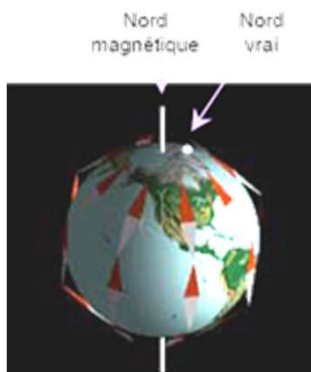
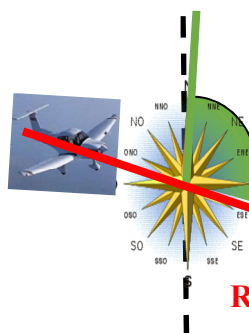
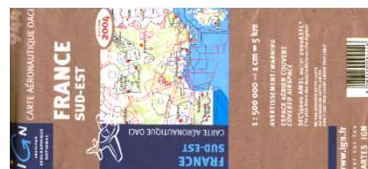
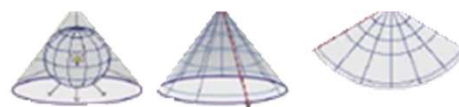
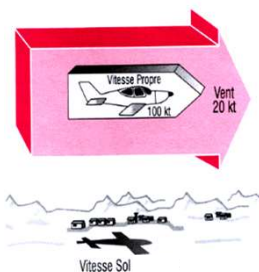




4. Navigation, Réglementation, Sécurité des vols

4.1 La Navigation Version Août 2025



Route magnétique: $106^\circ - 1^\circ = 105^\circ$

Route Vraie = 106°



Pour faire voler l'avion et aller là où il veut aller, le pilote a besoin de plusieurs outils et instruments de vol

Si le pilote voit le sol (VFR) il peut utiliser:

- ses yeux !
- une carte
- une boussole (compas)
- une montre
- un altimètre
- un variomètre
- un anémomètre
- un conservateur de cap
- un GPS ou GNSS



Quand le pilote ne voit pas le sol (IFR), il doit utiliser des instruments supplémentaires.

- Horizon artificiel
- ILS, VOR, DME, NDB, ...



Les outils de la navigation

La sphère terrestre

Grand et petit cercle

Méridiens et Longitude, Parallèles et Latitude

Coordonnées d'un point sur terre

Cartes Aéronautiques

Principes de représentation

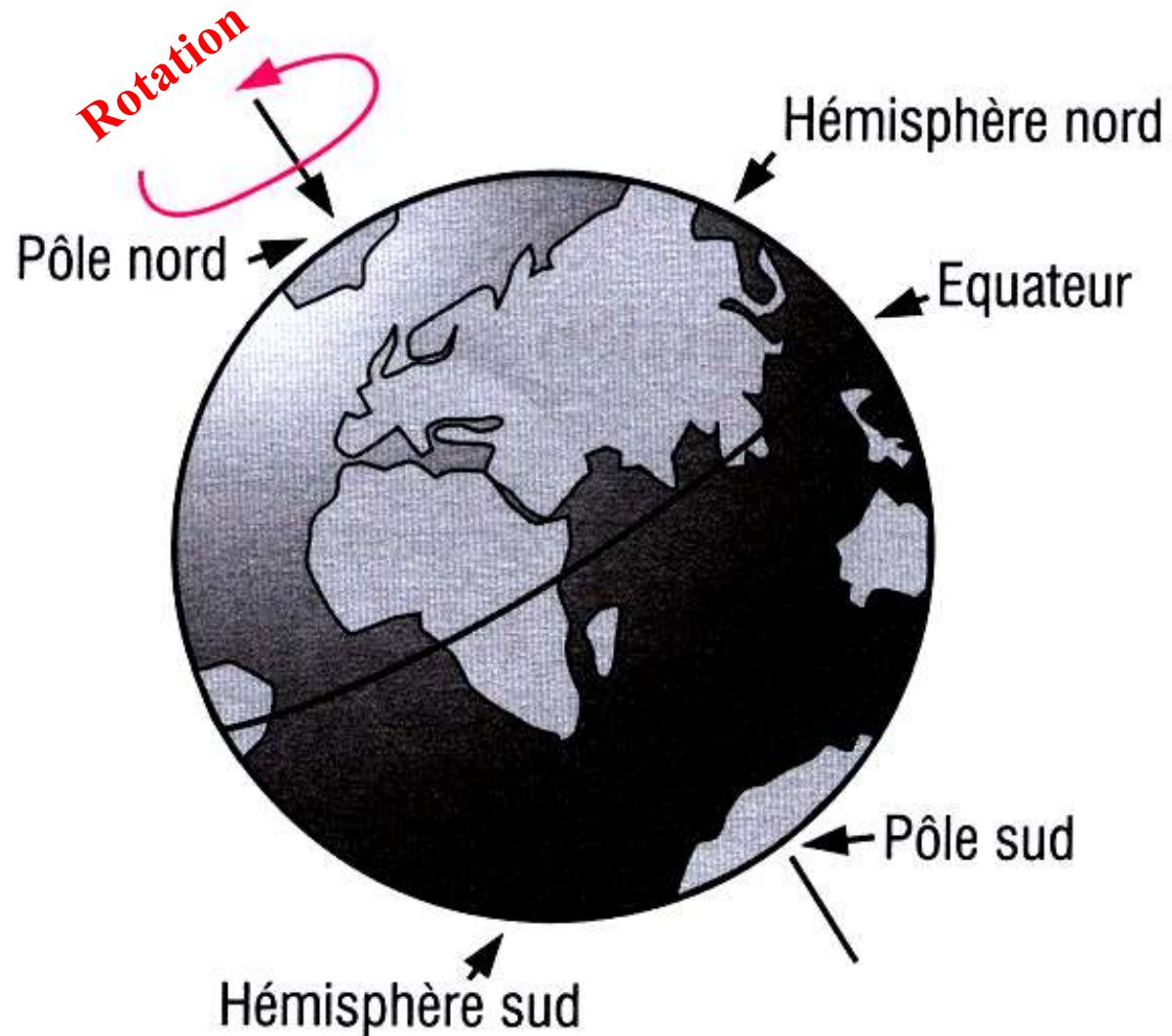
Echelles des cartes

Utilisations

Mesure de distances sur une carte

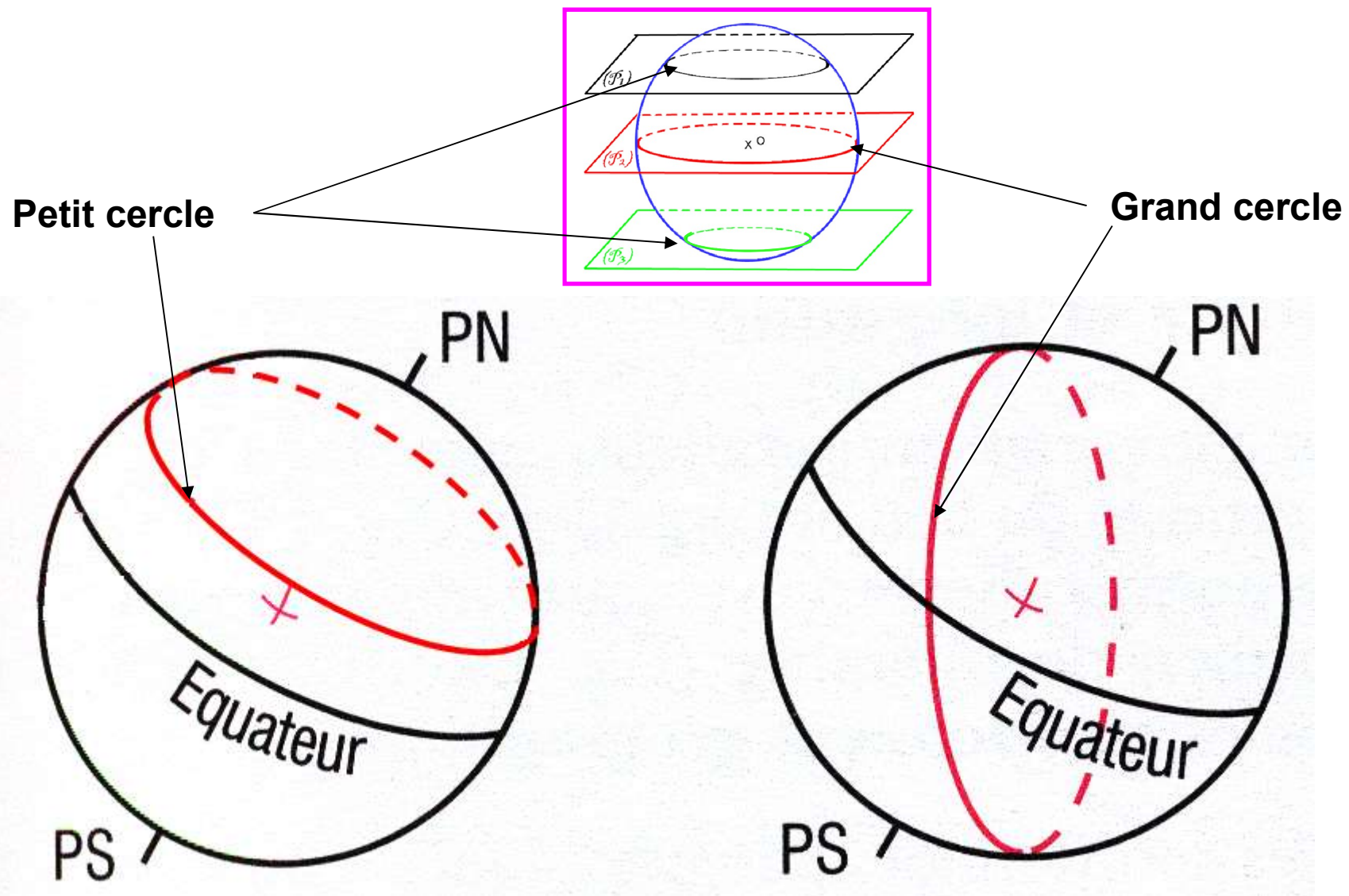
Mesure du temps

La sphère Terrestre



Circonférence de la sphère terrestre = 40 000 Km

Notion de grand cercle et de petit cercle

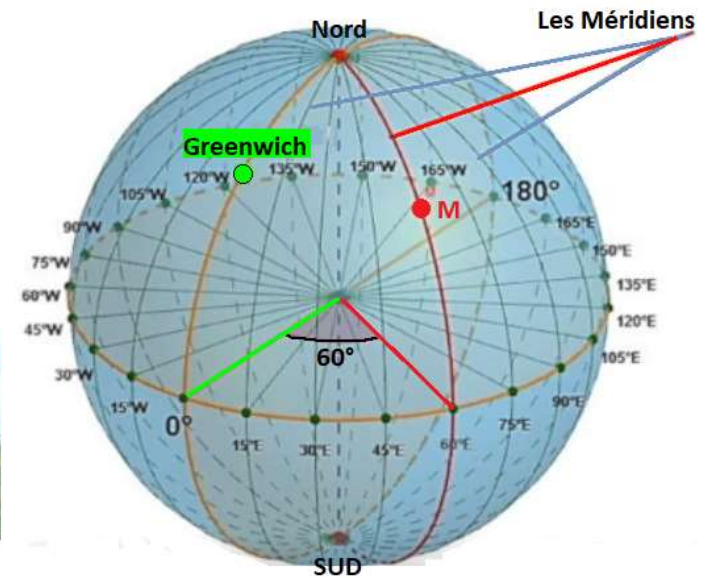


Méridiens et Longitude

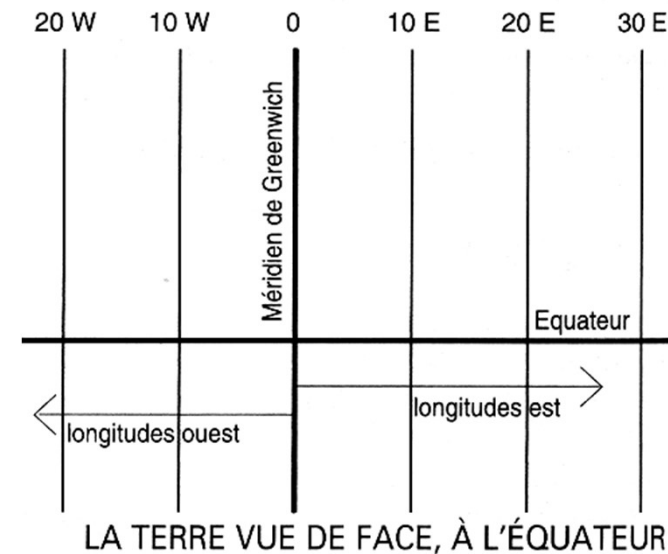
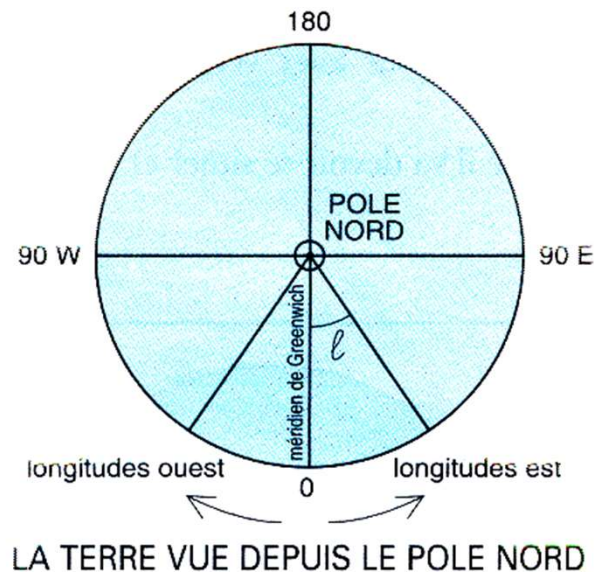
Les méridiens sont des $\frac{1}{2}$ grands cercles

Le méridien d'origine est le méridien de Greenwich .

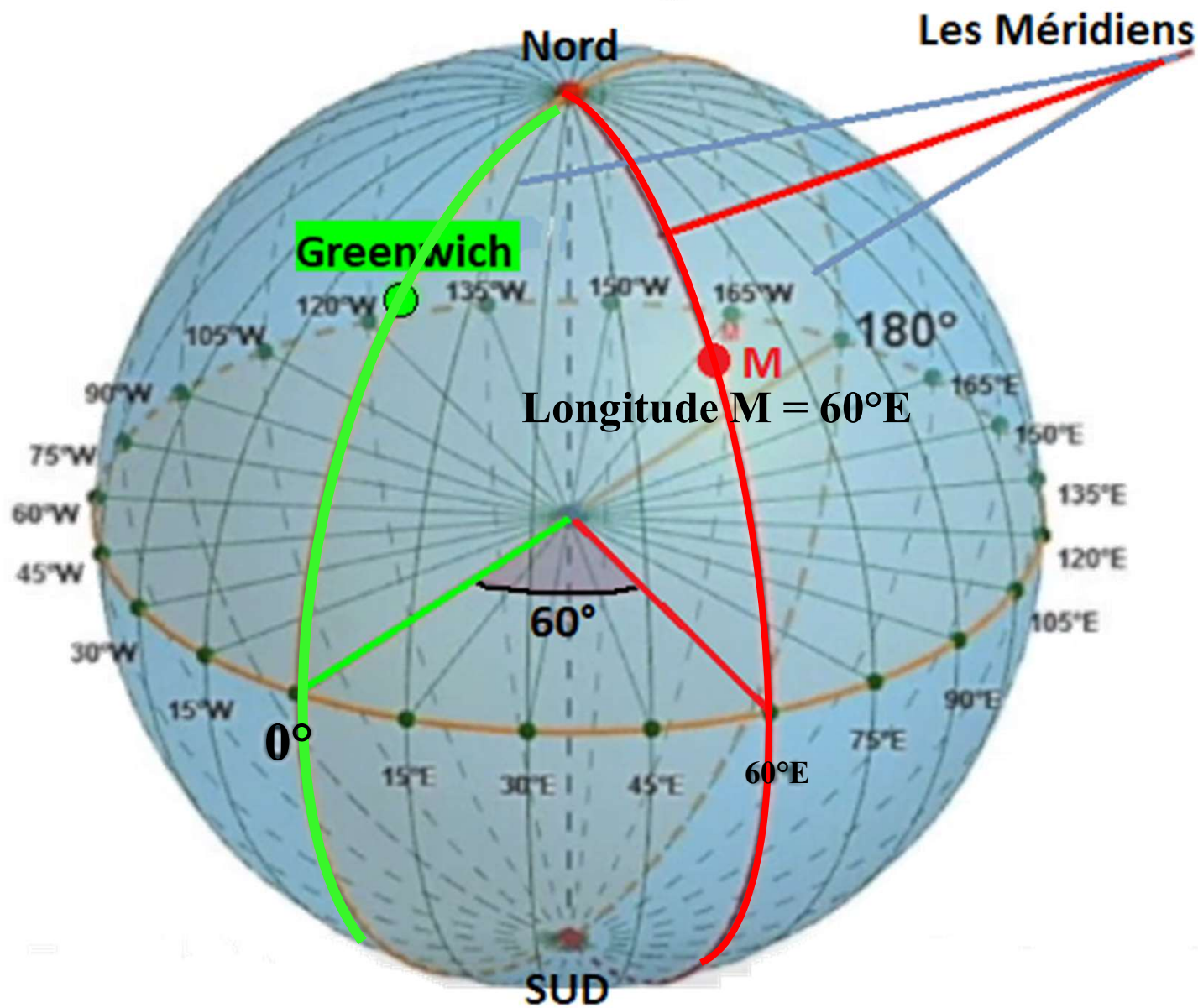
Sa longitude est de 0°



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



Méridiens et Longitude

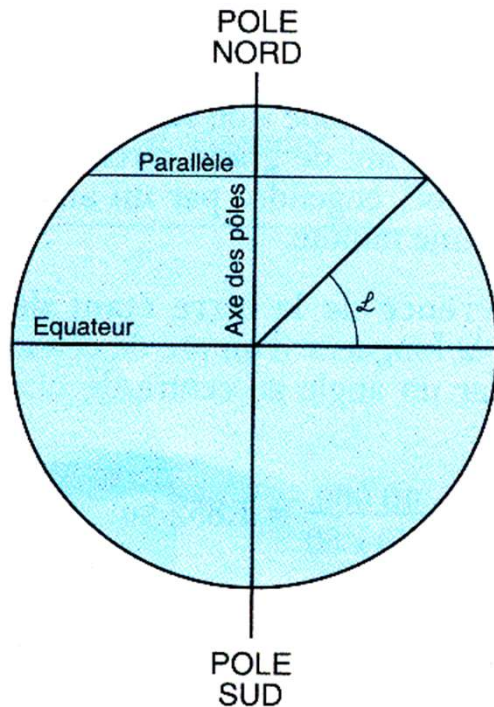


Parallèles et Latitude

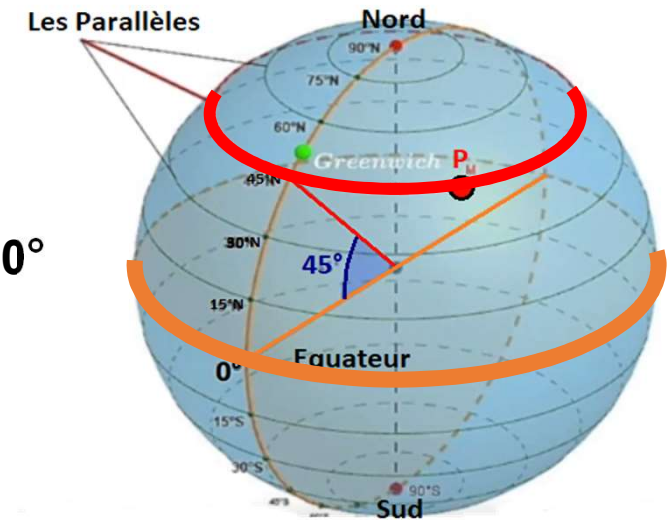
Les Parallèles sont des petits cercles.

