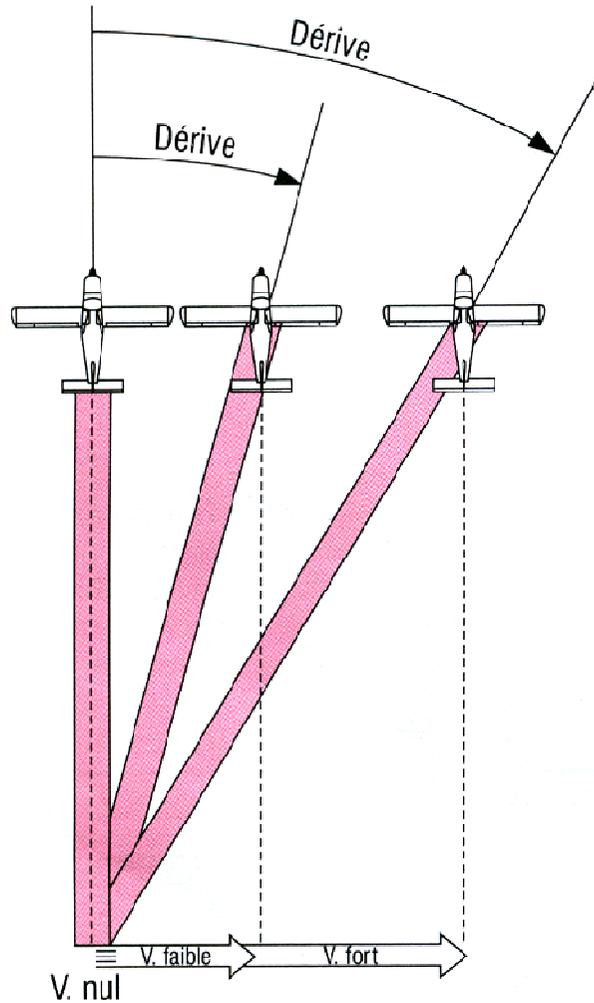


Sa vitesse sol (V_s) est de : $100 \text{ kt} - 20 \text{ kt} = \underline{80 \text{ kt}}$

3ème cas :

L'avion vole cap au Nord ; il subit un vent d'ouest :

Ce vent de travers va provoquer une dérive (X) qui est l'angle entre le cap de l'avion et la route



4ème cas : (cas général)

L'avion suit une route qui n'est ni parallèle ni perpendiculaire au vent :

On décompose le vent réel en deux composantes :

Le vent traversier V_t Perpendiculaire à la route

Le vent effectif V_e Parallèle à la route

Exemple de calcul de VT et Ve :

Route de l'avion = 045°

vent réel : $(V_w) = 315^\circ$ 20kt

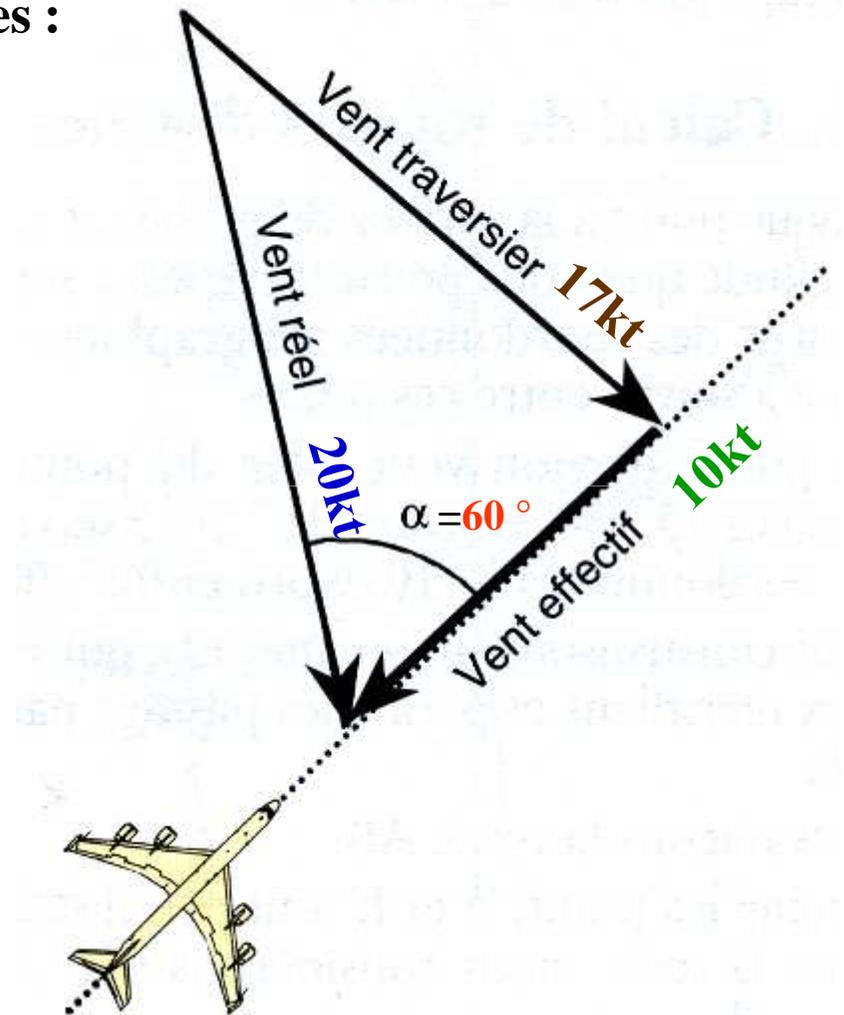
Angle au vent $\alpha = 60^\circ$

Calcul du vent effectif :

$$V_e = V_w \cdot \cos \alpha = 20 \times 0,5 = \underline{10 \text{ Kt}}$$

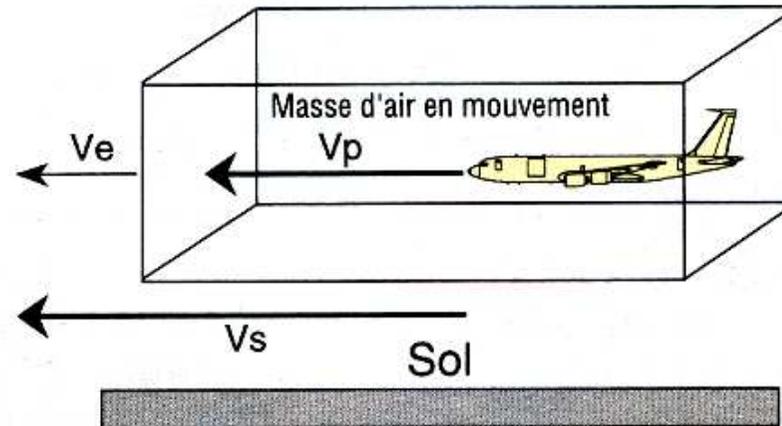
Calcul du vent traversier :

$$V_t = V_w \cdot \sin \alpha = 20 \times 0,87 = \underline{17 \text{ Kt}}$$



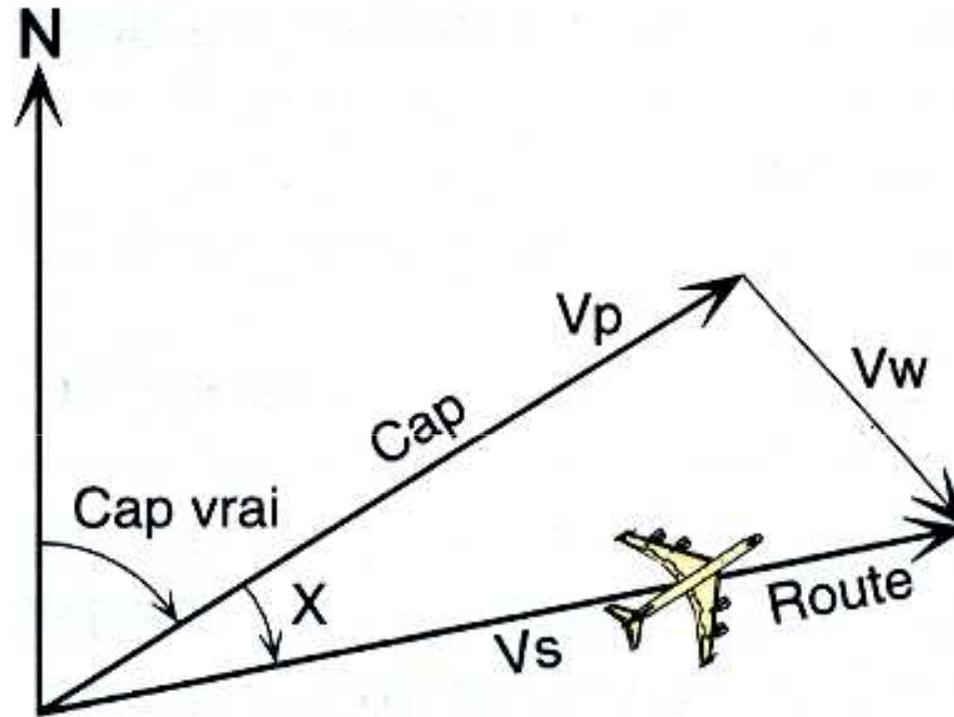
La valeur du vent effectif permet de calculer la vitesse sol de l'avion .

$$V_s = V_p \pm V_e$$



La valeur du vent traversier permet de calculer la dérive de l'avion .