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

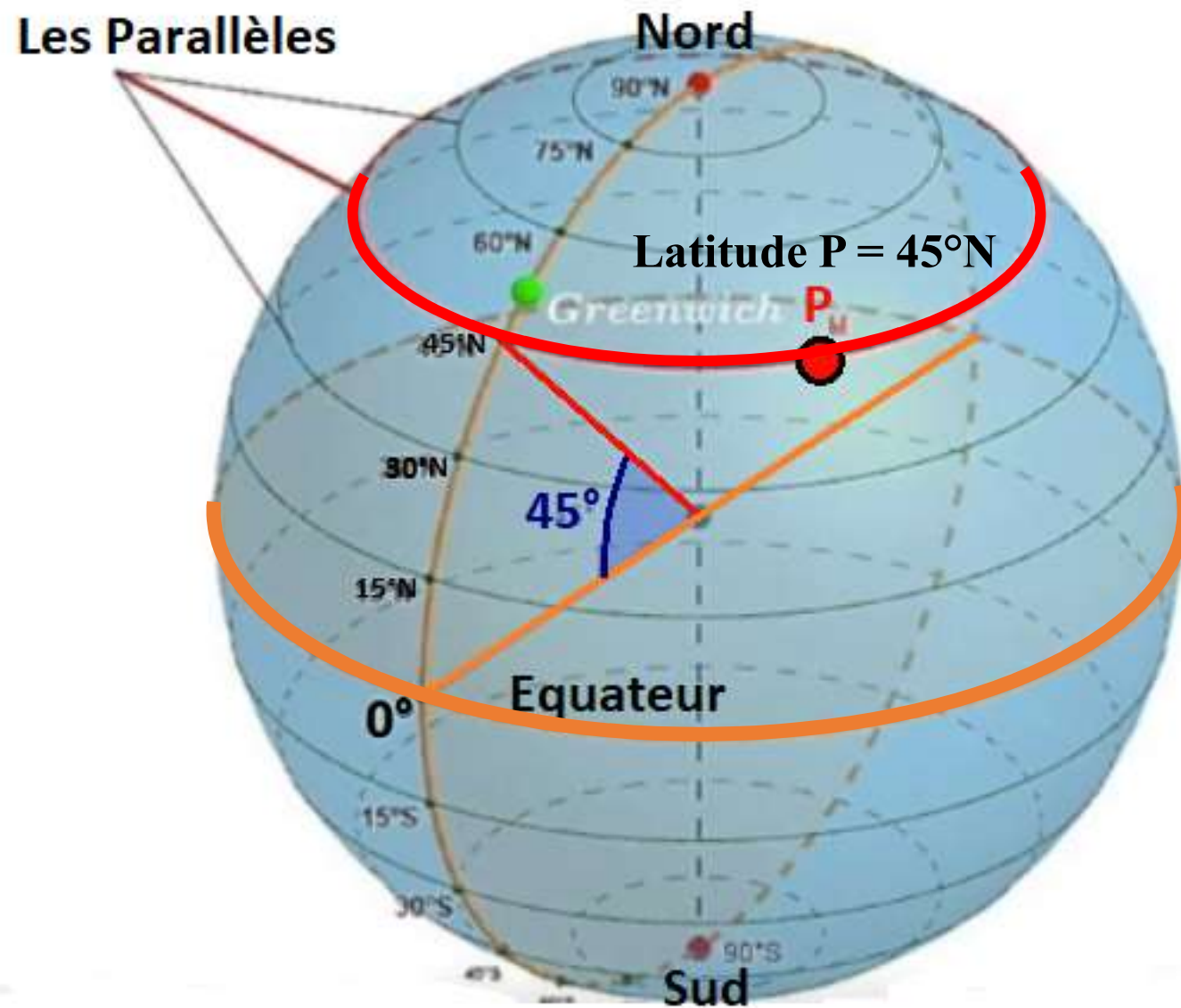
Latitude (L) = angle entre l'équateur et le point



LA TERRE VUE EN COUPE SUIVANT L'AXE DES PÔLES



Parallèles et Latitude



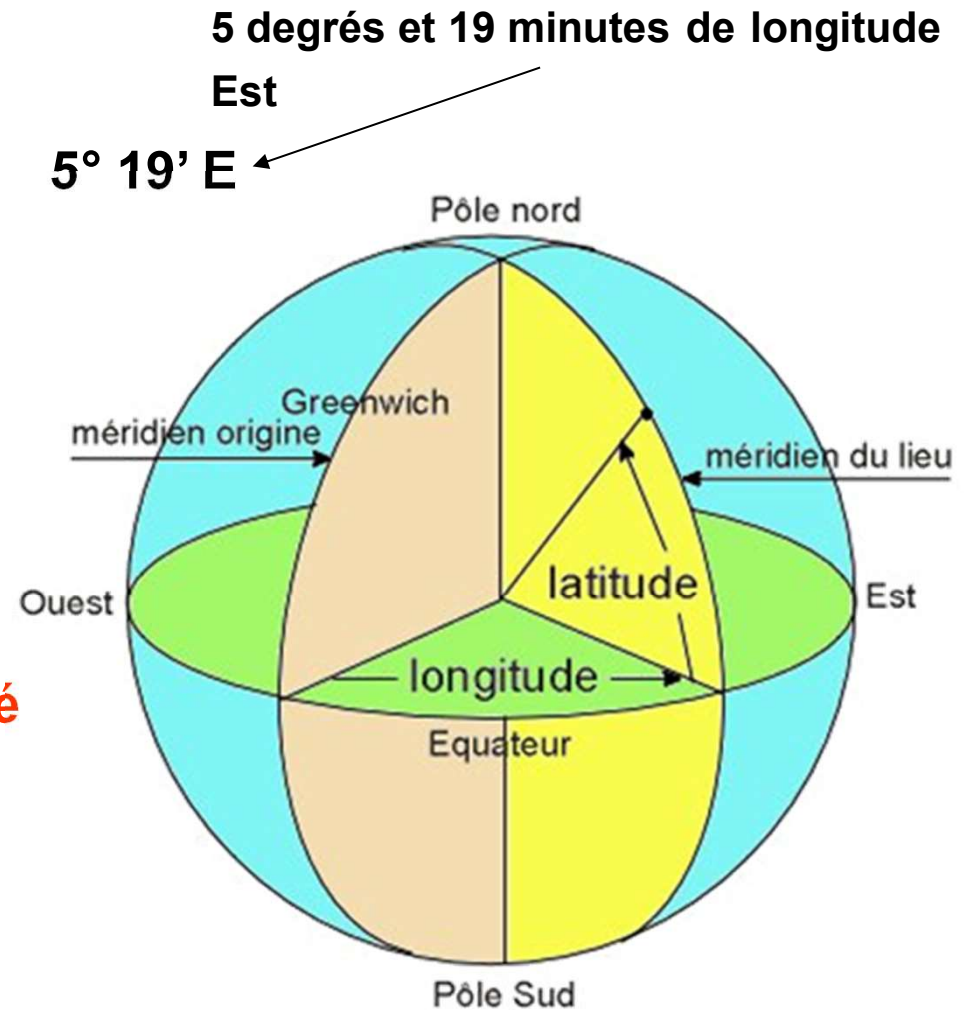
Coordonnées d'un point sur la terre

Exemple :

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

45 degrés et 22 minutes de Latitude
Nord

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



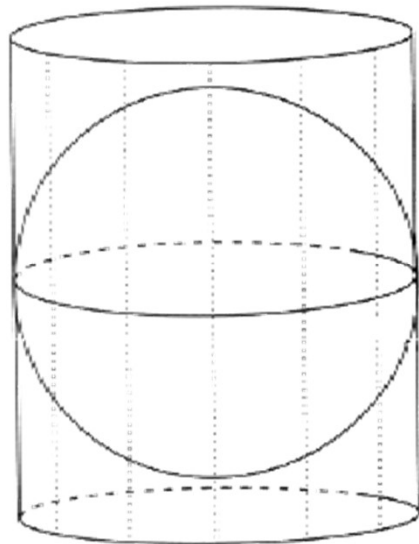
Aéroport de Reykjavik (Islande) : $64^{\circ} 8.20' \text{ N}$; $21^{\circ} 56.34' \text{ W}$

Les cartes aéronautiques:

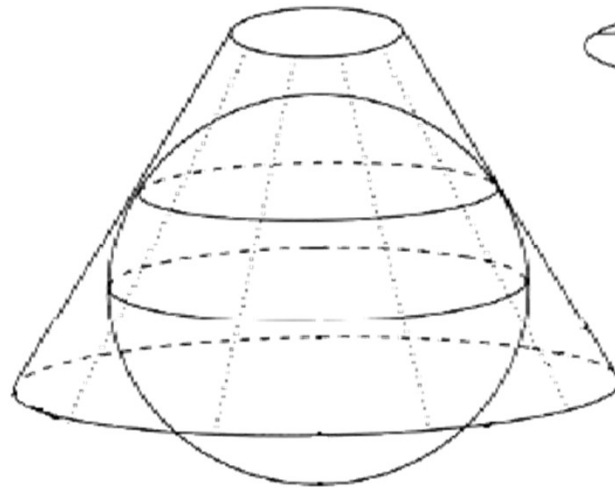
Projection de la réalité

Comment peut on représenter un objet rond sur une surface plate « sans » le déformer?

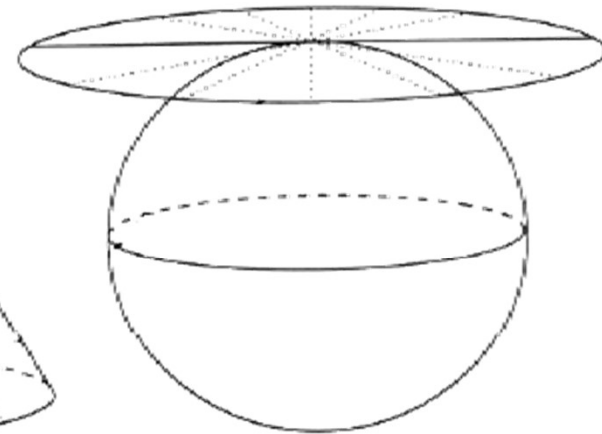
Mercator



Lambert

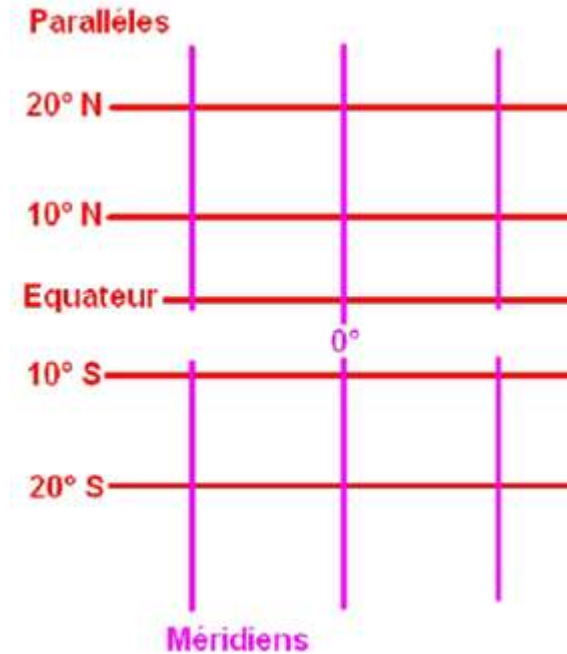
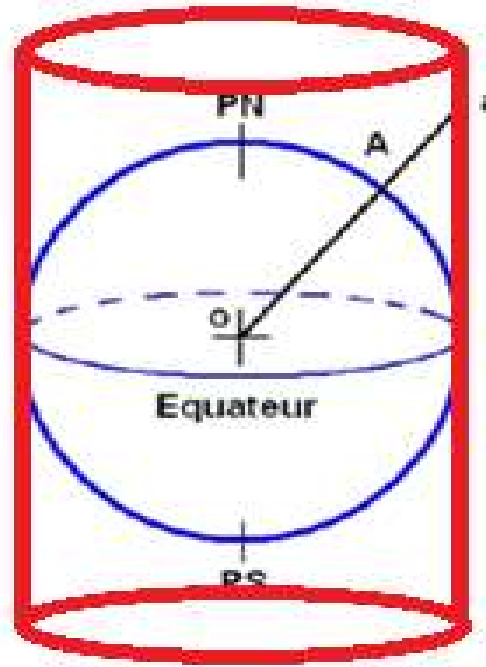
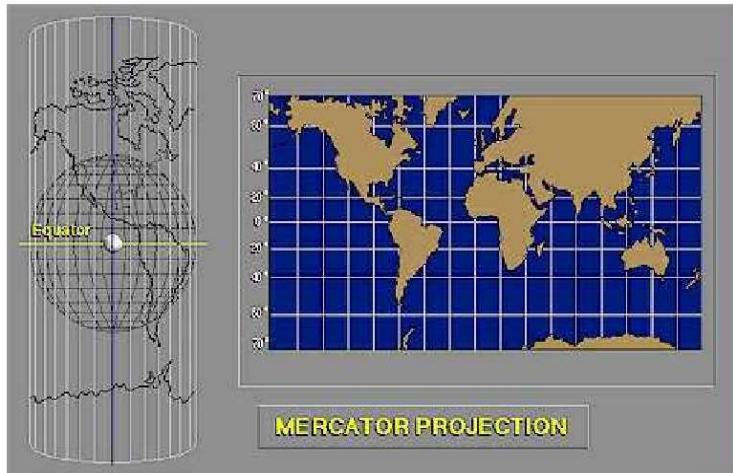


Stéréographique



A-t-on un intérêt à utiliser un type de projection spécifique en Europe?

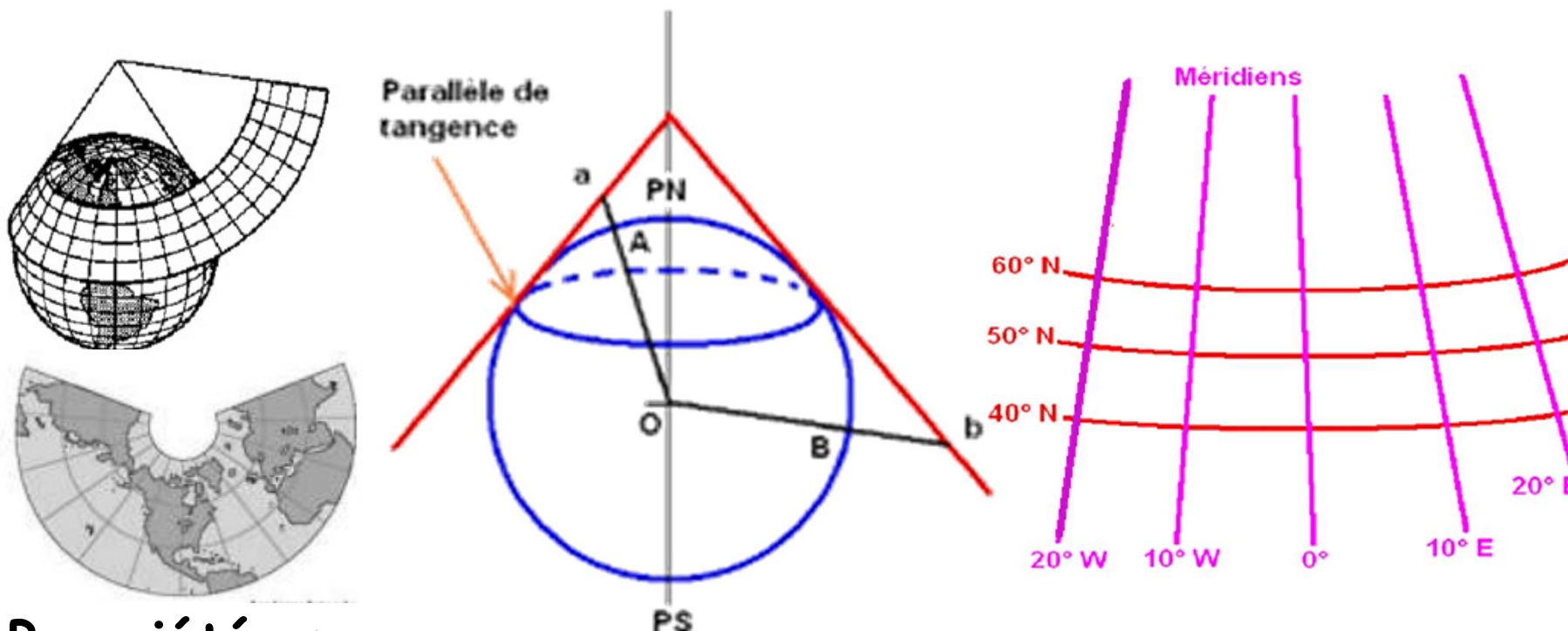
PROJECTION MERCATOR



Propriétés :

- Conforme
- Équidistante **près de l'équateur**
- Méridiens sont des droites parallèles
- Parallèles et méridiens sont perpendiculaires
- Les pôles ne peuvent pas être représentés

PROJECTION DE LAMBERT

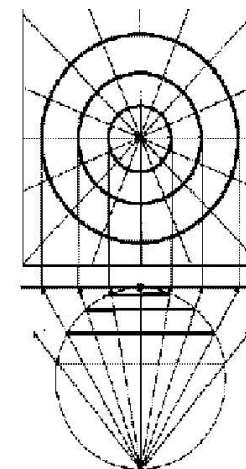
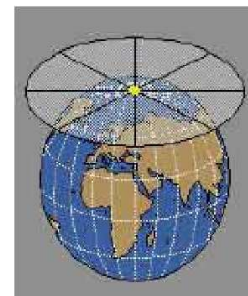
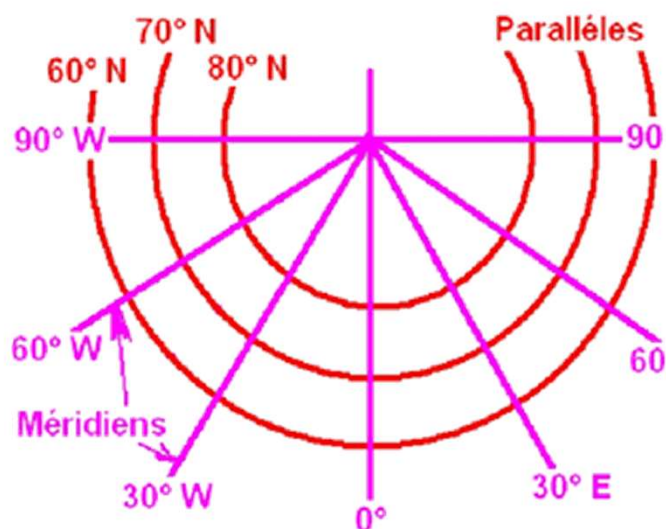
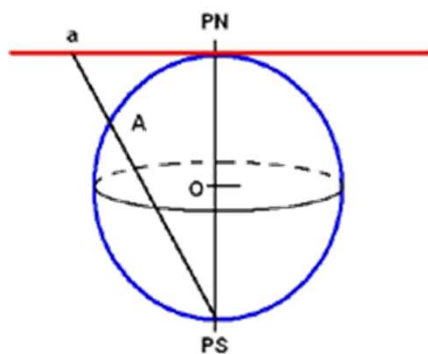


Propriétés :

- ✓ Conforme
- ✓ Équidistante **près du parallèle de tangence**
- ✓ Méridiens sont des droites concourantes
- ✓ Parallèles sont des arcs de cercles
- ✓ Méridiens et parallèles sont perpendiculaires

PROJECTION STEREO-POLAIRE

L'échelle varie peu à proximité du pôle

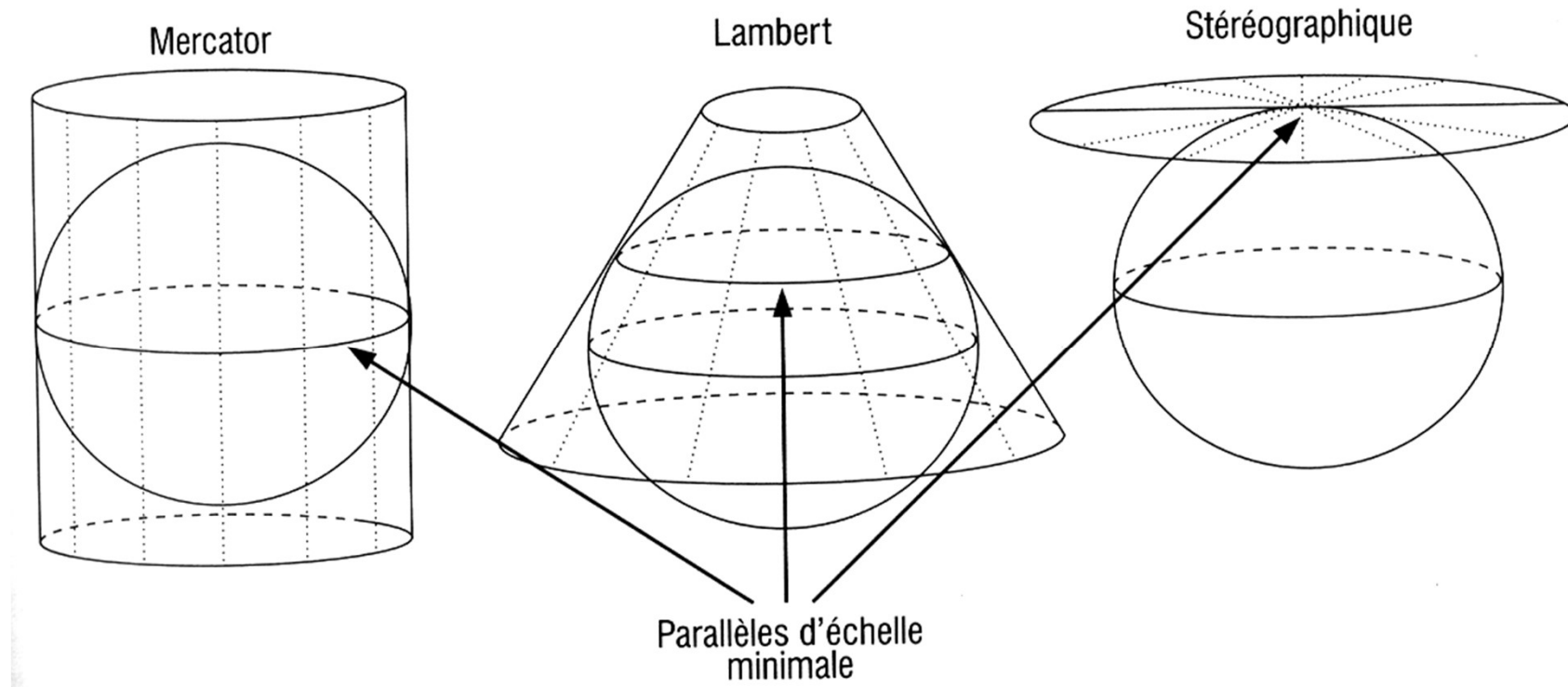


Propriétés :

- ✓ Conforme
- ✓ Équidistante **près du pôle**
- ✓ Méridiens sont des droites sécantes au pôle
- ✓ Parallèles sont des cercles
- ✓ Méridiens et parallèles sont perpendiculaires

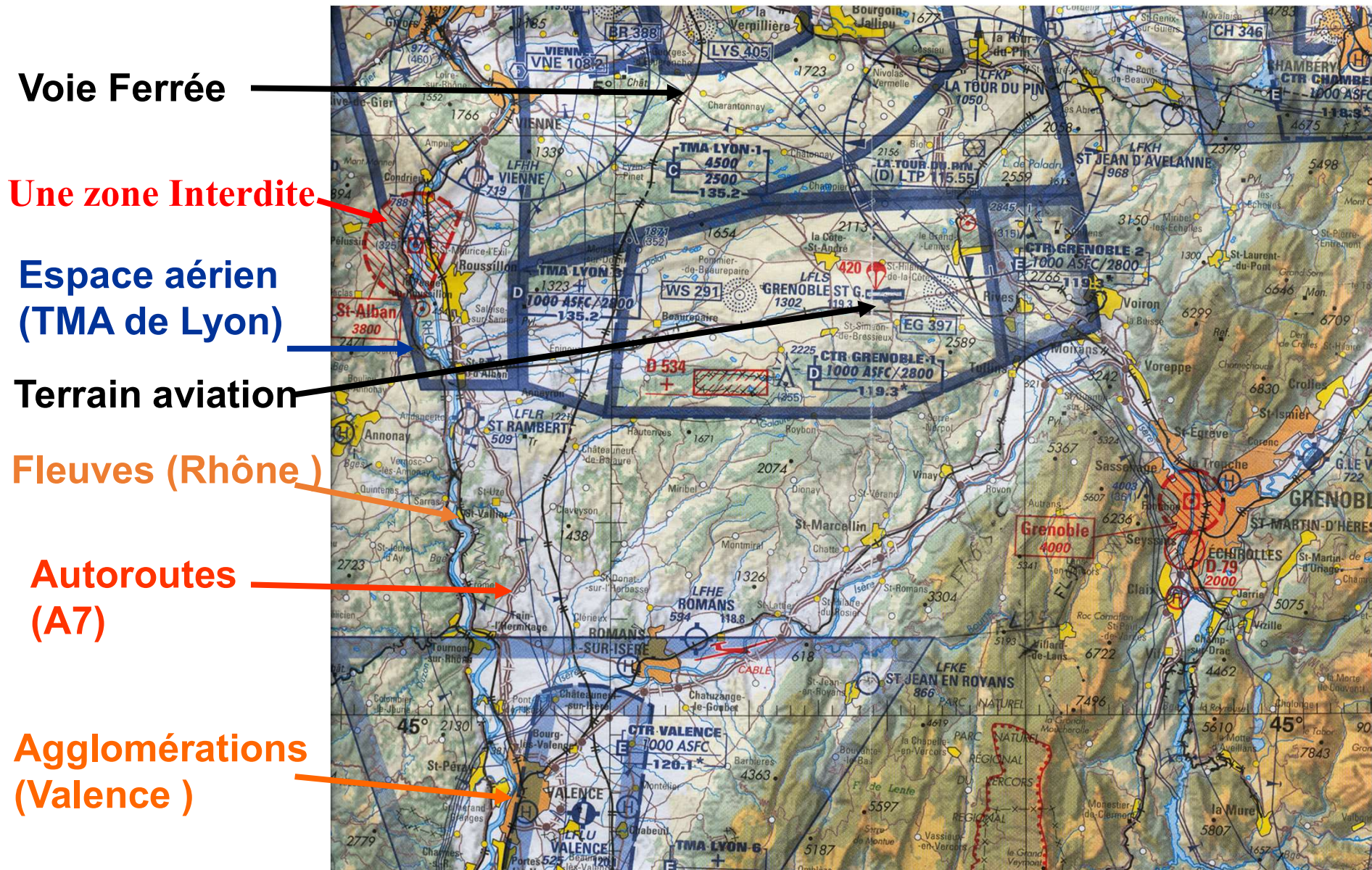
Les cartes

Les différents types de canevas :



Les cartes aéronautiques utilisées **dans notre région** sont au canevas **Lambert**

Carte aéronautique au 1/500 000 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

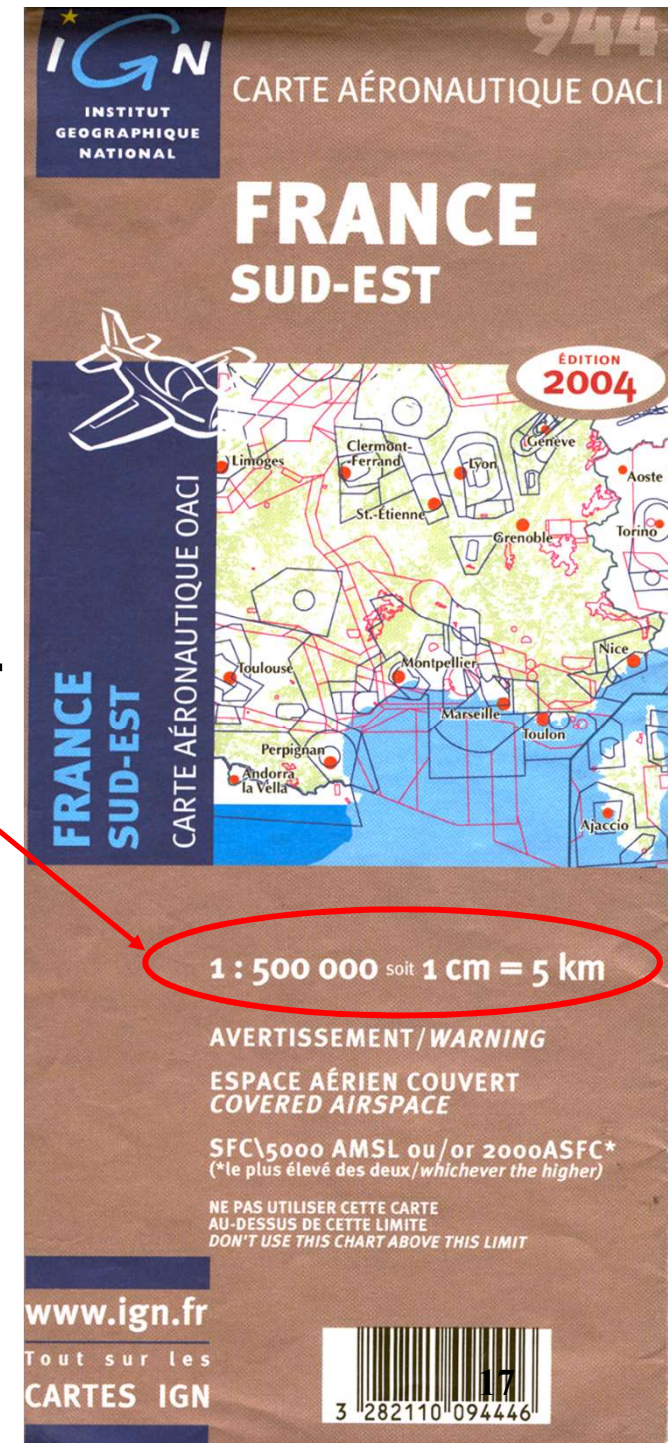
Echelle = 1/500 000

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

Canevas
Lambert

03/08/2025

Navigation



Les cartes aéronautiques au 1/500 000ème



- Cette carte sert au vol à vue en basse altitude.
- Les renseignements qui y sont indiqués sont **entre le sol et 3000ft ASFC ou FL115**. Tout ce qui commence au dessus n'apparaît pas.
- On y trouve les villes, villages principales routes, voies ferrées, cours d'eau, forêts, reliefs, les obstacles artificiels (antennes,...)...
- Il faut 4 cartes pour couvrir la France.

Les cartes aéronautiques au 1/500 000ème

- Les terrains d'aviation
- Les zones aéronautiques y figurent également avec notamment les:
 - TMA
 - CTR
 - Zones P, R, D
 - Axes de voltige, zones de parachutage, ...
- Des informations sur la classification des zones et les fréquences radio de contact.
- Les principales balises de radionavigation et leur fréquence.



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



03/08/2025

Navigation



20

-

Les cartes aéronautiques au 1/2 000 000ème IFR



Les cartes aéronautiques au 1/2 000 000ème IFR

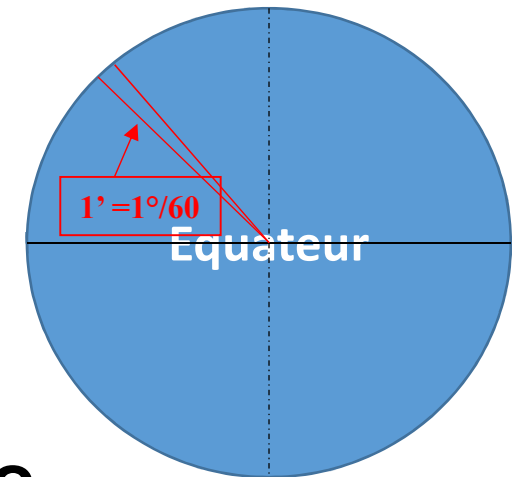
- La 1/2 000 000ème ne représente aucun détail de la géographie des zones qu'elle représente.
- Elle ne fournit que les informations sur les balises de RN, les airways, les zones de contrôle et les fréquences associées.
- Il en existe toujours 2 pour une même région : 1 pour l'espace inférieur et 1 pour l'espace supérieur.
- Elle ne sert qu'en vol IFR ou les vols sont suivis par les contrôleurs aériens.

Mesure des distances sur une carte

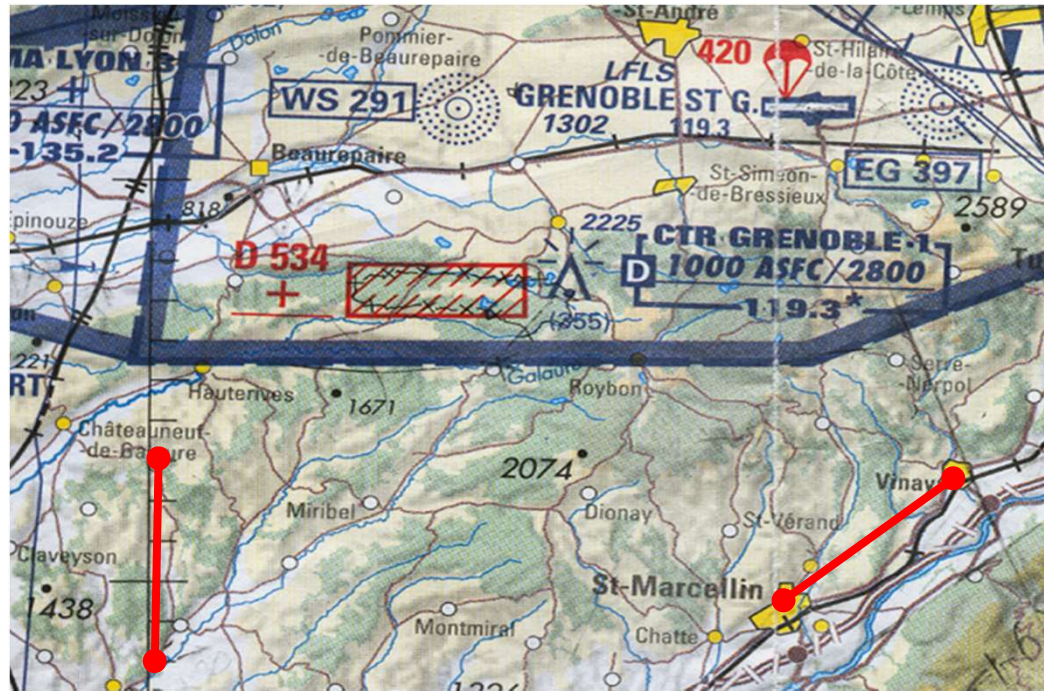
En navigation on utilise le « mille Nautique » comme unité de distance

Sachant que:

- ✓ 1 mile nautique est la longueur d'un arc de **grand cercle** (Méridiens) correspondant à une minute d'angle
 - ✓ Que la circonférence de la terre est de 40 000kms.
 - ✓ Que 1 minute d'angle est égale à $1/60$ de degré.
-
- Quelle est la valeur en Kms de 1 mile nautique?
 - Quelle est la valeur en Kms et en mile nautique de 1° d'angle?



Première méthode de mesure d'une distance



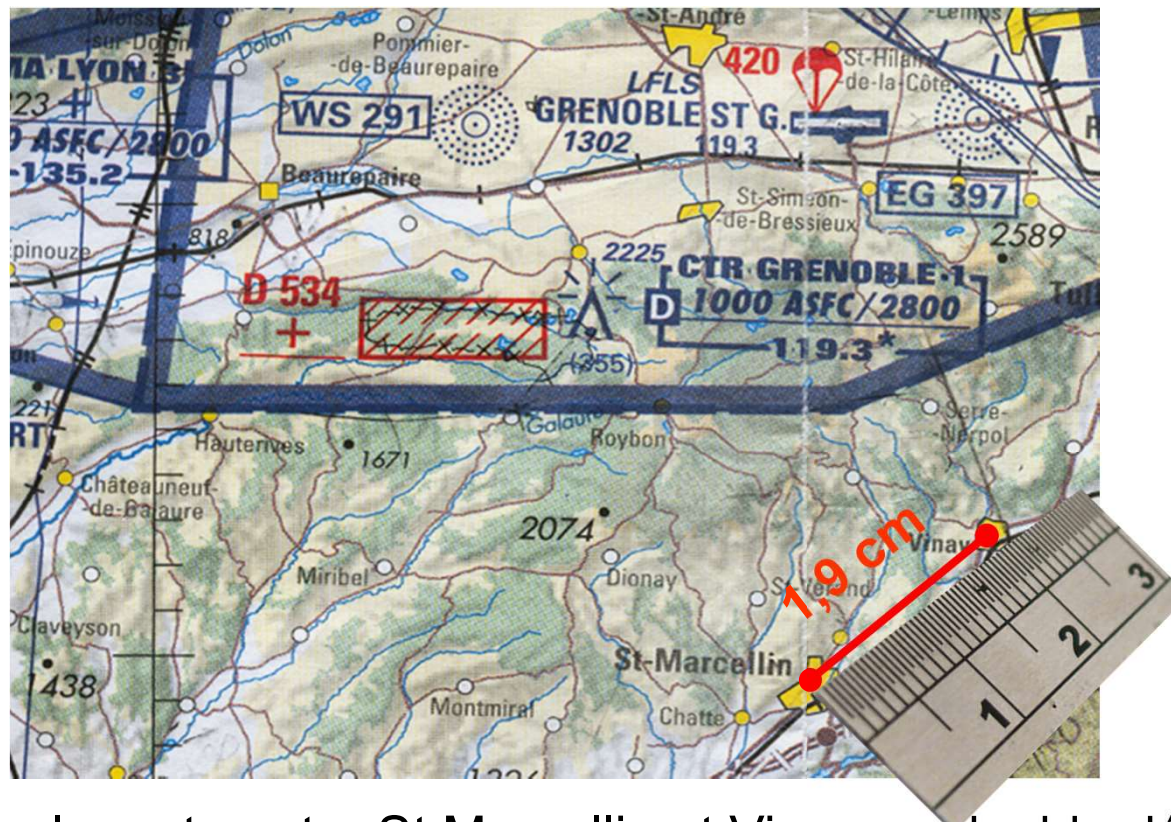
Mesurons au compas la distance entre St Marcellin et Vinay (par exemple)

On reporte cette longueur sur le graticule des Méridiens 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 parallèles !

Deuxième méthode de mesure d'une distance



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

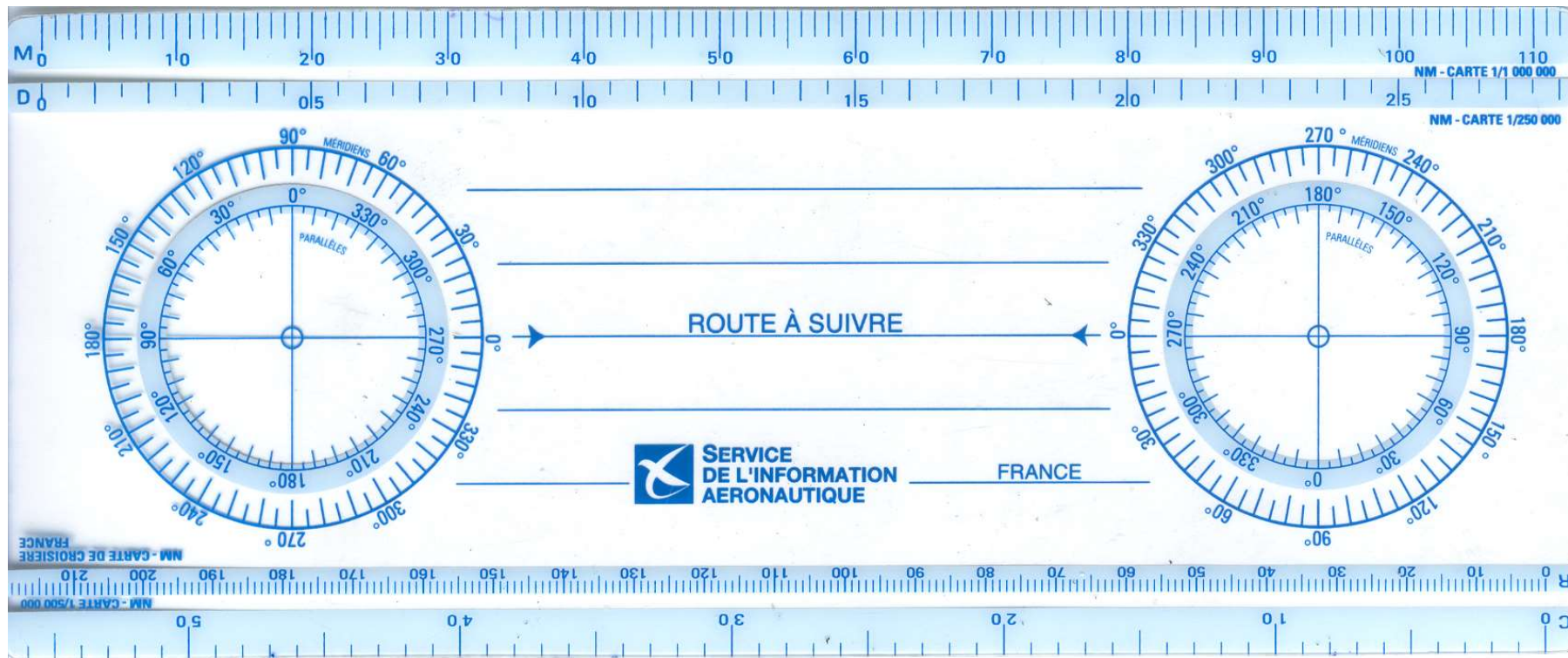
On Trouve 1,9 cm

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

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 :



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.

Chacun peut étalonner son doigt en utilisant le graticule sur un méridiens.



Mesure du temps

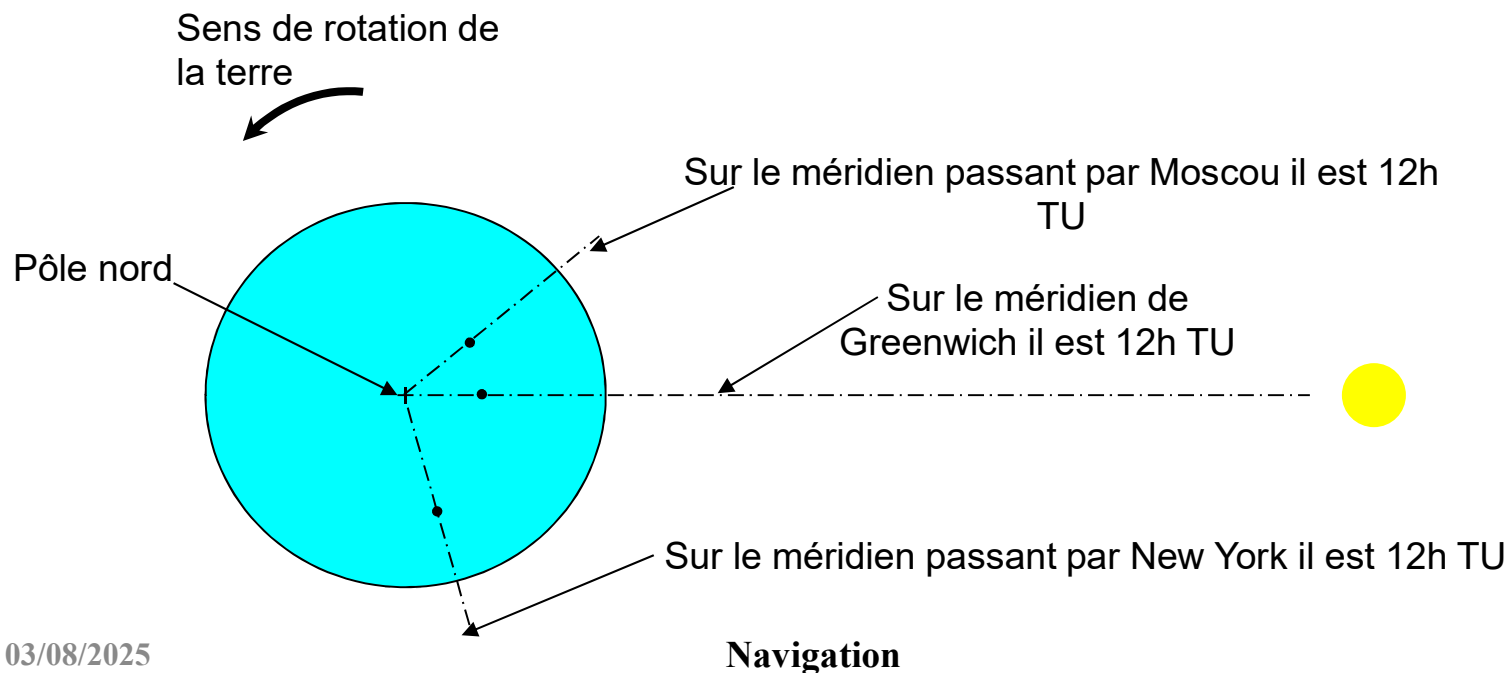
Heure TU (ou GMT ou encore UTC) :

TU : Temps Universel

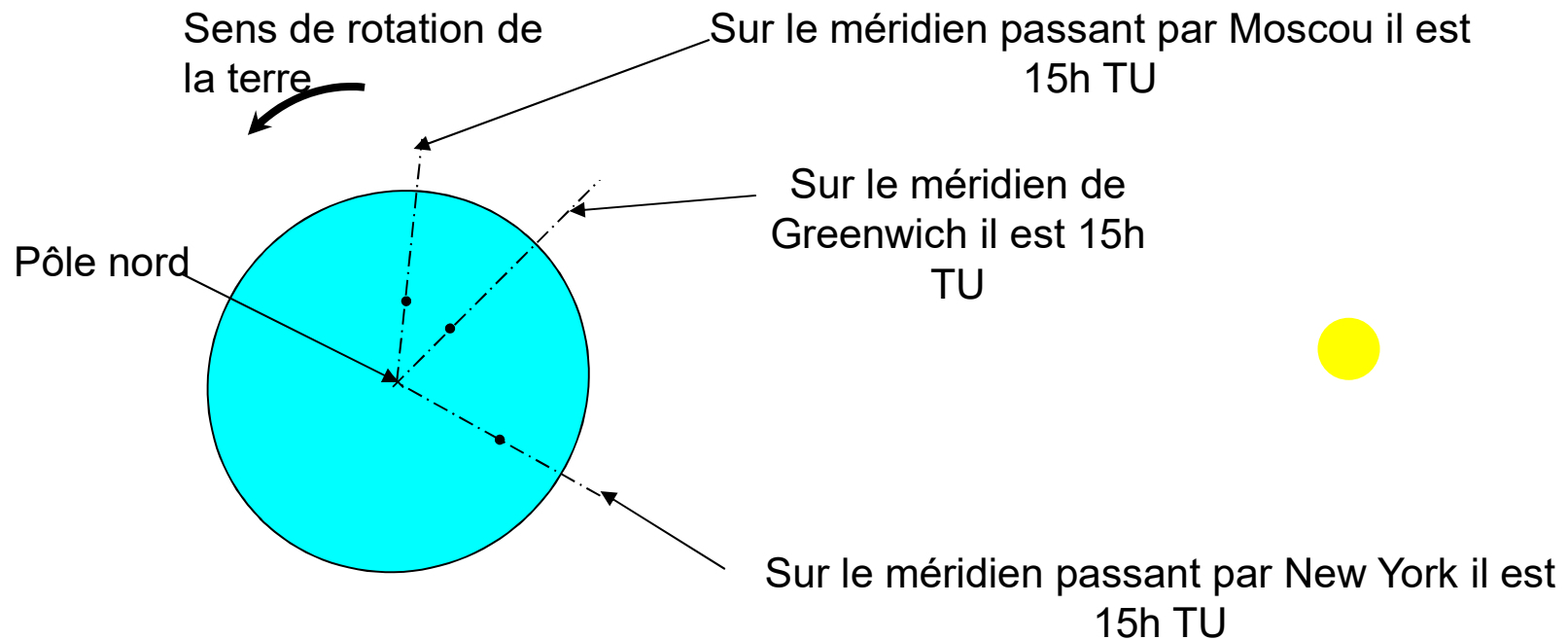
GMT : temps moyen à Greenwich

UTC : temps universel coordonné

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



Trois heures plus tard



Heure locale :