Le triangle des vitesses



Nv : nord vrai

Nm : nord magnétique

Dm: déclinaison magnétique

Rv : route vraie

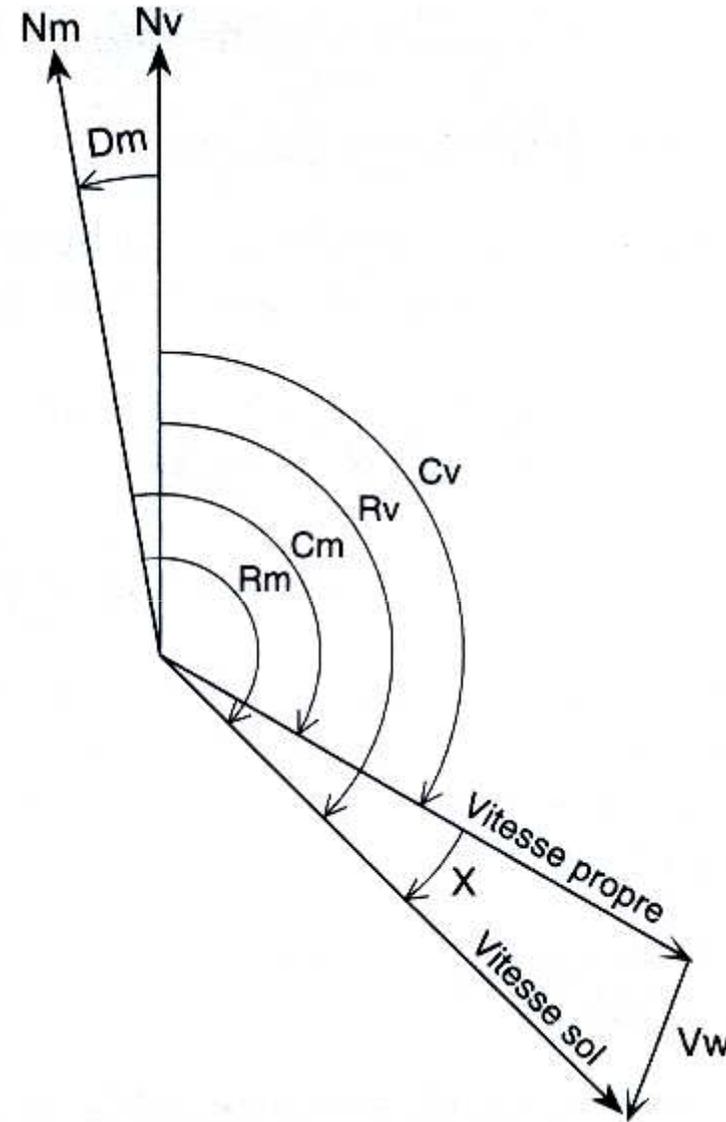
Rm : route magnétique

Cv : cap vrai

Cm: cap magnétique

Vw : vent

X : dérive

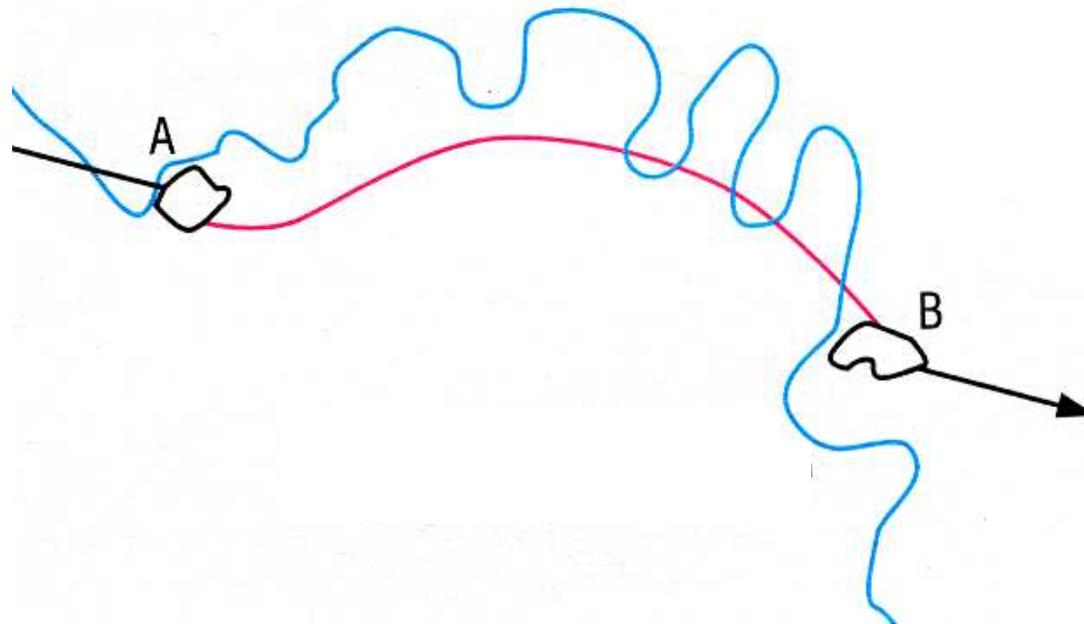


Les modes de navigation

Le cheminement :

Le cheminement consiste à suivre au sol ,des lignes caractéristique bien visibles de l'avion:

Cela peut être : une autoroute ; un fleuve ; une voie ferrée ; une cote



La navigation à l'estime :

Méthode basée sur l'utilisation du compas et de la montre :

Principe :

Connaissant une position de départ , il s'agit de déterminer le cap à prendre et de calculer l'heure estimée d'arrivée sur un point caractéristique ou sur l'aérodrome de destination .

Calcul du temps sans vent : (T.S.V)

C'est le temps nécessaire à un avion pour parcourir la distance entre deux repères A et B

$$TSV = \frac{\text{DistanceAB}}{\text{Vitesse}}$$

Formule difficile à utiliser en vol

Dans la pratique le temps sans vent se calcul en utilisant le Facteur de base

Facteur de base = temps nécessaire (en minute) pour parcourir 1 NM

$$\mathbf{Fb = \frac{60}{Vp}}$$

$$\mathbf{TSV = Distance . Fb}$$

min

NM

min / NM

Exemple : un avion vole à 100Kt :

Son facteur de base est de $60/ 100 = \underline{0.6}$

Le temps mis par cet avion pour parcourir 8Nm = $8 \times 0.6 = \underline{4.8 \text{ min}}$

Le facteur de base sert aussi à calculer l'angle de dérive

Angle de dérive = facteur de base x vent traversier

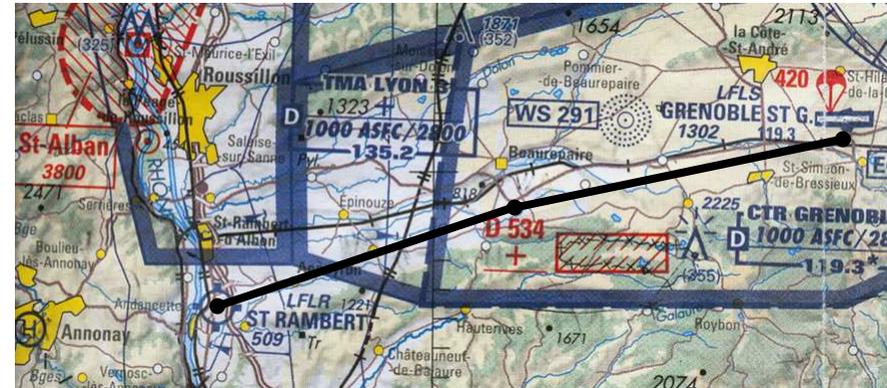
$$\mathbf{X = Fb . Vt}$$

Exemple: navigation à l'estime de Grenoble St Geoirs à St Rambert

Log (journal) de navigation :

Point de compte rendu	Rm	Dist (NM)	Temps sans vent	Heure estimée	Heure réelle
St geoirs					9h23
	260°	12	7'		
Beurepaire				9h30	9h31
	250°	10	6'		
St Rambert				9h37	9h37
Total		22	13'		

Tracé de la route



Déroulement de la navigation :

En chaque point :

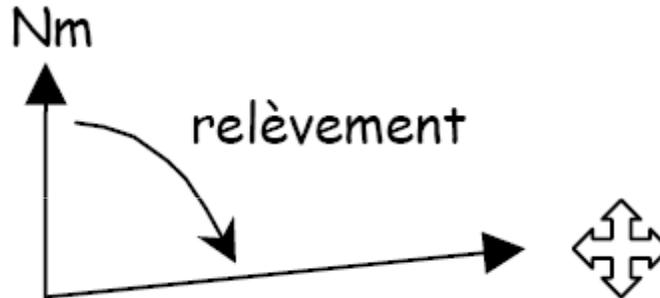
On note l'heure de passage à la verticale du point à la minute près

On calcul l'heure estimée de passage à la verticale du point suivant.