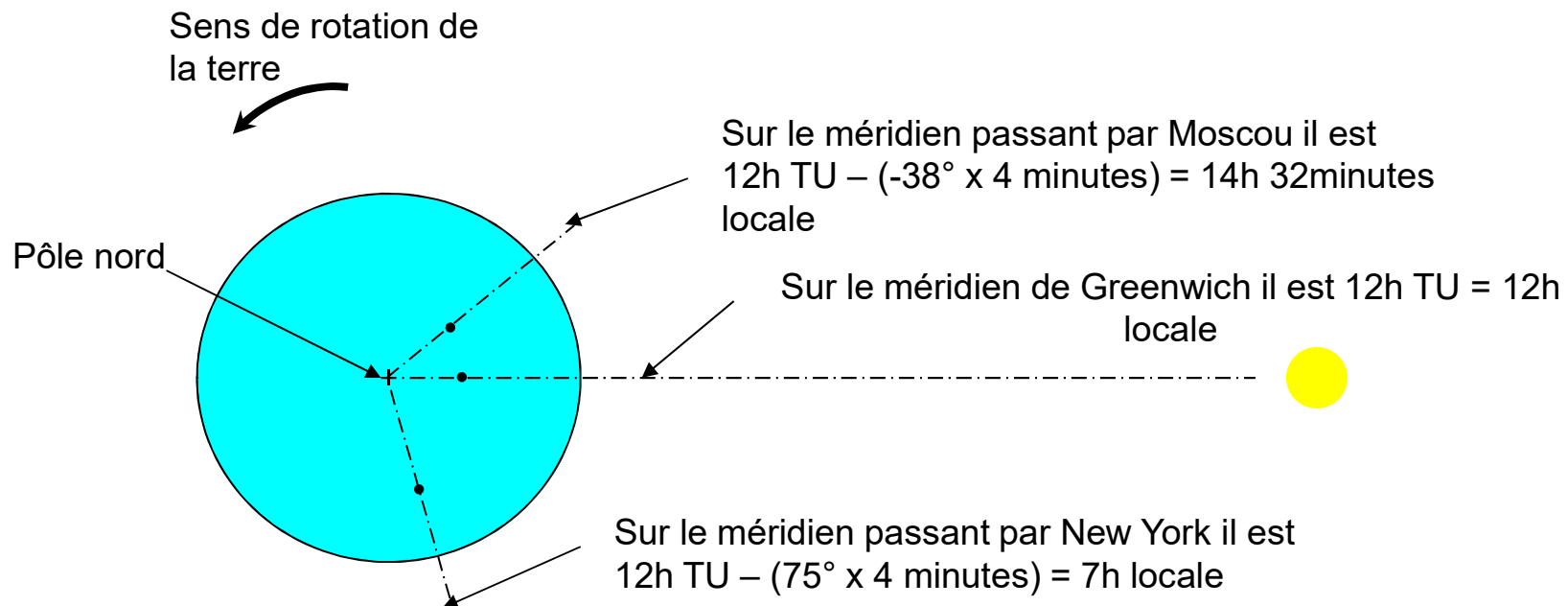
Lorsque le soleil passe à la verticale d'un méridien il est 12h sur ce méridien .

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 :

Heure locale = Heure TU – longitude x 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.

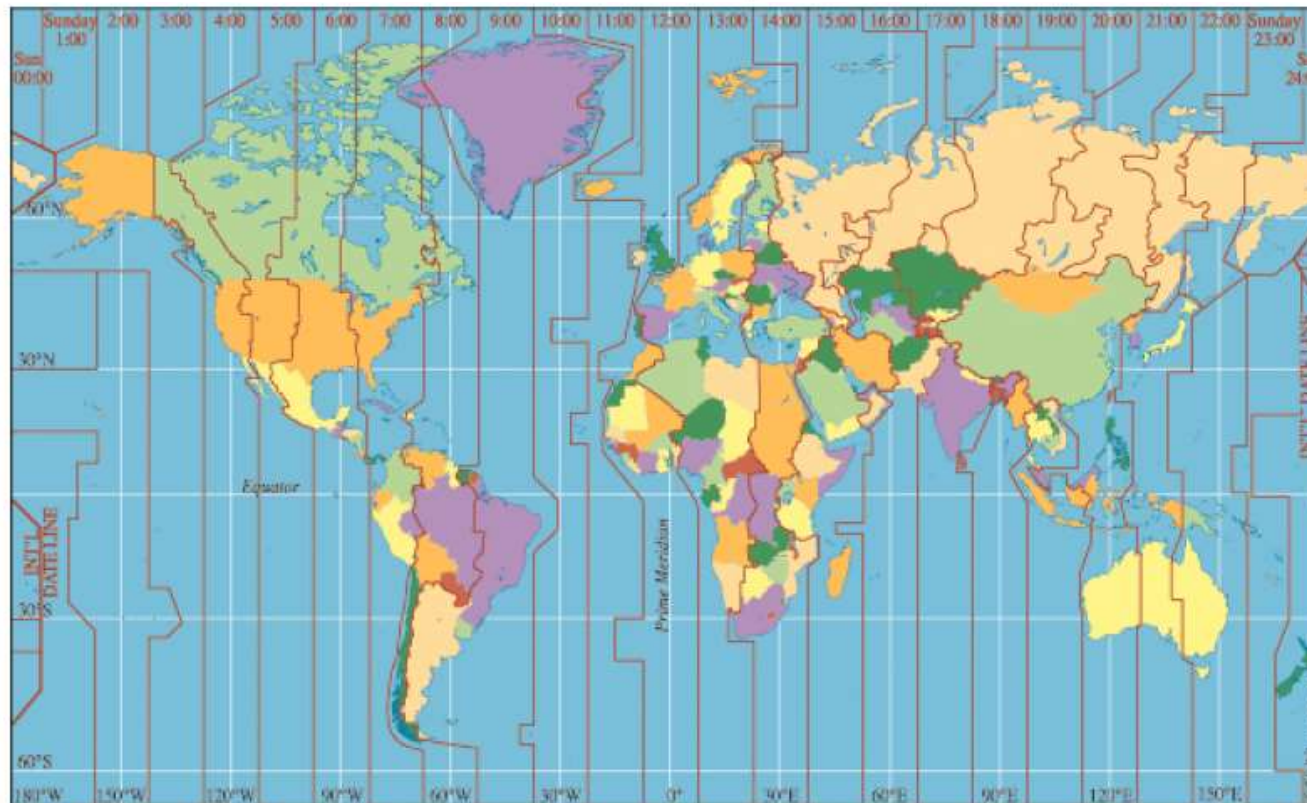
On a donc créé l'heure du fuseau afin d'avoir la même heure sur une grande étendue.

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 en un point du globe **commence 30 minutes après** le couché du soleil et se termine **30 minutes avant** le lever du soleil à ce point.

La terre fait 1 tour en 24h donc elle tourne d'**1° en minutes.**

Est-ce que le coucher et le lever du soleil sont à la même heure à Strasbourg et à Brest ?

Les coordonnées géographiques de:

Strasbourg: Latitude : 48°35'02" Nord Longitude : 7°44'43" Est

Brest: Latitude : 48°23'59" Nord Longitude : 4°28'59" Ouest

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 ou deux heures 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 :

35) Sur un méridien terrestre, un arc de 1 minute correspond à une distance de :

- a) 1 mile terrestre b) 1 mille nautique c) 60 milles nautiques d) 60 kilomètres

36) La différence d'heure de coucher du soleil sur deux aérodromes séparés de 7°30' en longitude est :

- a) 1 heure b) 15 min c) 30 min d) il n'y a pas de différence

37) On détermine la position d'un point sur la surface de la Terre par sa latitude et sa longitude. Les latitudes varient de

- a) 0° à 180° et les longitudes de 0 à 90°
b) 0° à 90° et les longitudes de 0 à 360°
c) 0° à 90° et les longitudes de 0 à 180°
d) 0° à 180° et les longitudes de 0 à 360

38) Sur une carte OACI au 1/500 000, on mesure entre deux aérodromes 28 cm. La distance qui les sépare sur le terrain est :

- a) 56 km. b) 28 NM. c) 140 km. d) 280 km.

39) Combien de temps faut-il à la terre pour tourner sur elle-même de 15° :

- a) 1 heure b) 3 heures. c) 2 heures. d) 6 heures.

Les grands principes de navigation

- Le cheminement à vue
- La navigation à l'estime
- Route vraie, route magnétique, cap vrai, cap magnétique.
- Déclinaison, déviation
- Le cheminement radionavigation

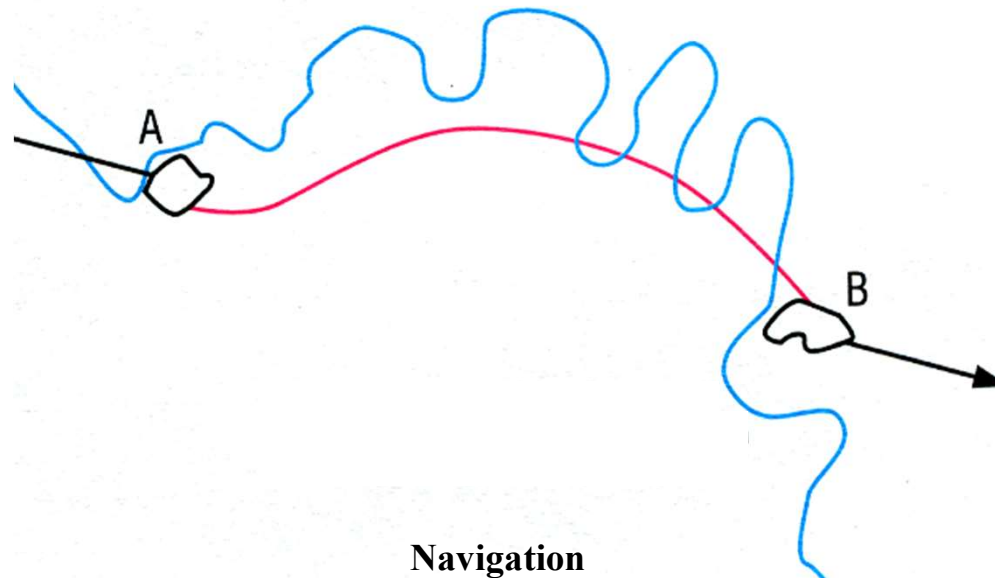
Les modes de navigation

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 côte



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

$$\text{min/Nm} \rightarrow \boxed{\text{Fb} = \frac{60}{\text{Vp}}} \leftarrow \text{Kt}$$
$$\boxed{\text{TSV} = \text{Distance} \cdot \text{Fb}}$$

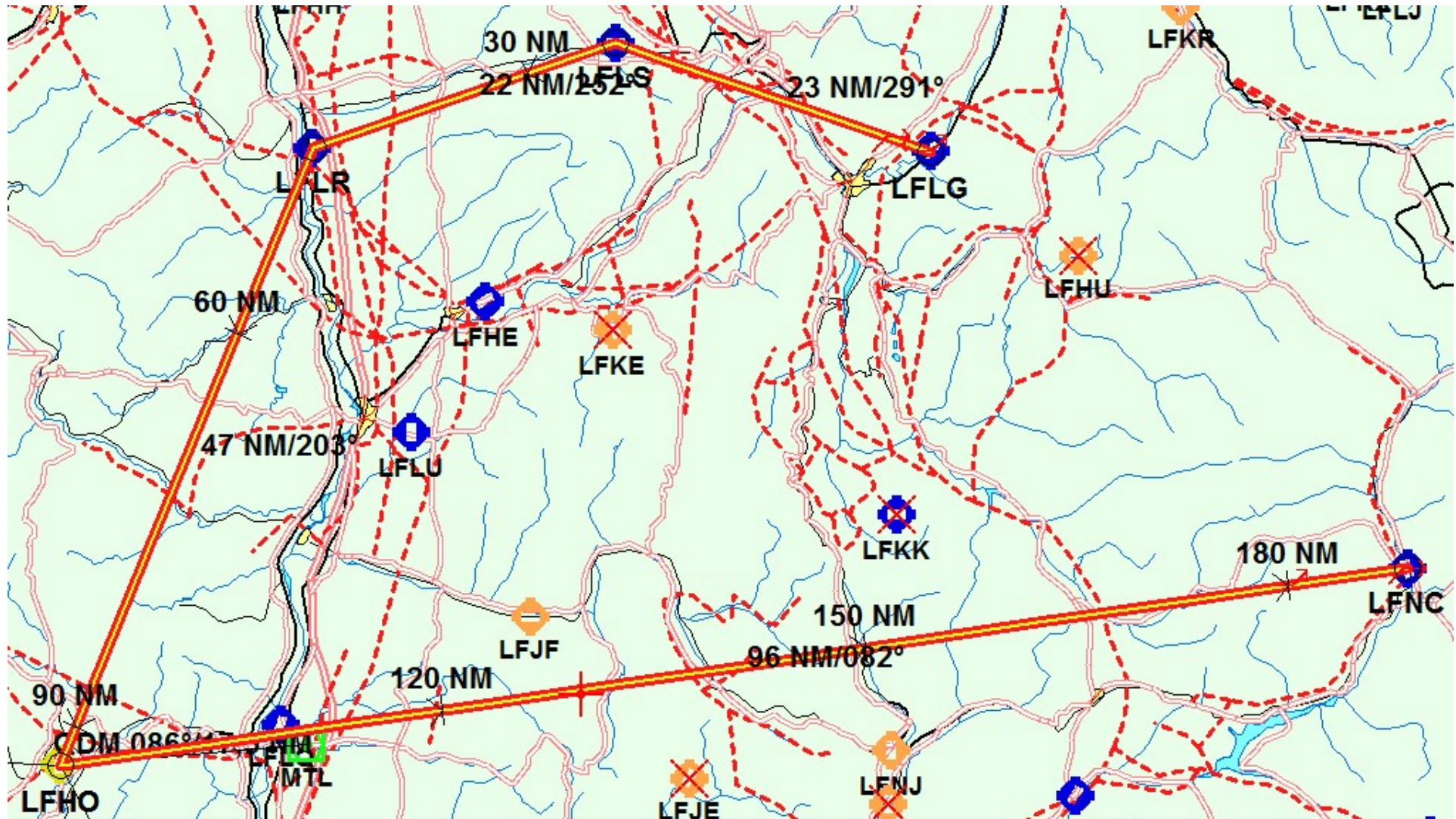
$\text{min} \quad \text{NM} \quad \text{min / NM}$

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 = $8 \times 0.6 = \underline{4.8 \text{ min}}$

La navigation à l'estime



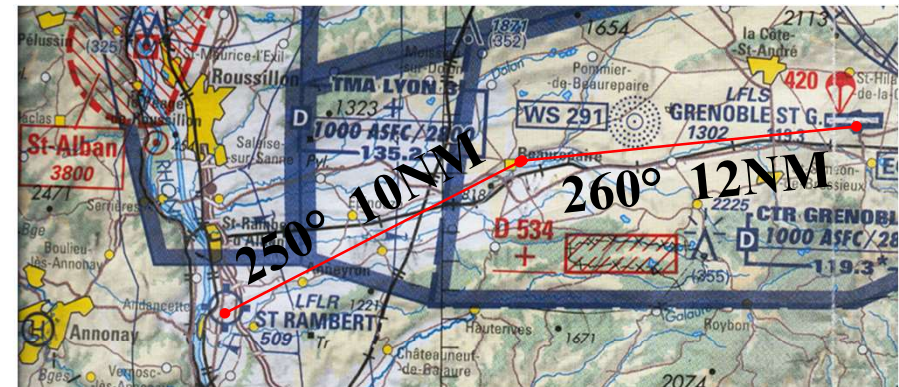
Exemple de navigation à l'estime:

Grenoble St Geoires à St Rambert

Tracé de la route sur la carte

Log (journal) de navigation :

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



Considérant un Facteur de base = 0,6
Soit une vitesse de 100kt

Déroulement de la navigation : A chaque point:

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

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

Les vitesses

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

(kt : knot en anglais)

1 nœud = 1 mile nautique par heure

1 Kt = 1 NM /h

1Kt = 1.852 Km/h

Exemples :

Un avion qui vole à la vitesse de 100 kt = 185 km/h

Un avion en finale à la vitesse de 120 km/h = 65 kt

vitesse propre (V_p) la vitesse de l'avion par rapport à la masse d'air

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

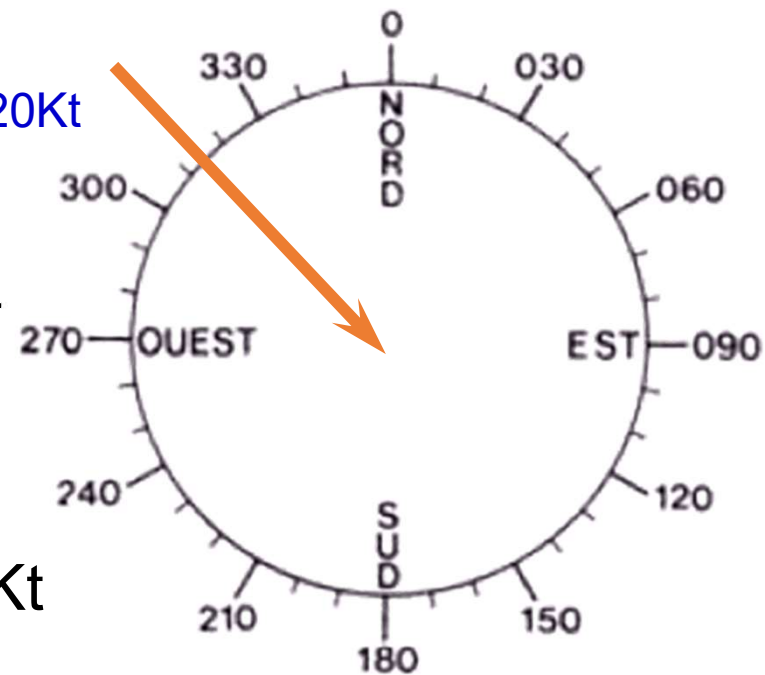
Le vent est le déplacement de cette masse d'air par rapport au sol .

vent du 315° de 20Kt

Les services météo donnent la vitesse du vent en kt et la direction d'où il vient en °

Exemple :

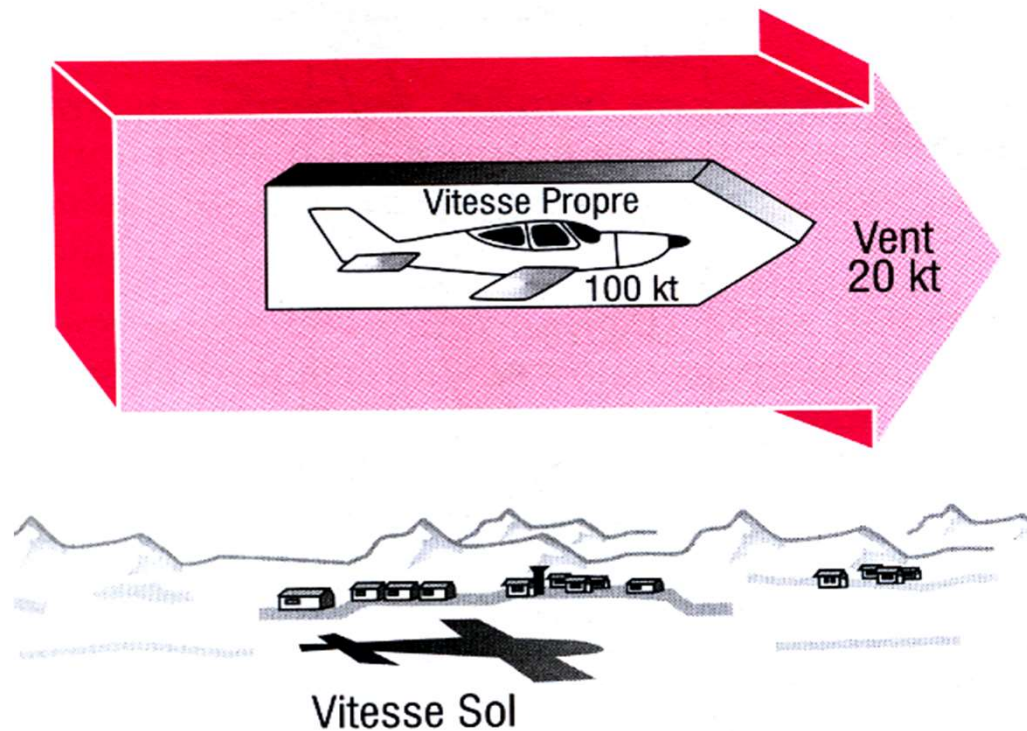
On donne un vent : $V_w = 315^\circ / 20\text{Kt}$