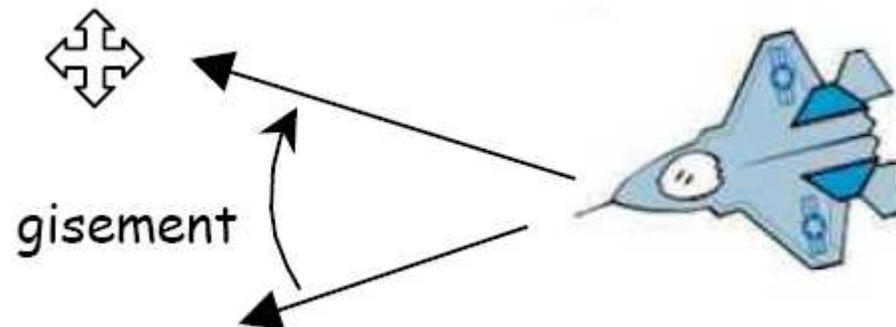
La radionavigation :

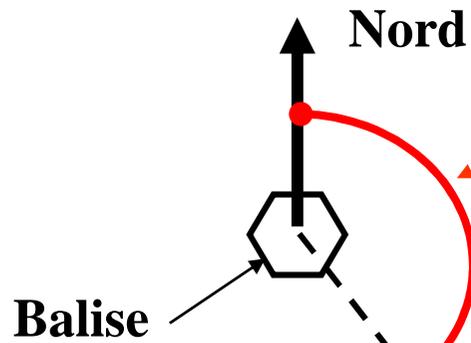
La radio navigation consiste pour le pilote à situer son avion par rapport à une balise (station) qui émet des ondes radio .

On appelle Relèvement l'angle compris entre le nord et la droite passant par la balise et l'avion



On appelle Gisement (Gt) l'angle compris entre la ligne de fois de l'avion la droite passant par la balise et l'avion



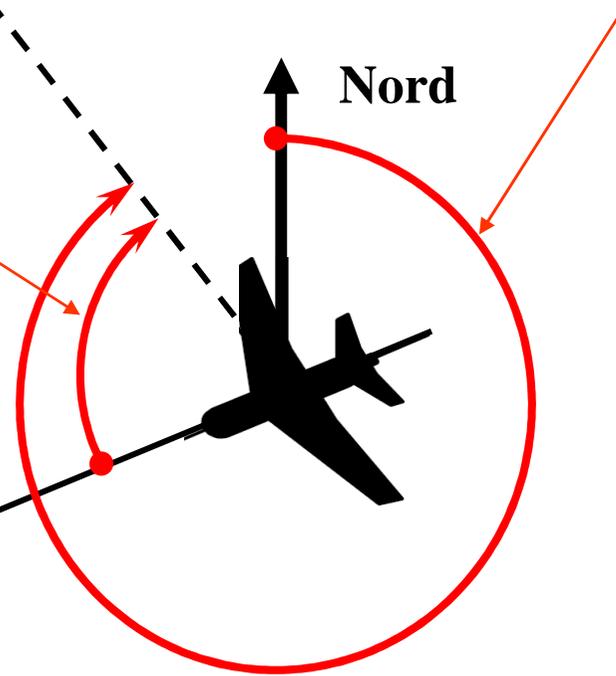


QDR : relèvement de l'avion par la balise = route magnétique à suivre pour s'éloigner de la balise

QDM : relèvement de la balise par l'avion = route magnétique à suivre pour rejoindre la balise

Gisement Gt

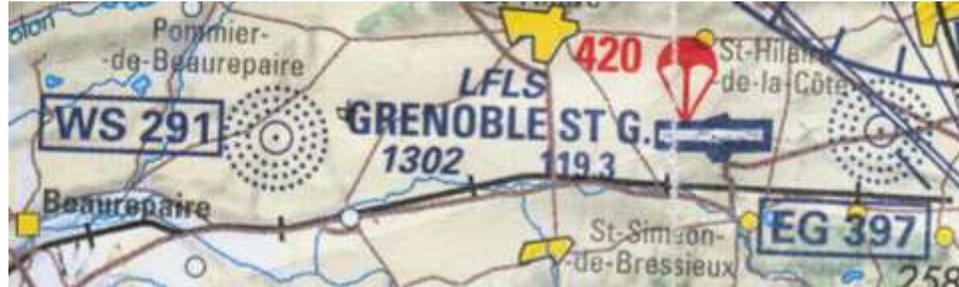
Ligne de foi de l'avion



Le radio-compass ADF

La station au sol :

l'émission se fait dans la plage des moyennes fréquences de 200 à 2000 KHz



Le récepteur de bord:

Le boîtier permet de sélectionner la fréquence de la balise choisie :



L'indicateur :



Utilisation du radio compas :

On lit sur l'indicateur, le gisement qui est l'angle entre le « Nez » de l'avion et la direction de la station