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

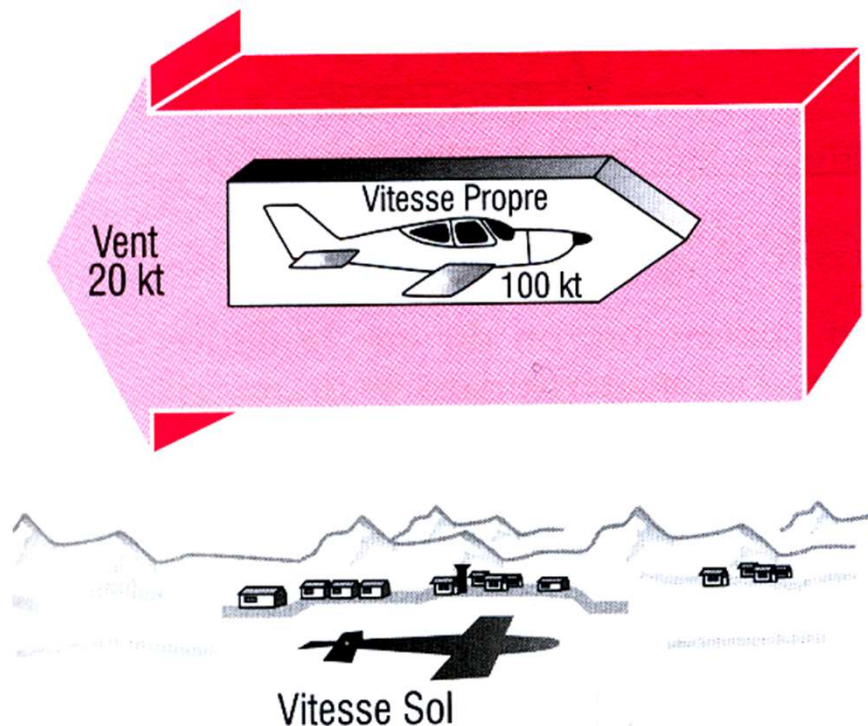


Sa vitesse sol (V_s) est de : $100 \text{ kt} + 20 \text{ kt} = \underline{120 \text{ kt}}$

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

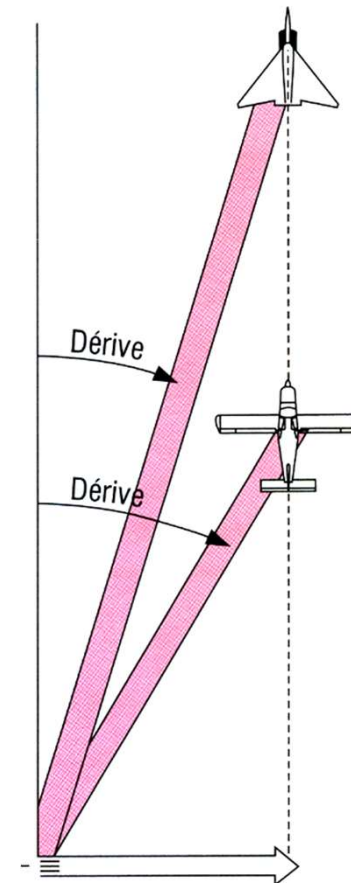
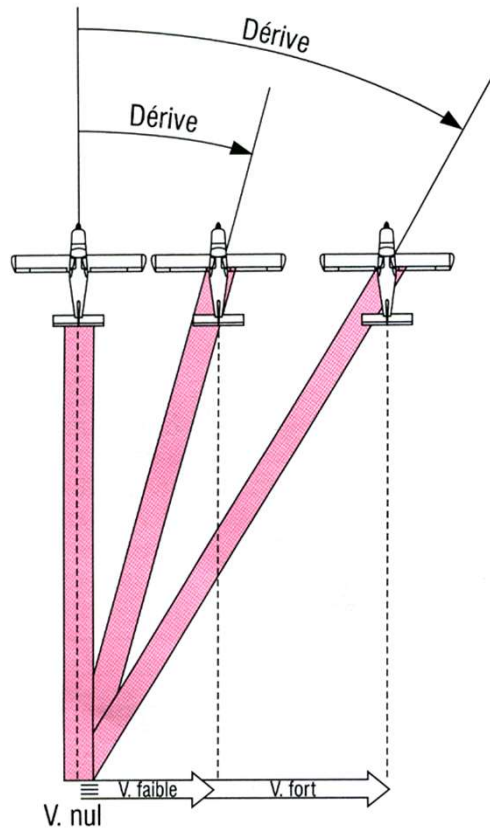


Sa vitesse sol (V_s) est de : $100 \text{ kt} - 20 \text{ kt} = \underline{80\text{kt}}$

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 route

Le vent effectif V_e Parallèle à la route

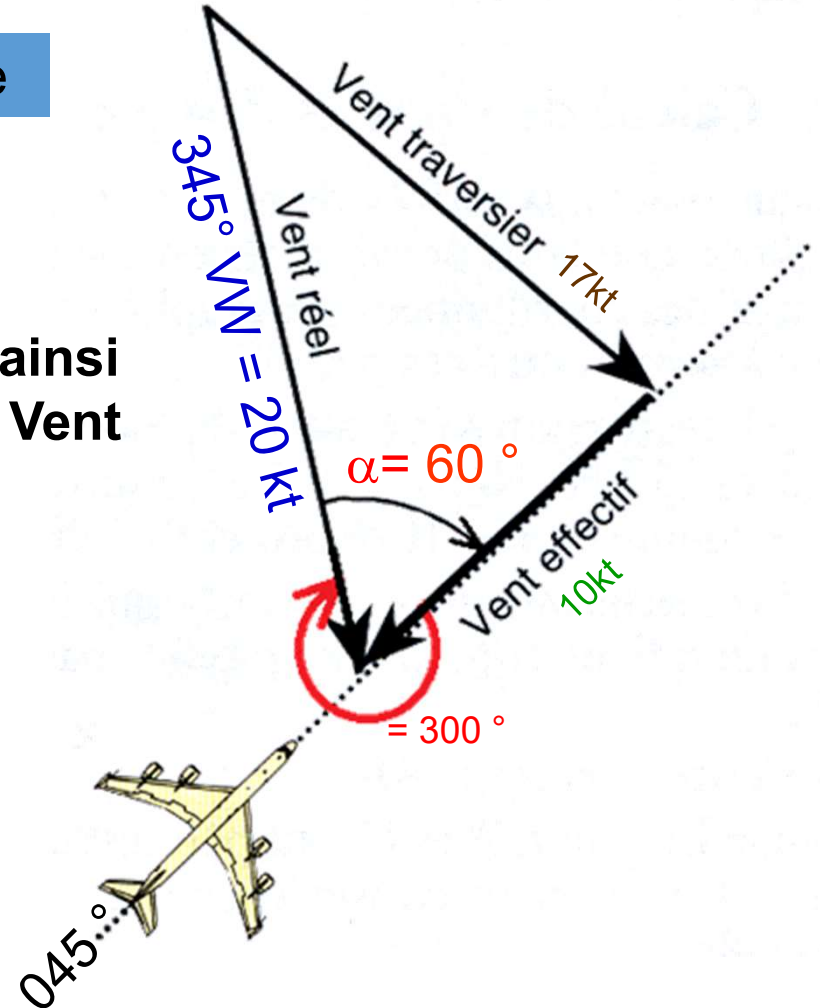
Connaissant la direction et force du vent ainsi que la route de l'avion on peut calculer le Vent traversier et le vent effectif.

Calcul du vent effectif :

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

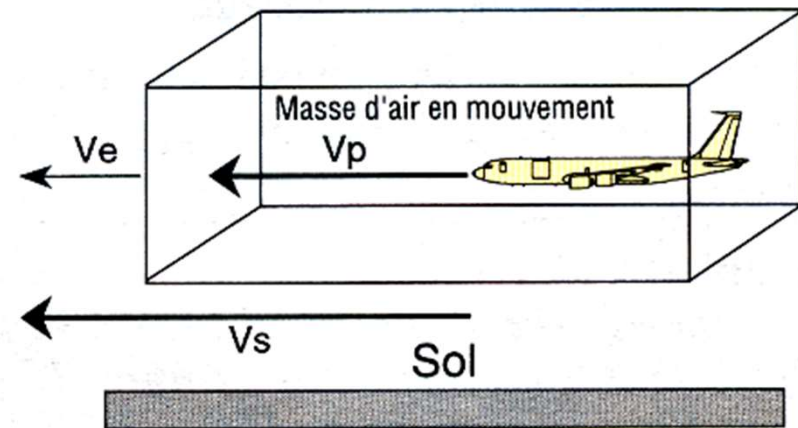
Calcul du vent traversier :

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



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

$$V_{sol} = V_{propre} \pm V_{effectif}$$
$$V_s = V_p \pm V_e$$



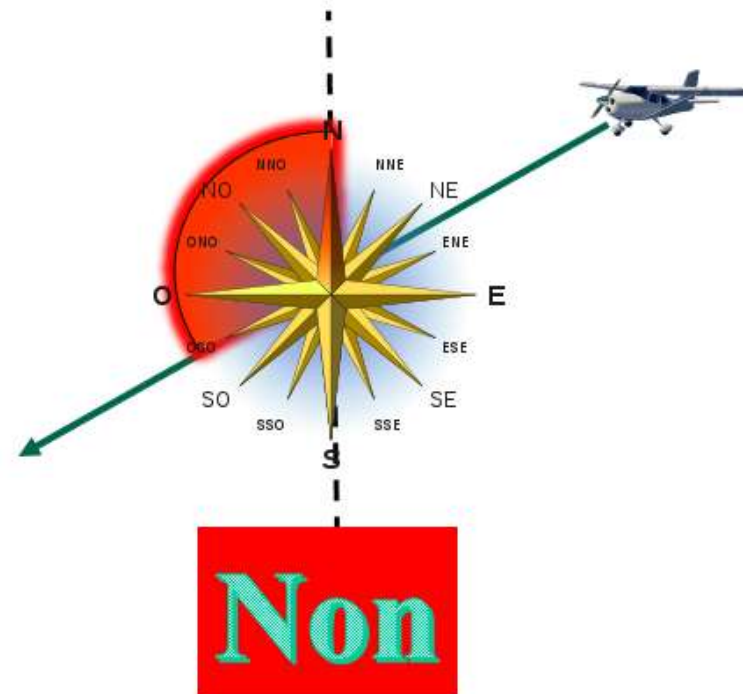
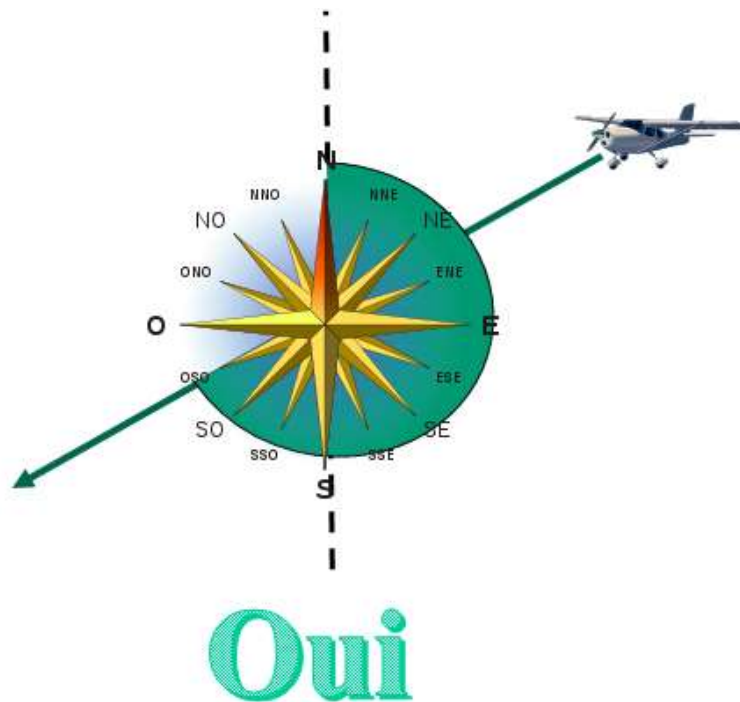
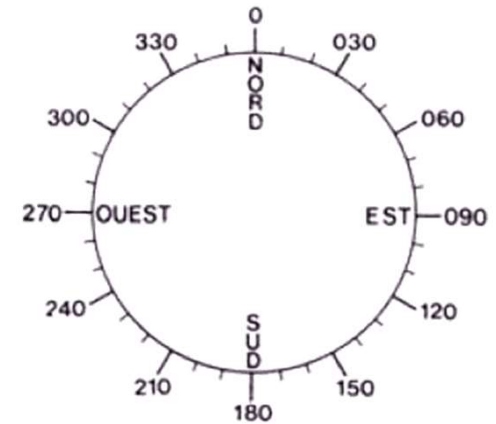
La valeur du **vent traversier** permet de **calculer la dérive** de l'avion .

L'orientation sur la terre

Les angles sont compris entre 0° et 360°

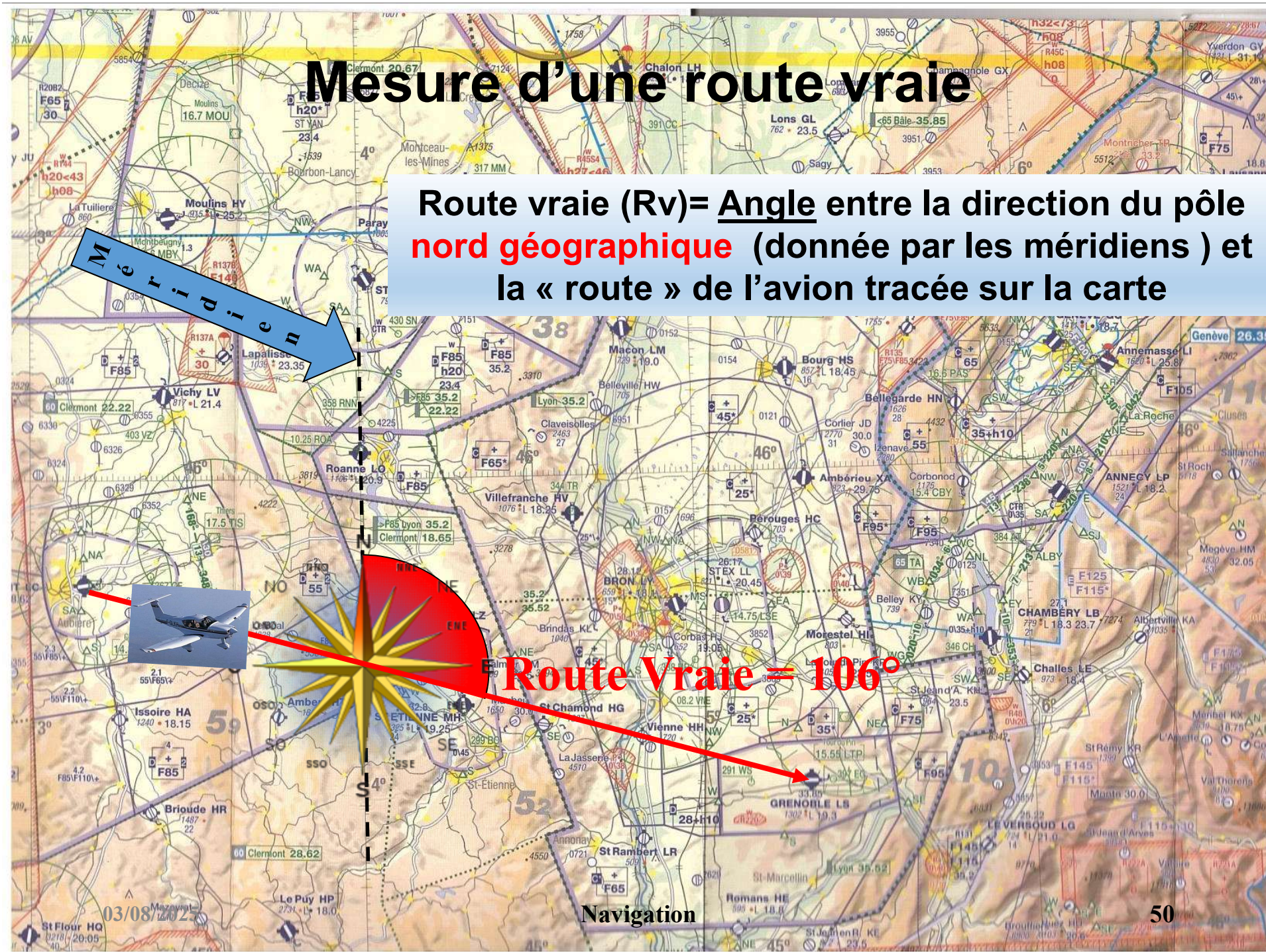
Mesure de la route

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



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



Les différents Nords

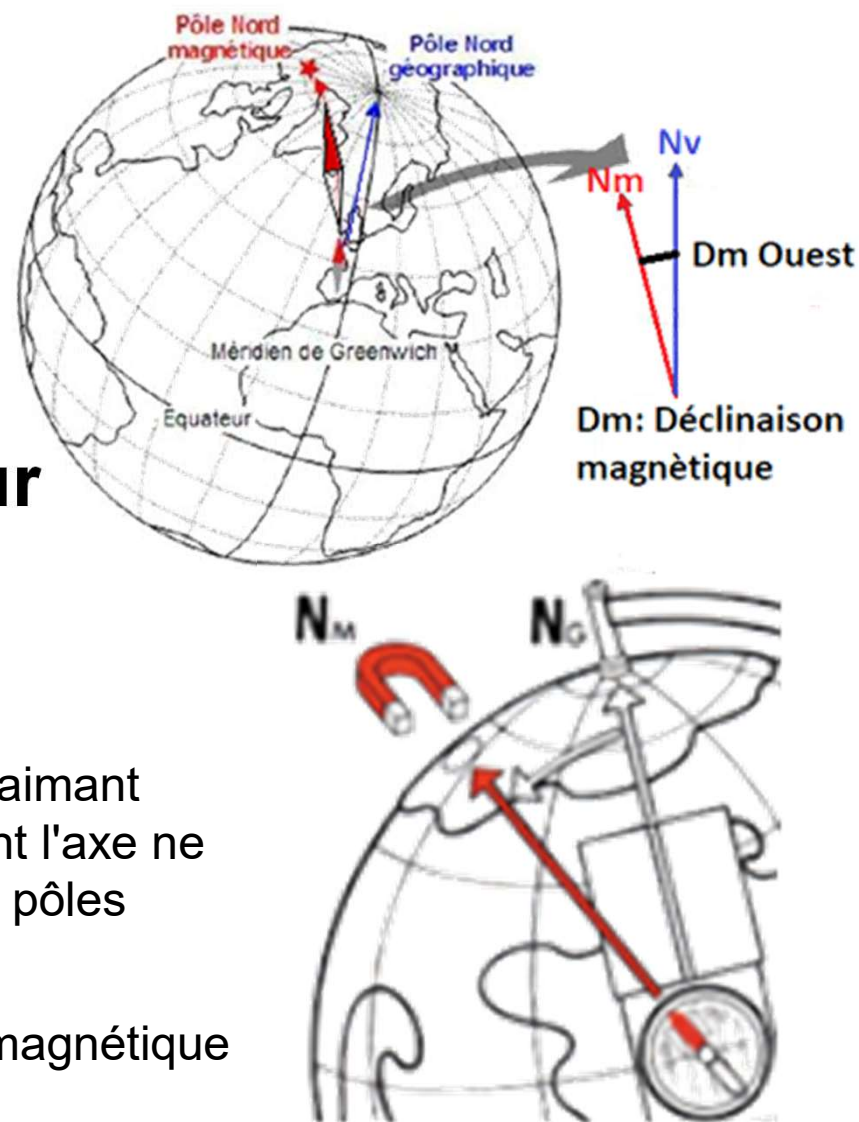
Le Nord vrai : pôle nord géographique

Toute direction mesurée par rapport au nord géographique 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 »

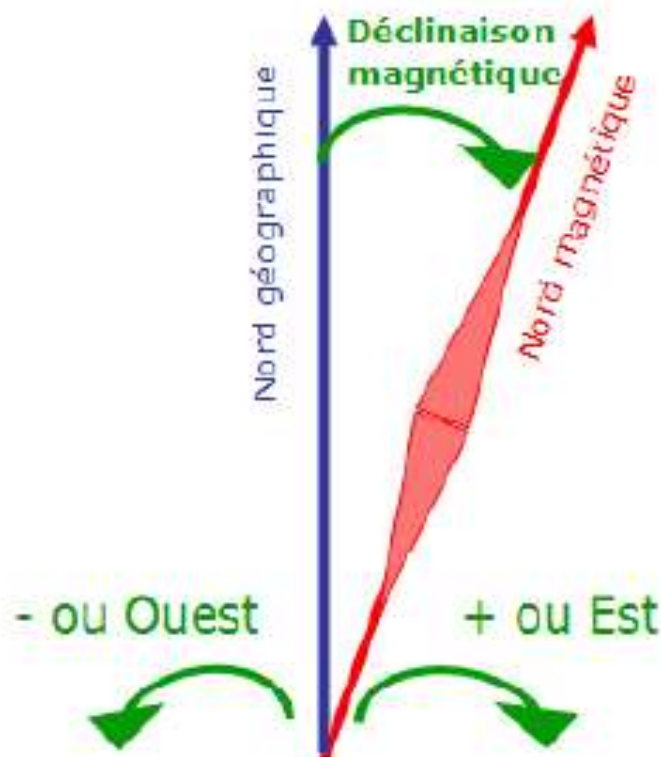
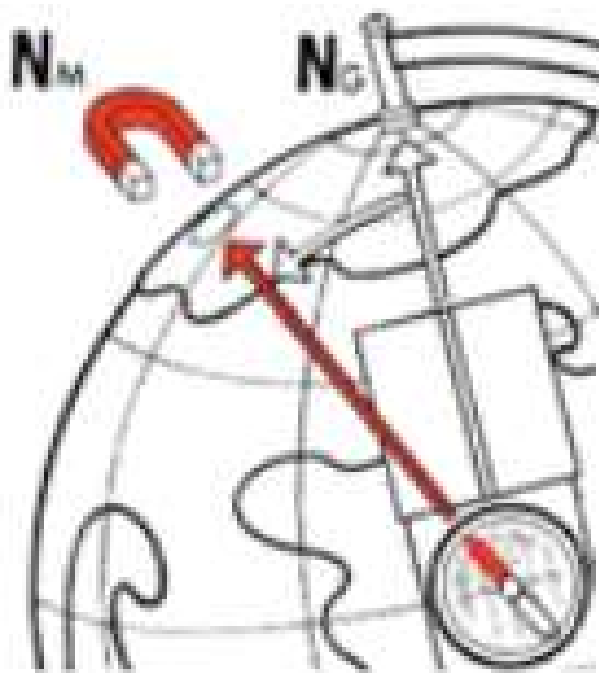


La déclinaison magnétique

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.



Déclinaison magnétique en France

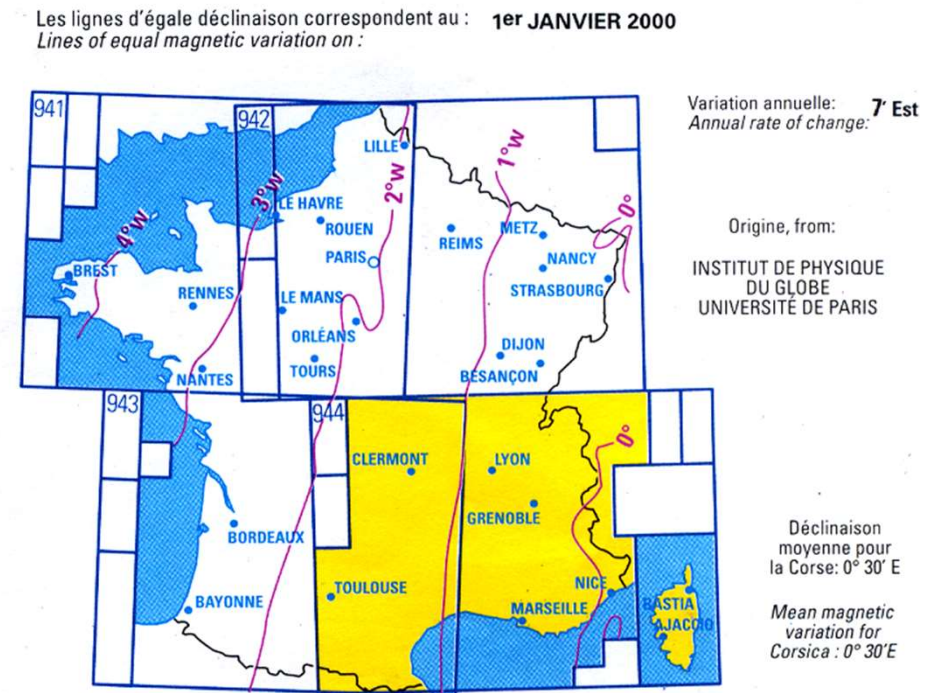
La déclinaison magnétique change en fonction du lieu où l'on se trouve et en fonction du temps ($\sim 1^\circ$ tous les 6 ans en France)

- Pour Grenoble en Avril 2021, environ $2^\circ 7' \text{ E}$
- Pour Vancouver en Avril 2021: $14^\circ 54' \text{ E}$ ce qui est significatif.

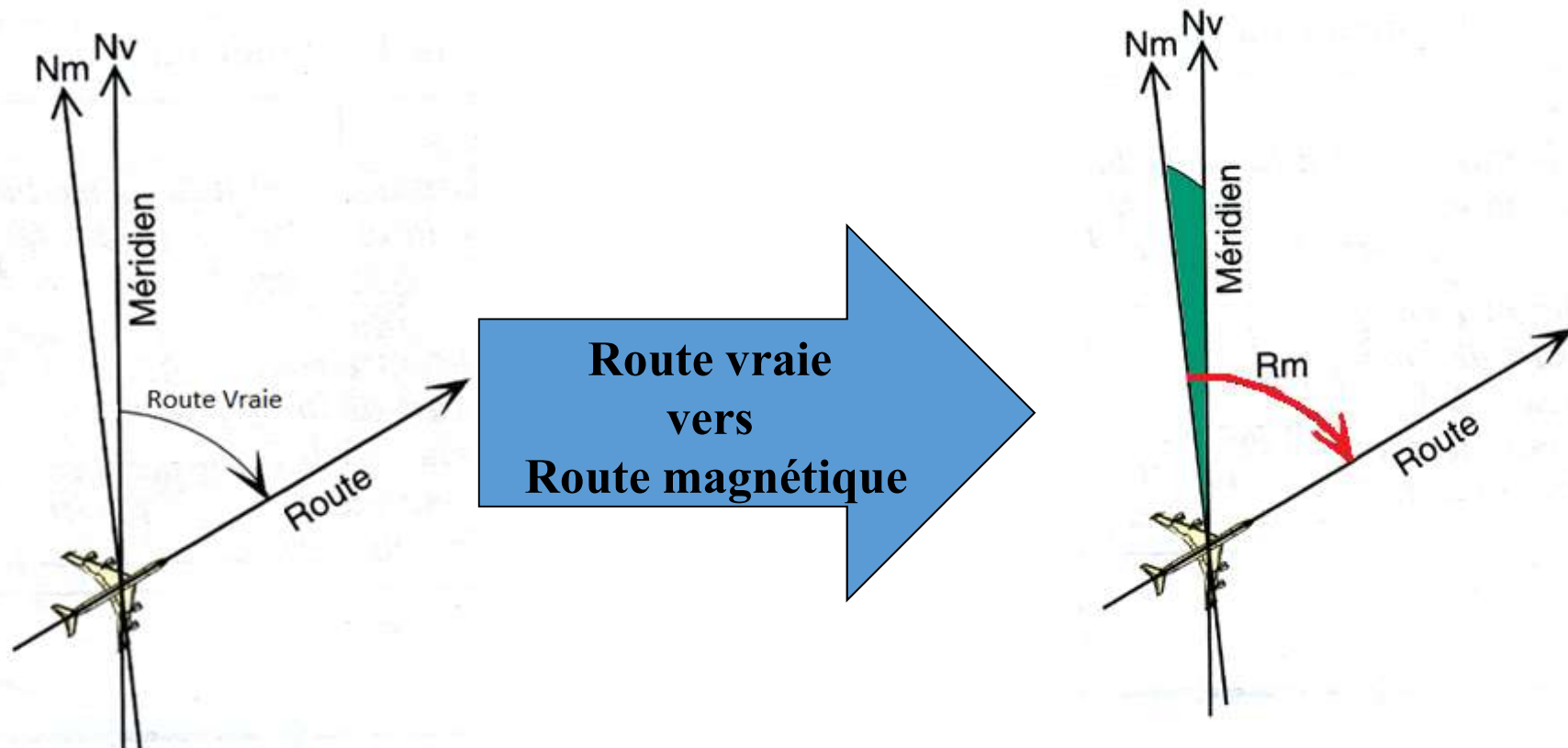
La valeur de la déclinaison magnétique est donnée dans les cartouches des cartes aéronautiques

Il y a des sites qui permettent d'obtenir la déclinaison en un point de coordonnées connues, à une date donnée ? Par exemple le calculateur du ministère des ressources naturelles du Canada :

<https://www.geomag.nrcan.gc.ca/>



Calcul d'une route magnétique



Route magnétique = Route vraie - déclinaison

Rappel: La déclinaison est de signe Positif si Est et Négatif si Ouest

De Clermont Ferrand à Grenoble ST Geoirs

Déclinaison magnétique sur ce secteur = 1°E



Route magnétique: $106^{\circ} - 1^{\circ} = 105^{\circ}$

Route Vraie = 106°

Navigation

Exemple :

Route magnétique = Route vraie - déclinaison

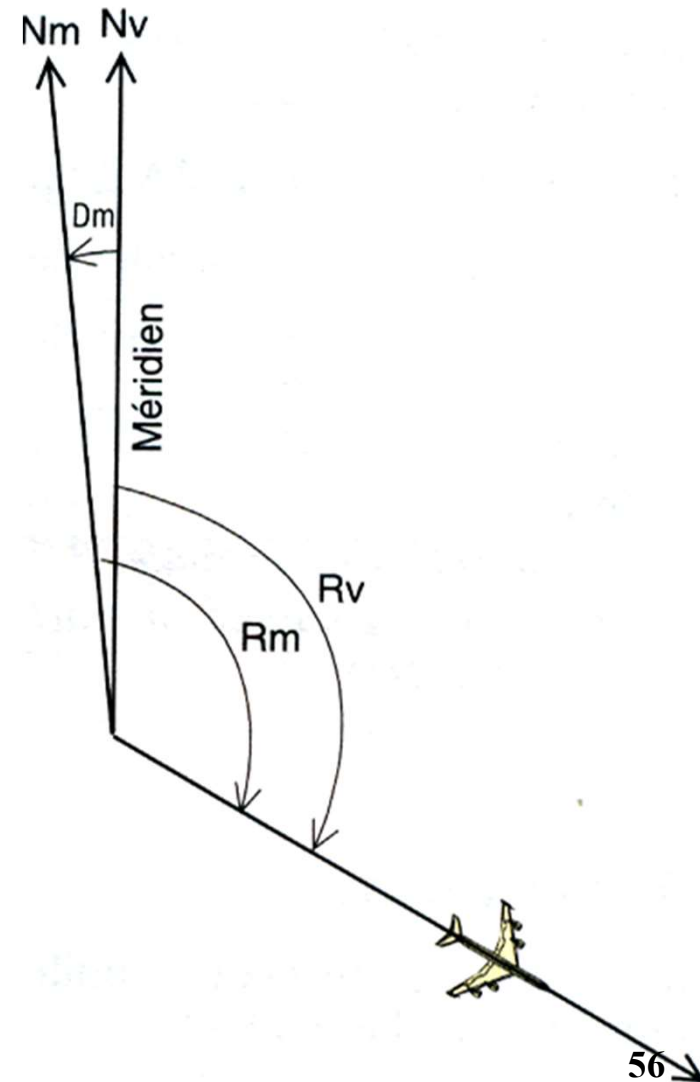
Route vraie mesurée sur la carte : $R_v = 120^\circ$

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

Route magnétique :

$$R_m = R_v - D_m$$

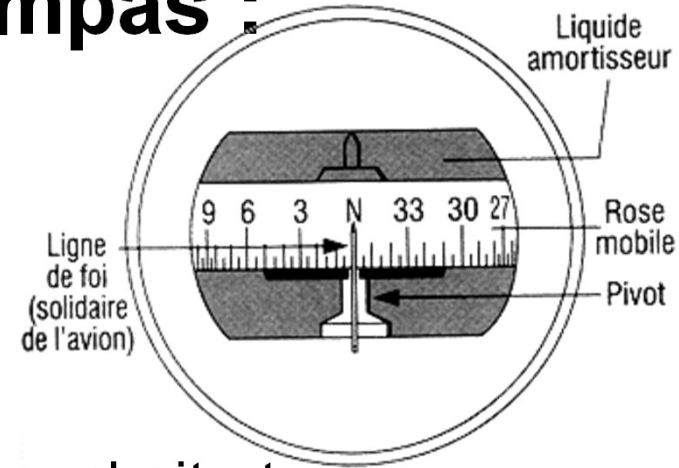
$$R_m = 120^\circ - (-5^\circ) = 125^\circ$$



Calcul du Cap compas :

Le compas (Boussole):

La ligne de foi permet de lire le cap .



Il est très sensible et **perturbé** par l'environnement **radioélectrique** du cockpit et par les **masses métalliques** de l'avion.

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

La **dévi**ation est **positive** si elle est **EST** ; elle est **néga**tive si elle est **OUEST**.

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

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

Les types de compas

Le compas traditionnel à flotteur

L'instrument se présente comme une boussole boule ou plate qui baigne dans un liquide amortisseur.

Il est perturbé lors des accélérations, quand l'avion est en virage, en montée ou en descente. Il s'utilise donc **en vol en palier rectiligne**. Il sert surtout à recaler le conservateur de cap.

Un tableau sous le compas donne les corrections à appliquer pour corriger la **Dévi**ation.



La compas à cadran vertical

Cet instrument n'est utilisé que dans certaines avioniques récentes. Il ressemble visuellement à un conservateur de cap.

Le plateau aimanté n'est pas freinée par du liquide (pas de risque de fuites), mais par courants de Foucault. Son mouvement est transmis au cadran de lecture par un jeu d'engrenages.



Calcul du Cap sans vent

Le cap peut être:

- magnétique (Cm) si il est mesuré par rapport au Nord Magnétique
- Vrai (CV) si il est mesuré par rapport au Nord Vrai

Route magnétique: 105°

Cap magnétique = 105°

Route Vraie = 106°

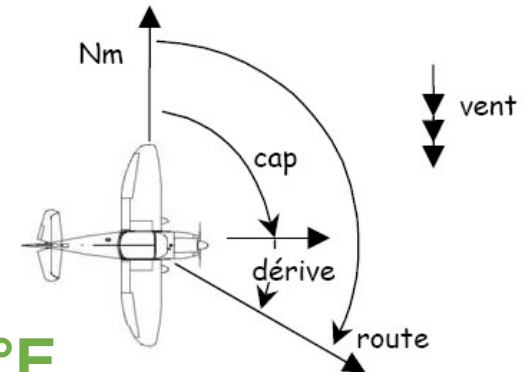
Cap Vrai = 106°

Sans vent le cap et la route sont confondus

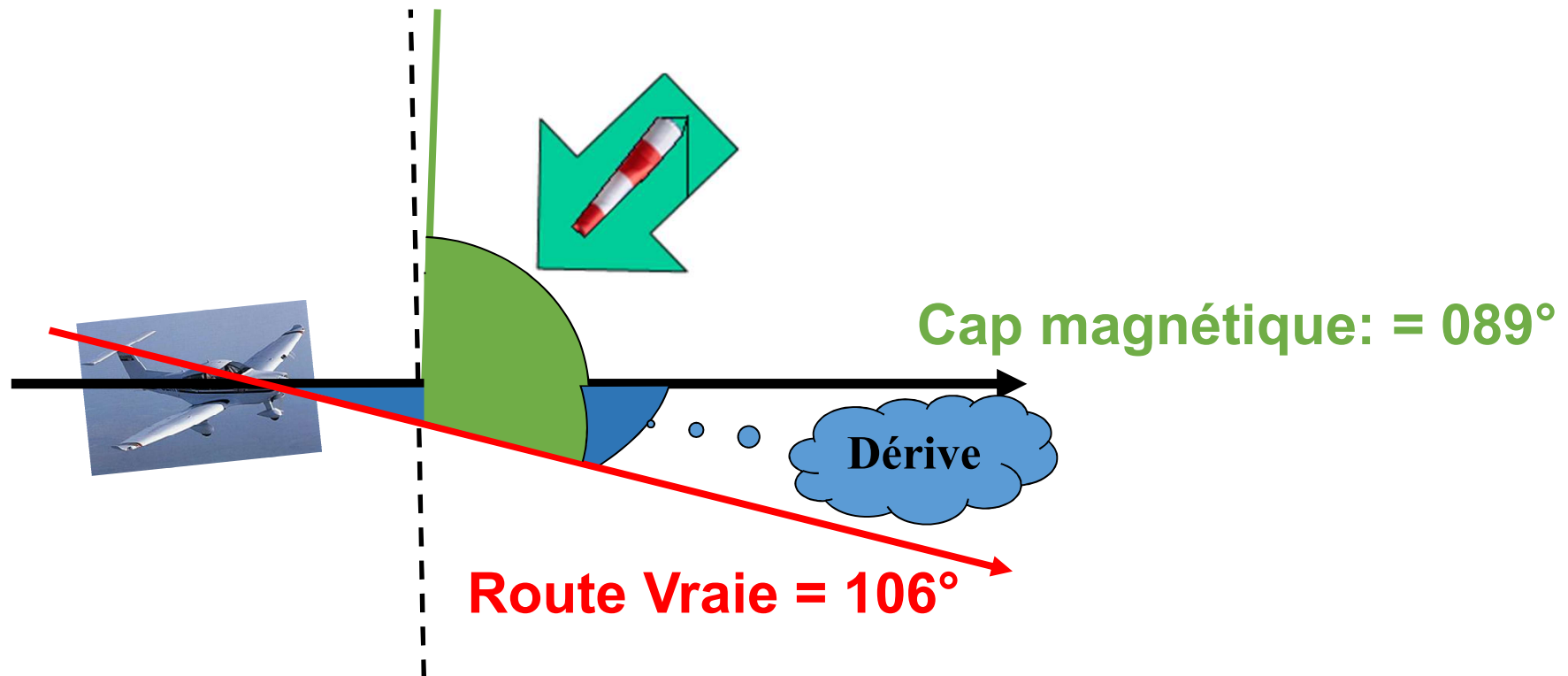
Dérive due au vent

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

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



Déclinaison magnétique sur ce secteur = 1°E



Calcul de la dérive du au vent:

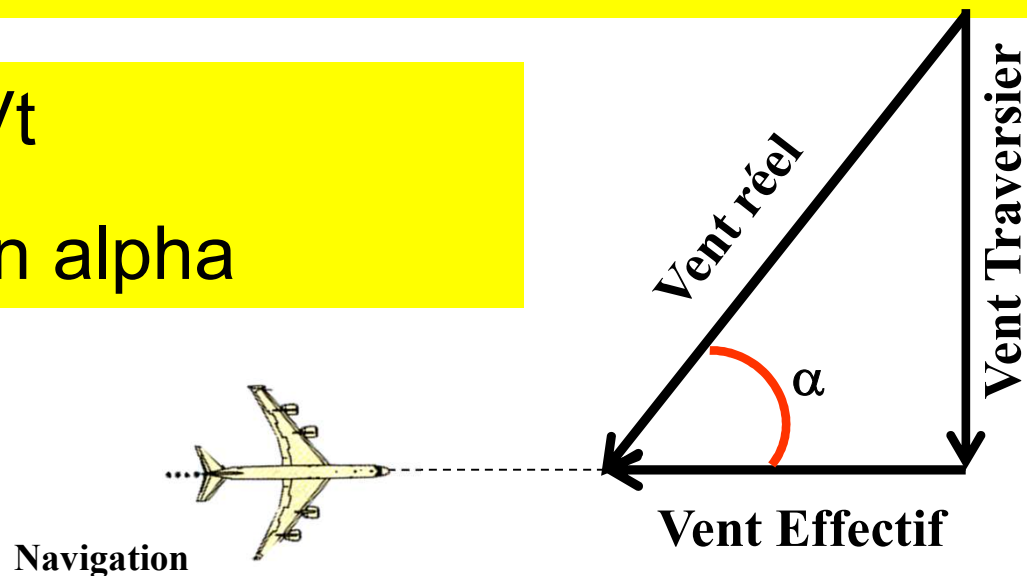
Le facteur de base sert à rapidement calculer le temps pour un segment de navigation à l'estime mais aussi à calculer l'angle de dérive.

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

Angle de dérive max = facteur de base x vent traversier

$$X_m = F_b \cdot V_t$$

$$X = X_m \times \sin \alpha$$



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 .

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 ($C_c = C_m - d$)

43) L'angle compris entre la direction du nord et la trajectoire au sol suivi par l'aéronef est :

- a) le cap. b) la déclinaison. c) la dérive. d) la route.

44) Le cheminement consiste :

- a) à suivre des lignes naturelles ou artificielles du sol facilement reconnaissables.
b) à suivre les indications du compas.
c) à suivre les indications de l'aiguille du récepteur VOR.
d) à demander son chemin par radio VHF.

45) Un avion a une vitesse sol de 120 kt, donc un facteur de base = $60/120 = 0,5$. Pour parcourir une distance de 50 NM, il mettra :

- a) 2 min 30 s. b) 5 min. c) 25 min. d) 50 min.

46) Vous volez à bord d'un avion d'une ville A qui se trouve située par $45^{\circ}\text{N } 5^{\circ}\text{W}$ vers une ville B située par $45^{\circ}\text{N } 5^{\circ}\text{E}$. Le soleil se couchera à la ville B :

- a) plus tôt qu'à la ville A b) plus tard qu'à la ville A
c) à la même heure qu'à la ville A d) cela dépend de la saison

47) Vous devez parcourir une distance de 370 km de jour avec une $V_p = 100$ kt. Le coucher du soleil au point d'arrivée est à 16 h 30. Pour rejoindre votre destination, vous devez décoller au plus tard à :

- a) 14 h 00 b) 14 h 30 c) 15 h 00 d) 15 h 30

53) La dérive :

- a) est l'angle entre une route et un cap.
- b) dépend de l'orientation et de la force du vent.
- c) est fonction de la vitesse de l'aéronef.
- d) toutes les propositions sont exactes.

54) Un avion vole au cap 360° à 80 kt, le vent est du 270° pour 15 kt. La dérive est :

- a) droite et négative.
- b) gauche et négative.
- c) droite et positive.
- d) négligeable, compte tenu de la faible vitesse propre.

55) Un aéronef a une vitesse propre de 160 km/h et subit un vent d'ouest de 50 km/h. Pour faire route au nord, il devra suivre un cap de :

- a) 20° .
- b) 270° .
- c) 340° .
- d) 360° .

56) Si en vol vous devez suivre un cap magnétique de 250 alors que la route magnétique est de 270, vous en déduisez que :

- a) le vent est traversier et vient du sud.
- b) le vent est traversier et vient du nord.
- c) le vent souffle en provenance de l'est.
- d) le vent souffle en provenance de l'ouest.

La radionavigation

Radionavigation:

Radio veut dire que l'on utilise des ondes radio

Navigation : pour naviguer

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



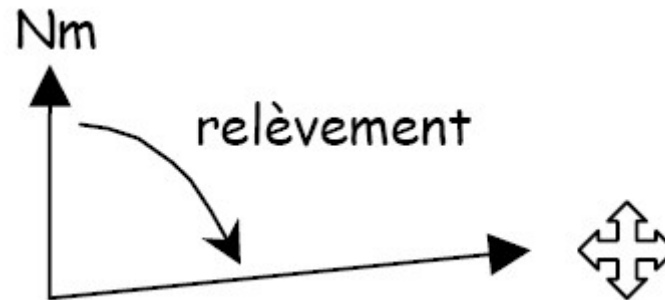
Les systèmes de radionavigation nécessitent souvent des installations/antennes sur le sol. Elles sont soumises au vent, pluie ... qui peuvent les endommager ou les dérégler. L'installation et la maintenance coûtent chers.