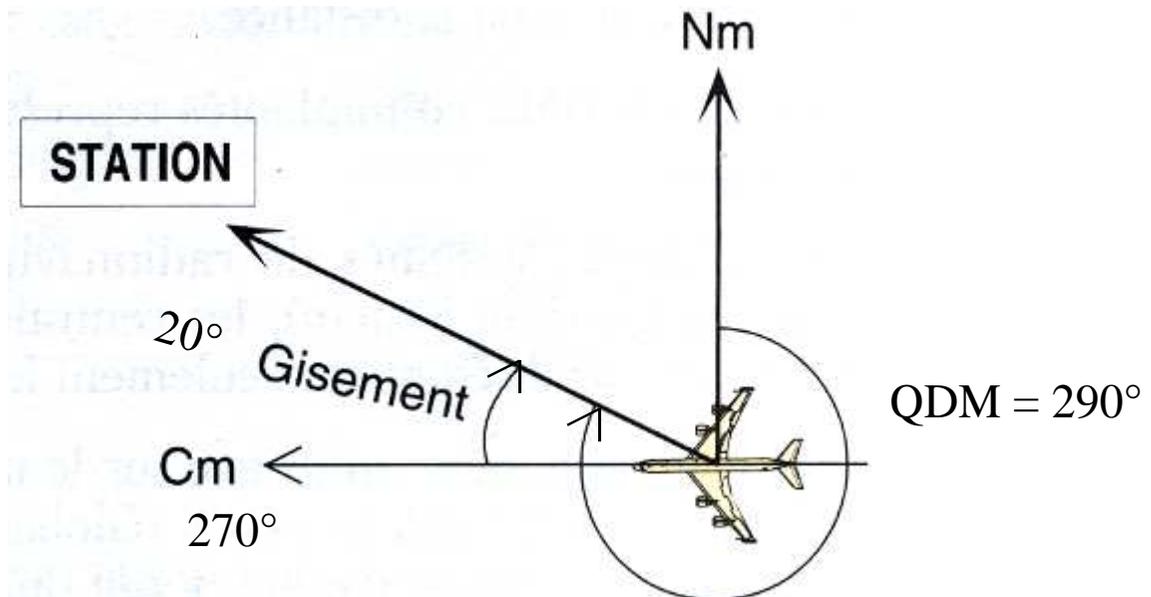
Dans cet exemple le gisement $Gt = 20^\circ$

On peut calculer le QDM qui est la route à suivre pour rejoindre la station :
Il faut ajouter le gisement au cap magnétique de l'avion

$$QDM = Gt + Cm$$

Si l'avion vole au cap 270° (ouest) :

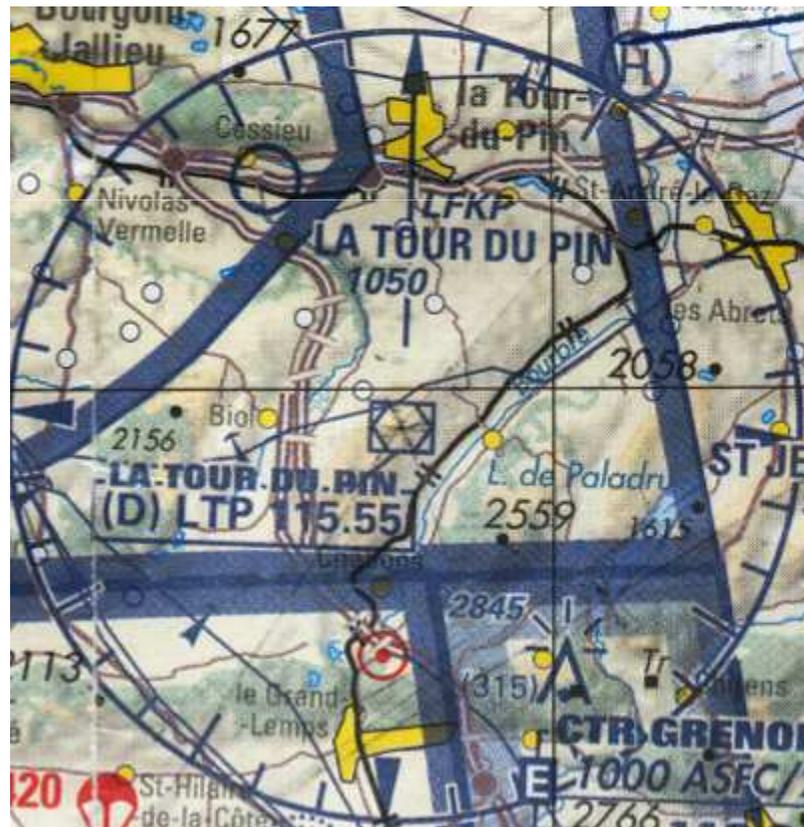
$$QDM = 270 + 20 = 290^\circ$$



Le VOR

La station au sol :

L'émission se fait en VHF de 108 à 117.95 MHz Le signal émis est modulé de telle sorte que le signal reçu par l'avion diffère en fonction de la position de l'avion .