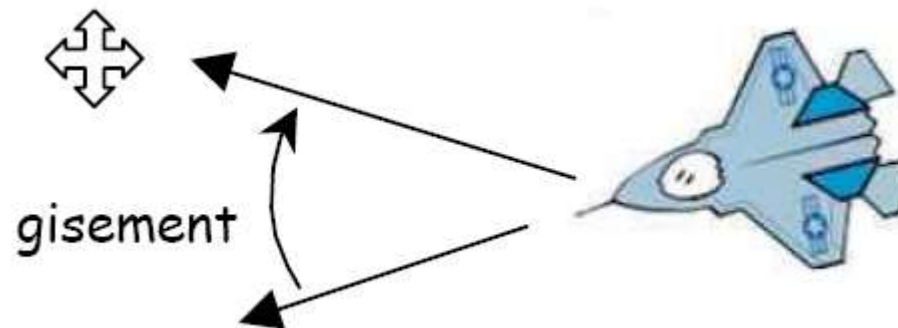
Certains systèmes de radio navigation sont en train d'être remplacés par le **GPS / GNSS**

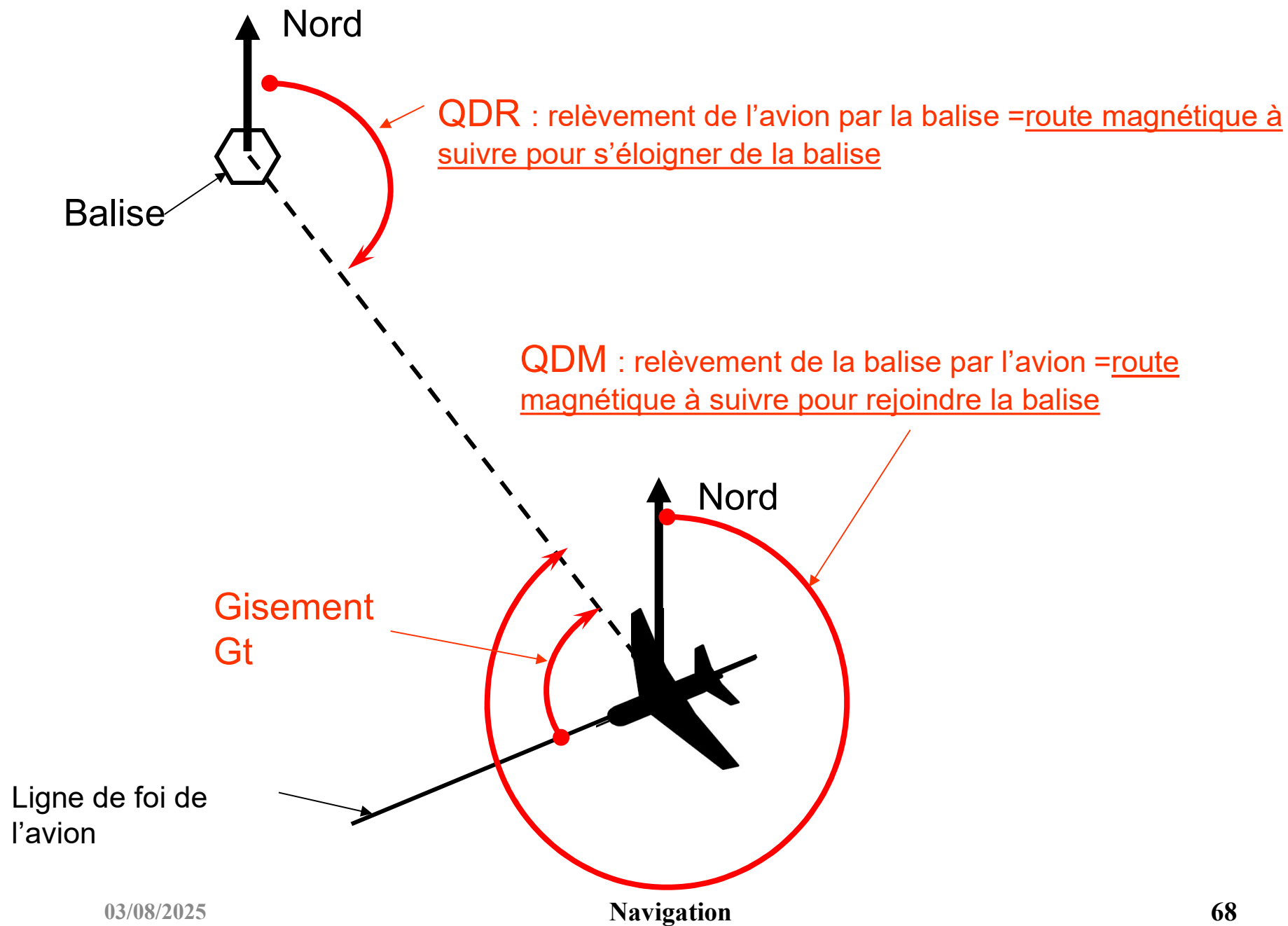
La radionavigation

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



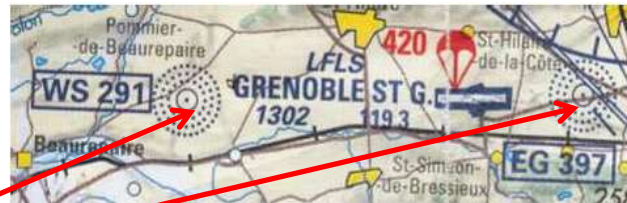
On appelle **Gisement (Gt)** l'angle compris entre la ligne de foi de l'avion et la **droite** passant par la **balise** et **l'avion**





Le radio-compass. NDB + ADF

NDB pour Non Directional Beacon ou Locator désigne la station émettrice au sol.



Il est utilisé pour déterminer la direction d'émission d'une balise fixe.

Pour atteindre une balise il suffit de placer la flèche de l'indicateur dans l'axe de l'avion.

Les phénomènes électrostatiques (orages) provoquent des perturbations dans la lecture.

Le récepteur de bord: **ADF** pour Automatic Direction Finder appelé également Radio-compas en Français. .

Le boîtier permet de sélectionner la fréquence de la balise choisie et de recevoir le signal.



Le VOR

La station au sol :

L'émission se fait en VHF de 108 à 117.95 MHz

Les indications d'un V.O.R. ont pour référence le **nord magnétique**.

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



Fréquence du VOR LTP
155,55 Mhz

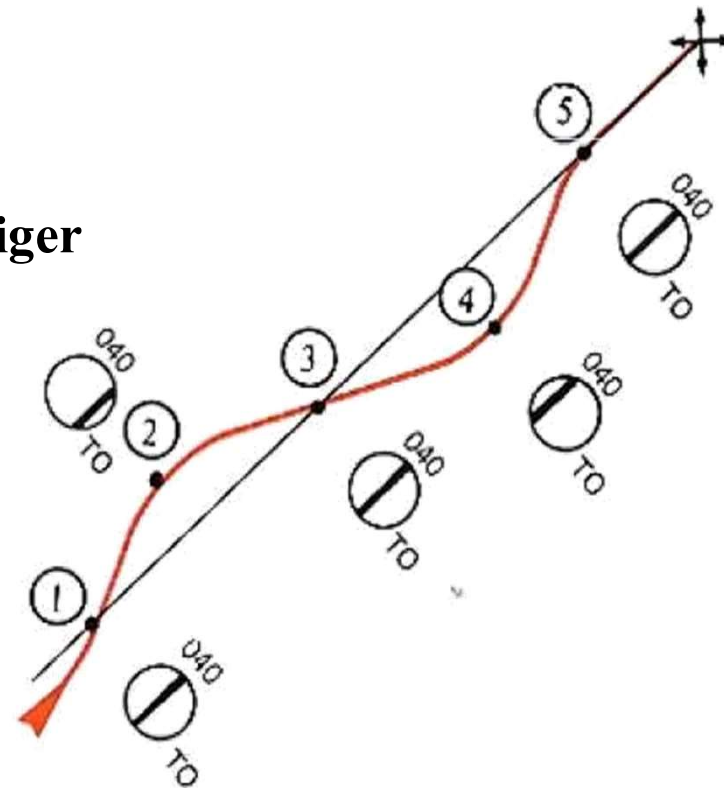
La mention
To/From signifie
que l'on est en
rapprochement /
éloignement de la
station
(QDM/QDR)



Exemple d'utilisation du VOR

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

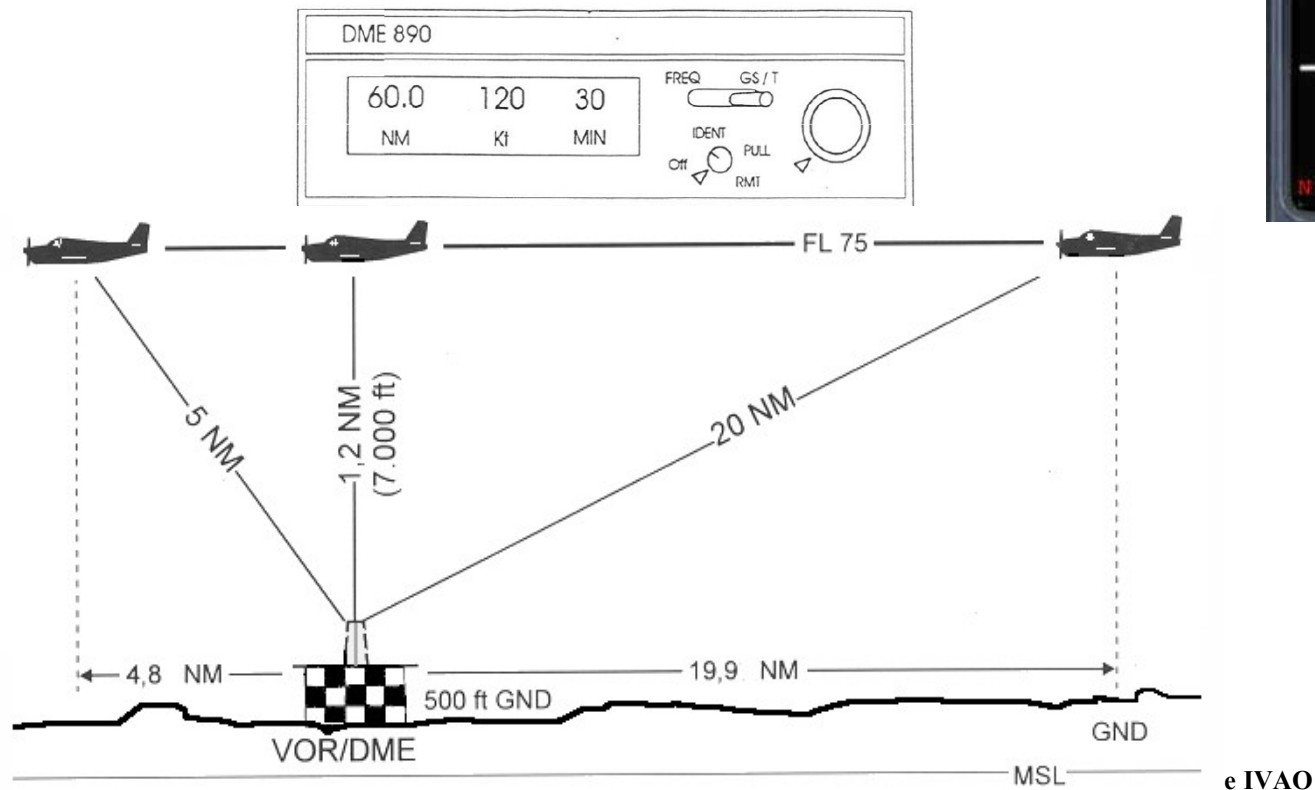
- (1) Tant que vous restez sur l'axe 040° l'aiguille reste centrée**
- (2) L'aiguille est à droite, Il faut corriger à droite pour revenir sur l'axe**
- (3) L'aiguille est à nouveau centrée, vous êtes revenu sur l'axe**
- (4) L'aiguille est à gauche, Il faut corriger à gauche pour revenir sur l'axe**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



Le DME

Cet appareil mesure la **distance oblique** 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 (VHF Direction Finder) (ou Goniomètre)

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° ...

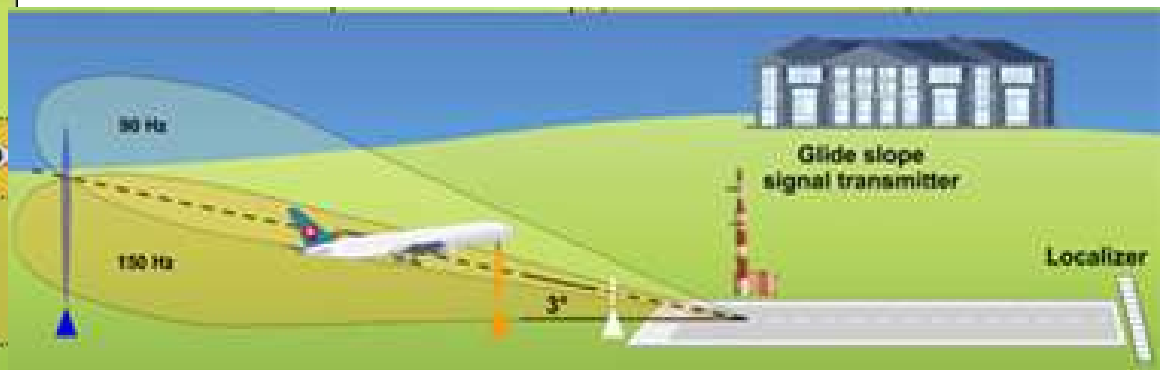
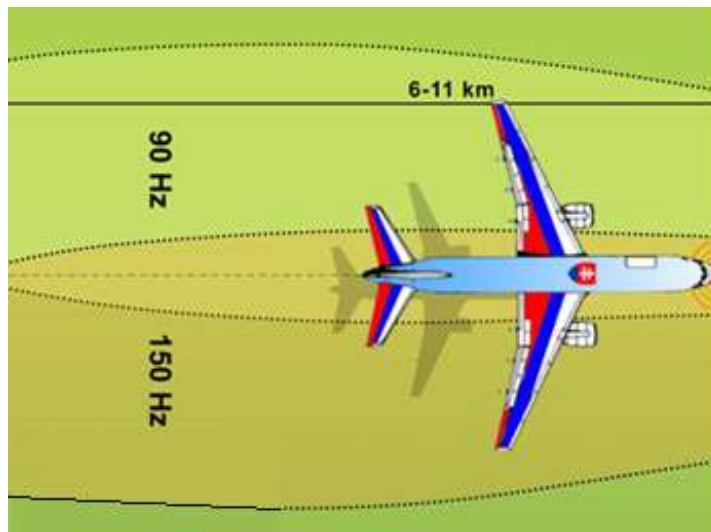
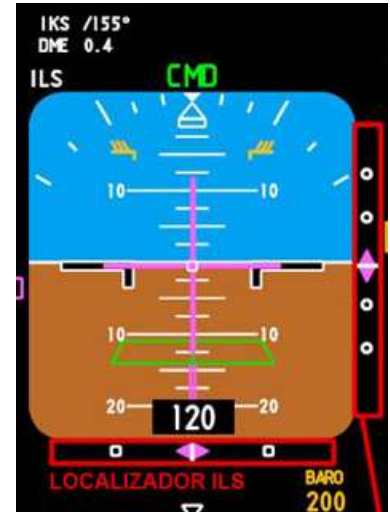
I.L.S. Instrument Landing System

Une antenne au sol et un instrument dans l'avion.

Un moyen homologué pour se poser par visibilité très limitée, ou nulle.

2 balises au sol

le **localizer** qui permet de repérer l'axe de piste
le **glide** qui permet de repérer le plan de descente.



Avantages et Inconvénients des systèmes de radionavigation au sol

- Avantages:
 - Plus précis et plus facile que la navigation avec une carte
 - Utilisable sans visibilité du sol.
 - Mauvaise météo
 - Vols en haute altitude
- Inconvénients:
 - Vulnérables car au sol
 - Soumis aux intempéries et à la malveillance
 - Pour certains d'entre eux:
 - Peuvent être brouillées
 - Brouillage électro magnétique ou électro statique (orage)
 - Non capté en basse altitude ou hors de vue directe
 - Doivent être calibrées régulièrement

Le transpondeur

Appareil qui renvoie vers une station radar un code à 4 chiffres transmis par le contrôle. **Obligatoire dans certaines classes d'espaces aériens**

C'est un élément de sécurité qui permet au contrôleur d'identifier avec certitude un aéronef.



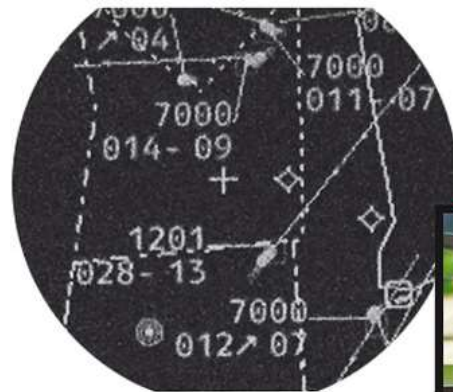
Des codes spéciaux :
7000 = avion en VFR
7600 = panne radio
7700 = détresse



Les transpondeurs les plus récents transmettent au contrôle, outre l'altitude, de nombreux paramètres du vol

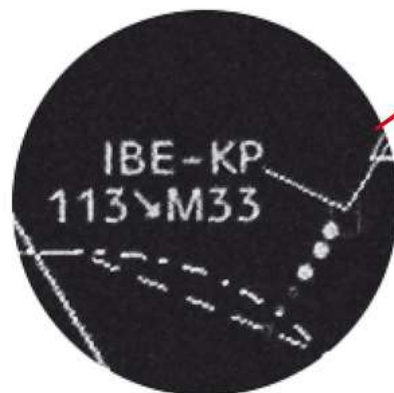
Le transpondeur

Ce que voit sur son écran le contrôleur au sol



Les codes « 7000 »

Liner compagnie IBERIA
en descente du niveau 113

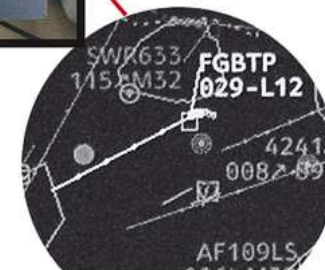


03/08/2025



French Air Force
Niveau 150

Aviation générale
F-GBTP
2 900 pieds QNH



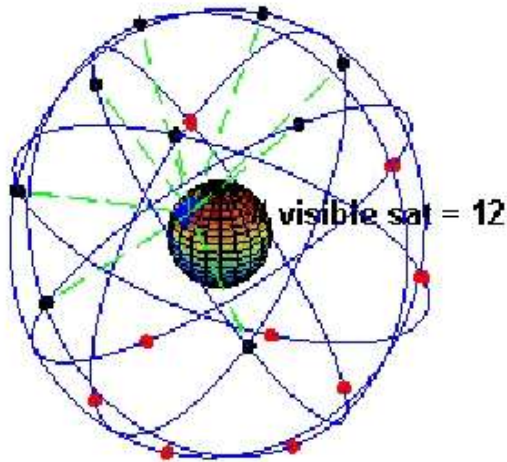
in Wikipedia

Navigation

Systèmes de positionnement/Navigation par satellites

Le premier fut le GPS, mis en place par le département de la Défense des États-Unis à des fins militaires à partir de 1973, le système avec vingt-quatre satellites est totalement opérationnel en 1995.

Système de navigation qui donne la position de l'avion à partir de données issues de satellites.



- 24 satellites à 20 000 km
- révolution de 12 heures
- minimum 3 satellites
- précision de 100 m à 10 cm

Les systèmes de Positionnement / Navigation par satellites

GPS: Global Positioning System:

- GPS: Mis en place par le département de la Défense des États-Unis à des fins militaires à partir de 1973, le système avec vingt-quatre satellites est totalement opérationnel en 1995.

GNSS: Global Navigation Satellite System.

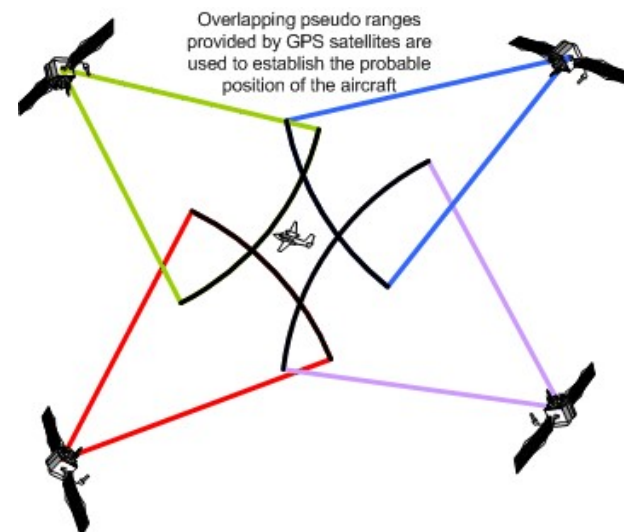
- GLONASS: le système russe, qui est pleinement opérationnel depuis décembre 2011.
- Beidou: le système de la République populaire de Chine. il est opérationnel uniquement sur le territoire chinois et les régions limitrophes. Son successeur Compass sera global et atteindra une précision de 10 m au sol.
- Galileo: le système civil de l'Union européenne, pleinement opérationnel depuis 2020. C'est aujourd'hui le système le plus performant au monde en termes de couverture et de précision. Interopérable avec le GPS Américain.
- L'Inde prépare également son système de positionnement, l'IRNSS.
- le Japon prépare le système QZSS (Quasi-Zenith Satellite System).

Le GPS et les GNSS



Les GPS/ GNSS sont des systèmes de positionnement basés sur de la triangulation à partir de 24 satellites en orbite basse envoyant des signaux vers la terre.

Pour bien naviguer au GPS / GNSS l'avion doit « voir » un nombre suffisant de satellites (au minimum 4)



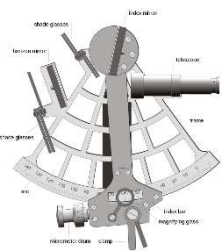
Aujourd'hui très fiable et la couverture est mondiale.
Disponible sur tablette ou systèmes embarqués.
En train de devenir le moyen principal de navigation.
Sa précision (< 1 m) a permis de le valider depuis 2011 comme moyen de navigation pour assurer des approches finales.