Le récepteur de bord:

Le boîtier permet de sélectionner la fréquence de la balise choisie :



L'indicateur :

L'aiguille mobile représente la route sélectionnée

Le rond central représente l'avion

Le bouton OBS permet de sélectionner la route choisie en faisant tourner la couronne graduée

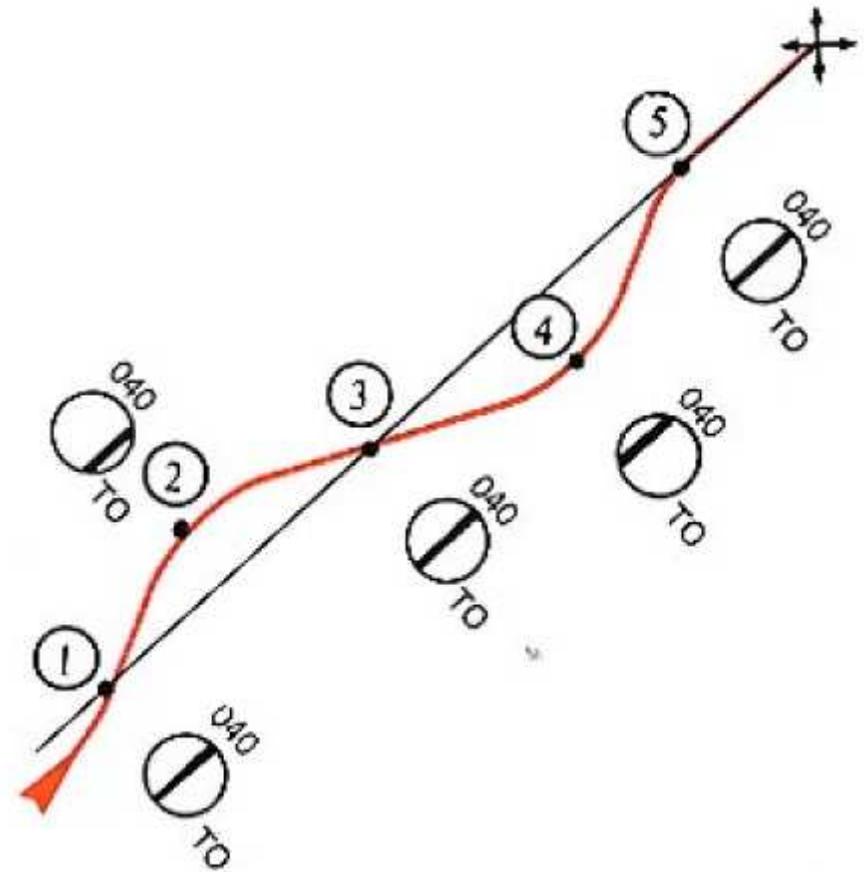


La mention To/From signifie que l'on est en **rapprochement/éloignement** de la station (QDM/QDR)

Exemple d'utilisation du VOR

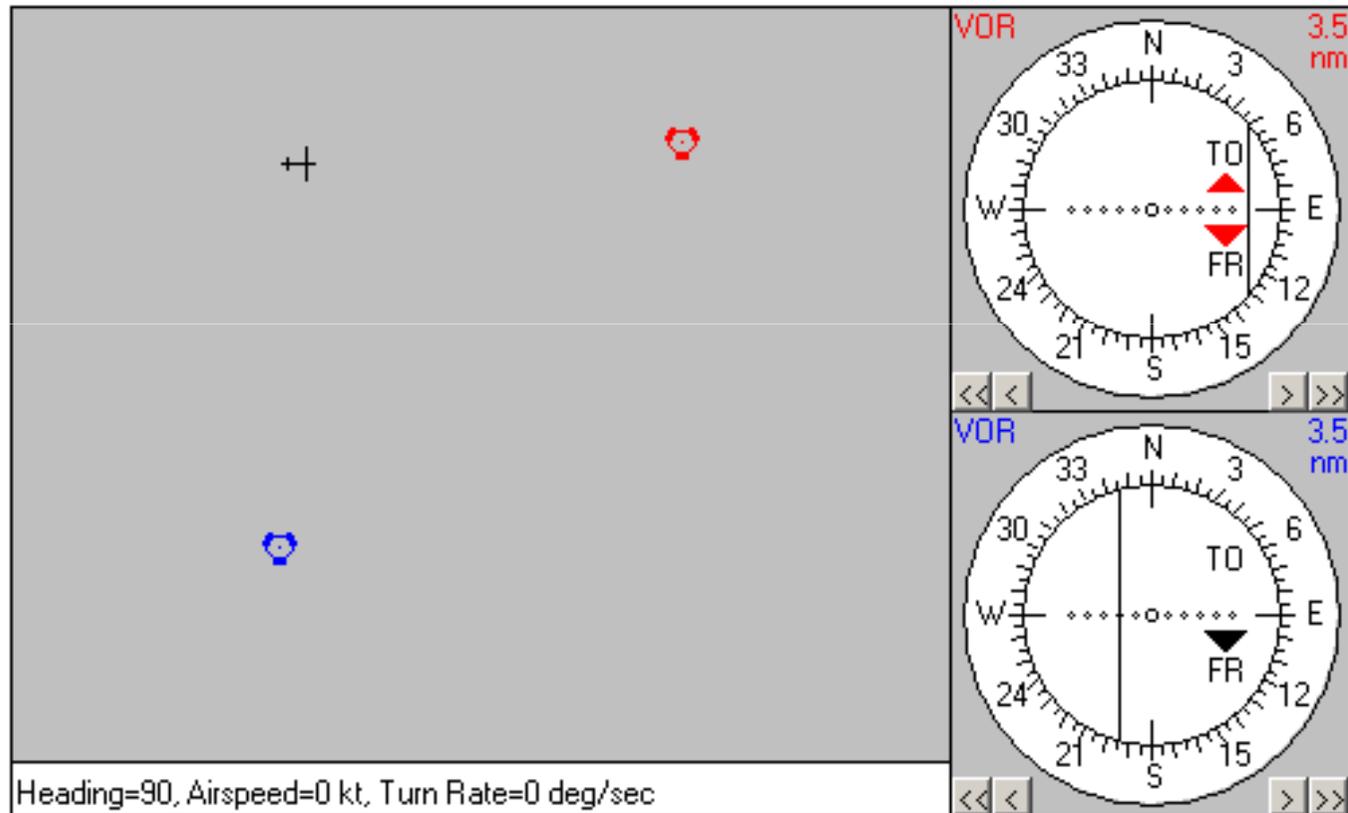
Vous êtes au sud-ouest de la station sur l'axe 040° que vous voulez suivre (QDM 040 °) :

- (1) Tant que vous restez sur l'axe 040° l'aiguille reste centrée**
- (2) L'aiguille est à droite, Il faut corriger à droite pour revenir sur l'axe**
- (3) L'aiguille est à nouveau centrée, vous êtes revenu sur l'axe**
- (4) L'aiguille est à gauche, Il faut corriger à gauche pour revenir sur l'axe**
- (5) L'aiguille est à nouveau centrée, vous êtes revenu sur l'axe**



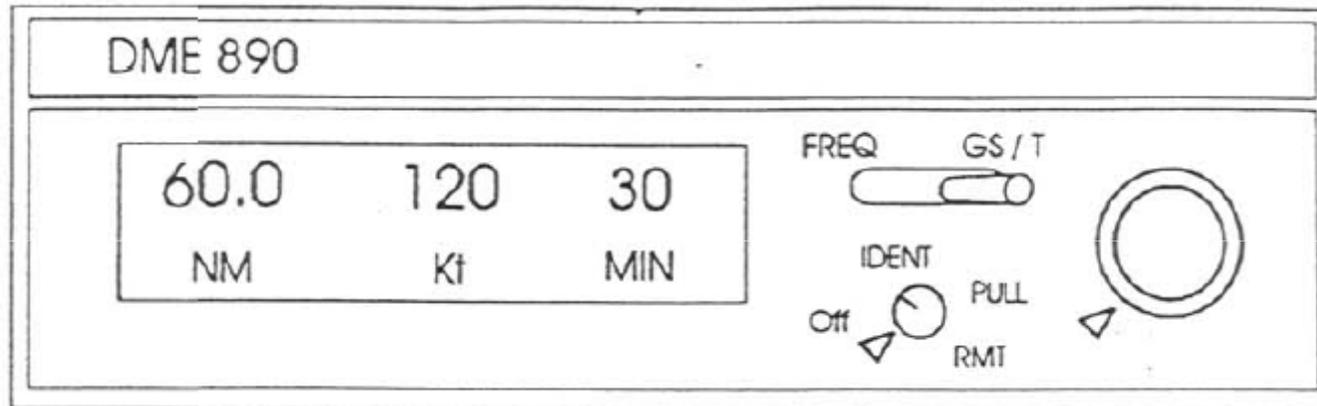
Exemples d'utilisation du VOR

Simulateur de radio-navigation



Le DME

Cet appareil mesure la distance entre l'avion et la station. Il renseigne aussi sur la vitesse et le temps nécessaire pour rejoindre la station .



L'émetteur VOR et l'émetteur DME sont souvent associés .

Le VDF (ou Gonio)

Principe : Le pilote envoie un message par radio à la tour de contrôle :

Grenoble Gonio de FGLKU pour un QDM vers vous , répondez

La direction d'émission est relevée par le contrôleur :

Par exemple : 180°

le contrôleur communique au pilote le QDM à suivre :

FGLKU Prenez le QDM 360° ...

Le GPS

Systeme de navigation qui donne la position de l'avion à partir de données issues des satellites artificiels .

Systeme très précis et simple d'emploi mais dont les informations doivent être confirmées par d'autres moyens de navigation