Avantages et Inconvénients des systèmes GPS / GNSS

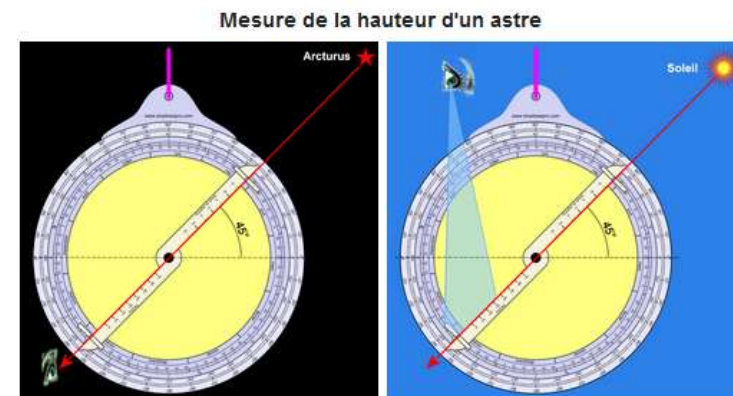
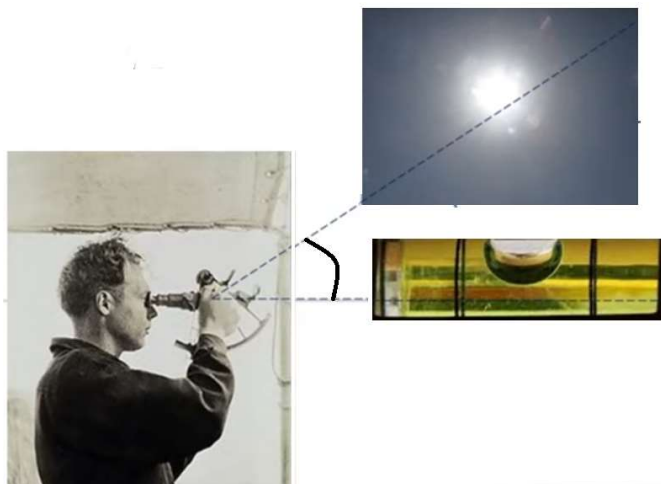
- Avantages:
 - Plus précis que la navigation avec système au sol
 - Utilisable sans visibilité du sol.
 - Mauvaise météo, Vols en haute altitude
 - Couverture mondiale même en zones inhospitalières
 - Plus difficile à détruire que système au sol.
- Inconvénients:
 - Dépendance stratégique et étatique.
 - Le signal peut être dégradé, occasionnant une perte de sa précision, si le gouvernement propriétaire le voulait.
 - Risque de destruction ou brouillage des satellites.
 - Confiance exagérée dans ses performances
 - Besoin de beaucoup de satellites, 24 à 32, pour une couverture terrestre.

Navigation céleste ou Astro-navigation

- Une pratique moderne et ancienne de navigation (dés le XV siècle).
 - Sans repère terrestre, les navigateurs se sont repérés grâce à l'observation des astres.



- La **hauteur d'un astre au-dessus de l'horizon**, facilement mesurable par les «ancêtres» du sextant, tels que l'astrolabe, permet de calculer la **latitude** (petit cercle).
- La mesure de **longitude**, n'a été véritablement possible qu'au XVIII^e siècle avec l'invention de chronomètre (ou garde-temps) précis qui permettait de «garder» le temps du méridien d'origine.



1 - Mesure de la hauteur d'Arcturus.

2 - Mesure de la hauteur du Soleil.

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Astrolabe>

Avantages et Inconvénients des systèmes de Navigation céleste ou Astro-navigation

Avantages:

- Ne peut pas être brouillé, ni détruit
- Aucun satellite à lancer ou construction terrestre.
- Pour les avions volant très vite utilisation de système de visée automatique haute résolution (CCD/CMOS) couplé à un ordinateur avec horloge précise.
 - SR71: Nortronics Nav 14-V2 (R2-D2)



Inconvénients:

- Nécessite un système de calcul puissant au regard de la vitesse des avions aujourd'hui.
- Vol en basse altitude, si le ciel est couvert pas d'étoile ou soleil visible.

48) Pour l'utilisation d'un GPS en vol VFR, il est conseillé :

- a) de s'assurer que l'appareil est homologué pour les conditions du vol projeté.
- b) d'avoir une connaissance suffisante de l'équipement utilisé.
- c) ~~de mettre régulièrement à jour la base de données.~~
- d) toutes les propositions sont exactes.

49) Le radiocompas indique :

- a) Une route vraie.
- b) Un gisement.
- c) Une route magnétique.
- d) Un cap magnétique.

50) Un V.O.R. est un équipement :

- a) pneumatique.
- b) électronique fonctionnant avec un radar.
- c) ~~jouant le même rôle qu'un transpondeur.~~
- d) de radionavigation qui permet au pilote de se situer par rapport à une balise.

51) Les indications d'un V.O.R. ont pour référence le nord :

- a) magnétique.
- b) géographique.
- c) vrai.
- d) compas.

52) Le D.M.E. est un équipement qui :

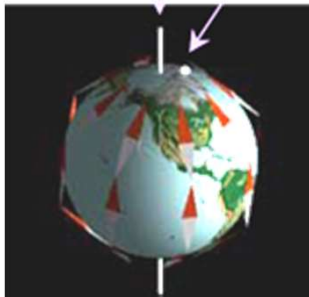
- a) indique la pente à suivre pour l'atterrissage.
- b) est réservé au trafic militaire.
- c) ~~est couplé au GPS et sert d'alarme de proximité du sol.~~
- d) est couplé au V.O.R. et indique la distance le séparant de la balise.

Comment se préparer à réussir le BIA?

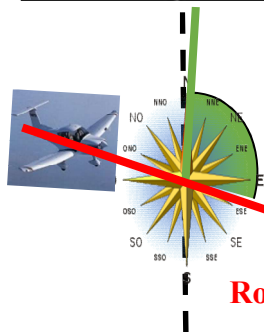
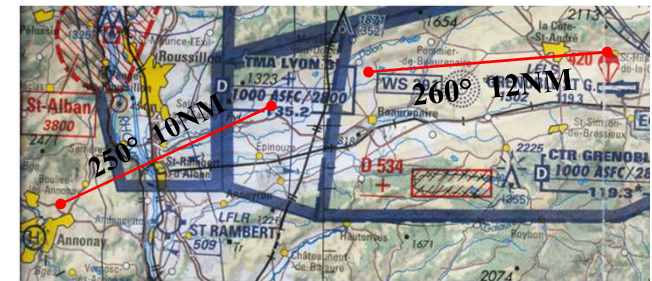
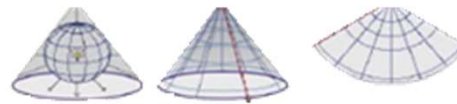
- Etre assidu et participer activement aux cours
- Revoir les cours:
 - Une connaissances parfaite des pages Résumé de chaque sous chapitre.
 - En refaisant les exemples de test incluses dans le cours.
- Autres façon de se préparer:
 - Sites gratuit d'annales du BIA
 - <https://test3000.net/bia-caea/bia.php>
 - Très bon site avec corrections expliquées
 - <https://annales-bia.fr/>
 - Prendre les annales à partir de 2018 et au delà.
 - Il existe aussi des sites de préparation payants sur internet.
 - Site de vidéos explicatives de La délégation académique à la formation aéronautique et spatiale de l'académie de Montpellier. Canal BIA.
 - <http://www.amsaquitaine.fr/canal-bia-les-videos/>



Nord
magnétique Nord
vrai



4.1 La Navigation



Route magnétique: $106^\circ - 1^\circ = 105^\circ$

Route Vraie = 106°



Pour aller au-delà du
programme BIA sur la
compréhension de la
navigation.

Notion de Longitude et histoire de l'adoption du Méridien de Greenwich.

- **Les méridiens de Greenwich.** Placée dans l'échancrure du toit de l'Observatoire Royal à la demande de Cassini de Thury, la lunette méridienne de Bradley définit en 1783 la ligne exacte du méridien de Greenwich. Mais, en 1850, Sir George Airy fait construire une nouvelle lunette méridienne dans une salle contiguë à l'instrument de Bradley. Le méridien de Greenwich choisi comme référence internationale sera celui qui est défini par la lunette d'Airy.
- **La conférence de Washington 1884.** Il n'existe pas de méridien remarquable qui peut être considéré comme une origine naturelle des longitudes, à la différence des latitudes qui s'appuient sur un parallèle particulier (l'équateur). Les différents États ont donc adopté une longitude zéro arbitraire. Mais, en 1883, la Grande-Bretagne, les États-Unis et le Canada utilisent le méridien londonien (Greenwich) comme origine commune pour leurs longitudes et le calcul de l'heure. Plus couramment utilisé que les autres, il sera sans surprise adopté comme méridien zéro international par la conférence de Washington réunissant vingt-cinq pays.
- Pourtant, si l'utilité d'un tel méridien est d'emblée reconnue par tous, la question du choix suscite un débat. La France, réticente à accepter le méridien britannique comme référence mondiale, propose de déterminer un méridien politiquement neutre. La proposition française est rejetée. Le méridien de Greenwich est à l'époque utilisé par plus de 65% des navires en circulation à travers le monde. Les 35% restants utilisent plus de dix méridiens différents. Le méridien de Greenwich est donc la première proposition concrète soumise au vote. 22 pays ont voté *pour*, Saint-Domingue a voté *contre* et le Brésil et la France se sont abstenus.
- Après 1884, les pays qui ne se servent pas du méridien de Greenwich commencent à mettre en application les décisions de la conférence de Washington. La France gardera le temps moyen de Paris (retardé de 9 minutes 21 secondes par rapport à Greenwich) jusqu'en 1978 et son système géodésique (la NTF) restera centré sur Paris jusqu'au 31 décembre 1999. Depuis le 1er janvier 2000, le RGF93 (nouveau système basé sur le méridien de Greenwich) est le seul référentiel officiel français sur son territoire métropolitain.

Histoire de l'adoption du Méridien de Greenwich.

- **Histoire** Différents méridiens origine Le débat sur le choix du méridien international d'origine des longitudes débute en **1880**. Depuis les origines de la cartographie, les géographes ont souvent fixé le méridien origine des longitudes à l'Ouest de l'Europe (Océan Atlantique) : Ptolémée, au 2ème siècle, a choisi les îles Fortunées (Canaries) ; les géographes arabes ont opté pour le détroit de Gibraltar ; les Hollandais, pour le Pic de Tenerife ; Mercator, pour l'île de Corvo (Açores) et, à l'époque de Louis XIII, les Français ont adopté l'île de Fer, la plus occidentale des Canaries, proche de Tenerife. Choisir l'un de ces méridiens en usage à l'époque conserverait les graduations en longitude de certaines cartes. Il est estimé préférable de choisir le méridien d'un observatoire déjà existant. L'essentiel est que ce méridien passe à proximité d'autres observatoires qui pourraient ainsi participer à la détermination précise de l'heure. Les observatoires de Venise, de Berlin, de Paris, de Washington et même la pyramide de Gizeh sont proposés.
- **De l'île de Fer à Paris...** « A la suite des cartes de Ptolémée la plupart des cartographes français du 16ème siècle prirent pour méridien origine le méridien de l'île de Fer (Canaries). Les astronomes de l'académie des Sciences, fondée en 1666, parvinrent à préciser la position du méridien de Paris qui supplanta peu à peu celui de l'île de Fer. Finalement, la France adopta en 1911 le méridien de Greenwich. En 1720, G. Delisle, épris d'exactitude, justifia le chiffre de 20° tout rond qu'il adopta pour la longitude de Paris. En 1789, l'expédition de Verdun, Borda et Pingré plaça définitivement l'île de Fer à 20°2'31" de Paris. Au 19ème siècle, la carte d'état major ne se réfère plus qu'au méridien de Paris et les cartes topographiques des autres États à leur observatoire national. C'est le développement des transports et la nécessité d'adopter une heure universelle et des fuseaux horaires avec des décalages d'heures rondes pour les heures locales qui vont aboutir au choix du méridien international de Greenwich proposé par les États-Unis dès 1884 (conférence de Washington). La raison en était la domination anglaise (et du monde anglo-saxon) sur les mers, dans le monde et dans le domaine des cartes marines. La France résistera jusqu'en 1911.

➤ Les coordonnées géographiques sont traditionnellement exprimées dans le système **sexagésimal**, parfois noté « DMS » :

- degrés (°) minutes (') secondes (").

L'unité de base est le degré d'angle (1 tour complet = 360°), puis la minute d'angle (1° = 60'), puis la seconde d'angle (1° = 3 600").

➤ De nos jours, les notations équivalentes en minutes décimales ou degrés décimaux sont également utilisées :

- 49° 30' 00" - 123° 30' 00" dans le système sexagésimal correspond à 49,5000° - 123,5000° en **Degré décimal** (notation décimale, DD.DDDDD°). Avec 2 décimales il y a une précision de 1km, avec 4 décimales de 10m, avec 6 décimales, de 1 mètre.

➤ Conversion de minutes et secondes en fraction décimale de degré.

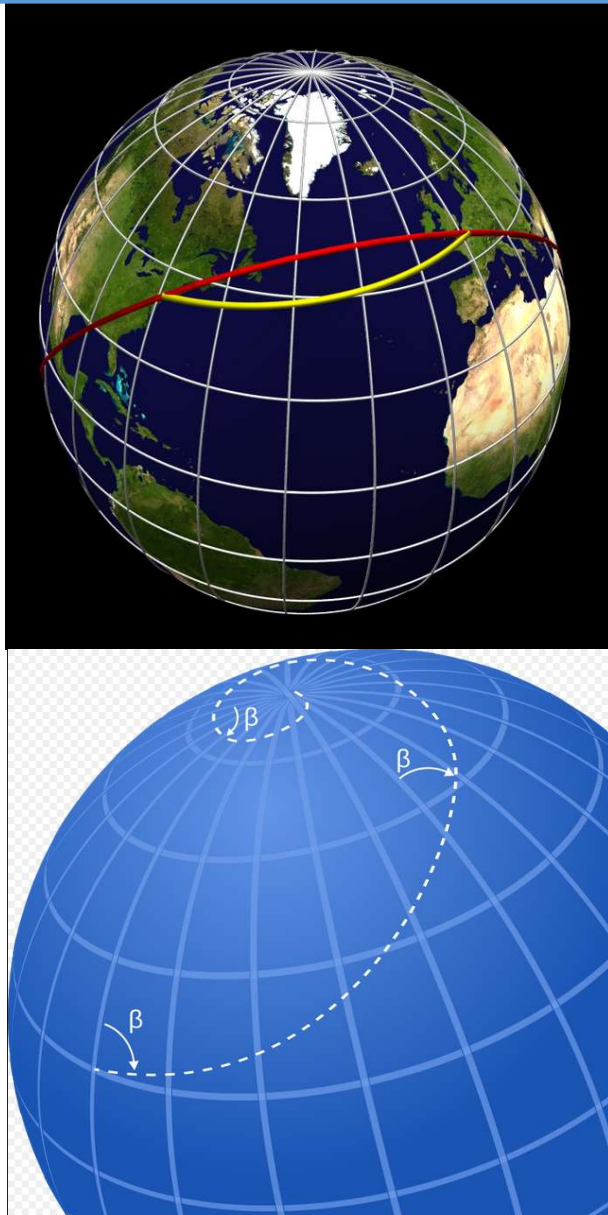
- les informaticiens jugent parfois le système sexagésimal peu pratique à manipuler et, préfèrent convertir les minutes et secondes en fractions décimales de degré "degrés décimaux".

Formulation générale : latitude (degrés décimaux) = degrés + (minutes / 60) + (secondes / 3600)

Exemple : Soit une latitude de 45° 54' 36".

Exprimée en degrés et fraction décimale de degré, la latitude sera : latitude = 45 + (54 / 60) + (36 / 3600) = 45,91°

- Sur la Terre, la navigation nécessite un système de référence, dit système géodésique. Le système désormais le plus utilisé est le WGS84 (*World Geodetic System, 1984*).
- Connaissant les coordonnées de l'avion et celles du point de destination, on peut alors calculer (ou mesurer sur une carte) la route à suivre pour rejoindre ce dernier point.
- Différentes routes possibles:
 - A cap constant (à angle constant avec les méridiens), la loxodromie ;
 - La plus courte, l'orthodromie (un arc de grand cercle)
 - En fonction des conditions externes (météorologie, courants, vent...) ou des contraintes choisies (vitesse maximale, consommation minimale, etc.), ou due au contrôle aérien, zones restreintes ...

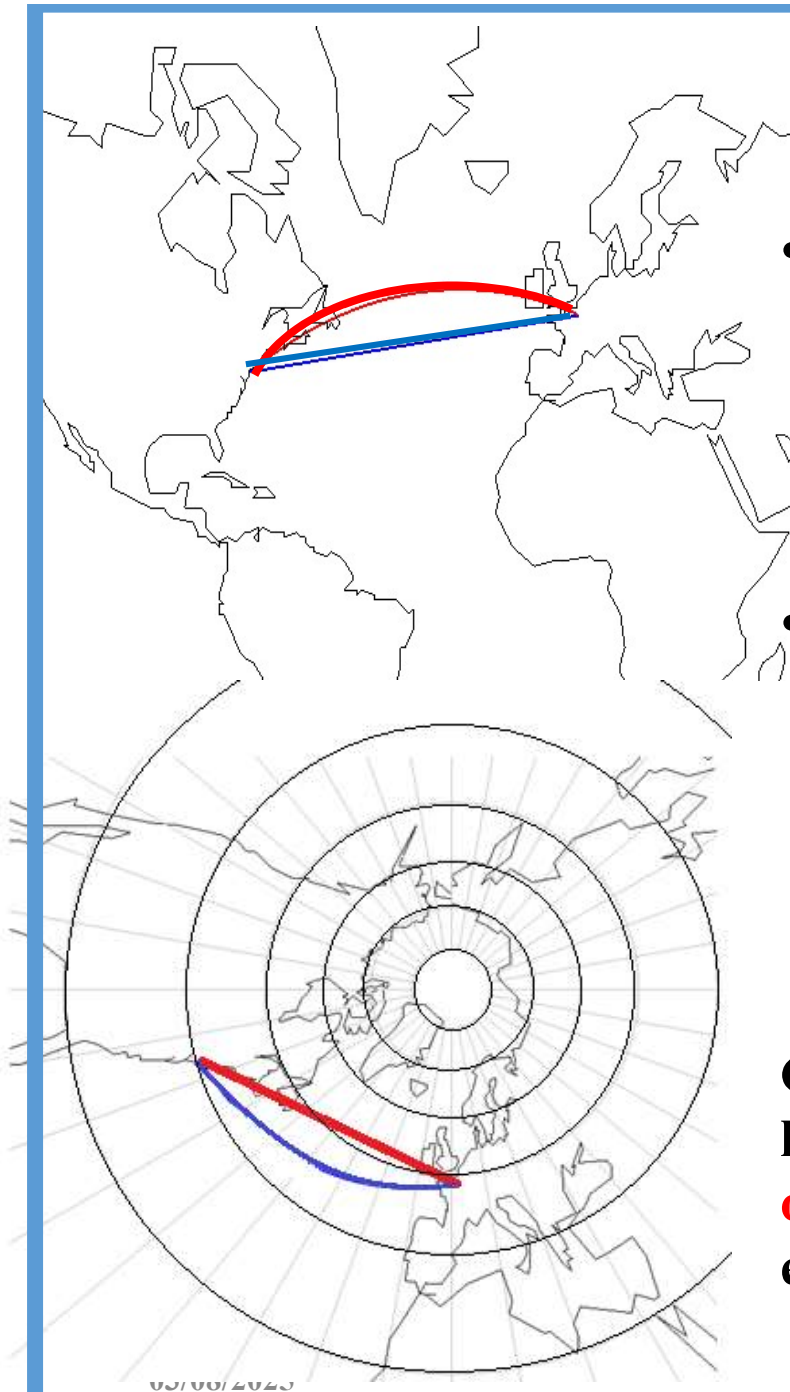


Route à cap constant: Loxodromie

- Une **loxodromie** est une courbe qui coupe les méridiens d'une sphère **sous un angle constant**. C'est la trajectoire à route vraie constante emprunté par un navire qui suit un cap constant.
- Elle est représentée sur une carte aéronautique en projection de Mercator par une ligne droite, mais elle ne représente pas la distance la plus courte entre deux points.

Rappel: La route vraie est l'angle entre la direction du nord géographique et la direction suivie par un mobile.

Comparaison entre les trajectoires **loxodromique (jaune)** et orthodromique (rouge) entre Paris et New York, sur la sphère terrestre.



Route la plus courte: Orthodromie

- L'**orthodromie** désigne le chemin le plus court entre deux points d'une surface. Sur une sphère, c'est le plus petit des deux arcs du grand cercle joignant les deux points.
- Dans la vie courante, cette plus courte distance entre deux points sur Terre est désignée sous le nom de « **distance à vol d'oiseau** » entre ces deux points

Comparaison entre les routes
loxodromique (bleue) et
orthodromique (rouge) entre Paris
et New-York.

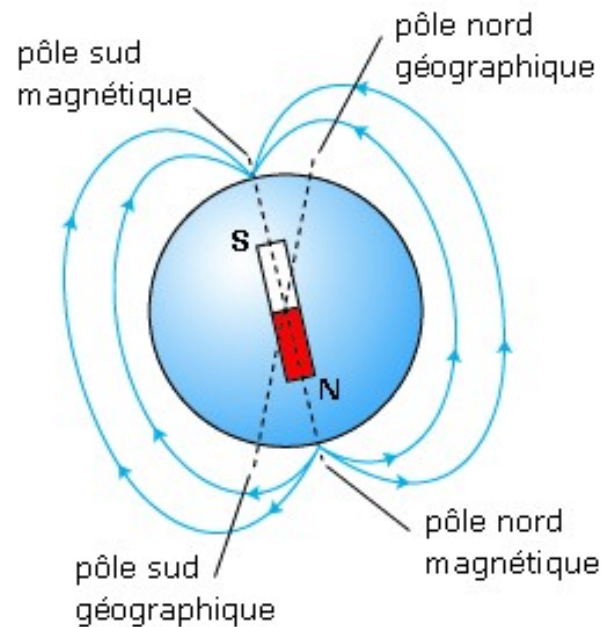
Déclinaison magnétique terrestre

- L'aiguille de la boussole pointe approximativement vers le nord sur presque toute la surface terrestre. Toutefois, à cause de la forme complexe du champ géomagnétique, il existe peu d'endroits où l'aiguille pointe exactement vers le nord. L'aiguille s'aligne avec la composante horizontale du champ magnétique, en direction du nord magnétique. En général on pense que l'aiguille de la boussole pointe vers le pôle nord magnétique. Ceci n'est pas complètement correct, une personne qui suivrait cette aiguille aboutirait finalement au pôle nord magnétique, mais en n'empruntant pas le chemin le plus court.
- La première évaluation connue de la déclinaison magnétique a été réalisée par les Chinois vers l'année 720 de notre ère. En 1700, Edmund Halley a conçu l'idée de montrer la déclinaison sous la forme de cartes de contour: **ISOGONE** ou **LIGNE ISOGONE**. Lieu des points ayant même DÉCLINAISON MAGNÉTIQUE. L'institut de Physique du Globe de Paris publie périodiquement une carte des isogones de la France. À cause de la variation séculaire du champ magnétique, la déclinaison varie avec le temps. Les changements de déclinaison peuvent être très importants. Une variation séculaire, c'est le lent changement du champ magnétique terrestre sur des périodes allant de quelques années à des millénaires. La déclinaison magnétique de Londres est passée d'environ 10° E, à la fin du XVIe siècle, à 25° W, au début du XIXe siècle, pour passer à 3° W, à l'heure actuelle.

Le champ magnétique terrestre

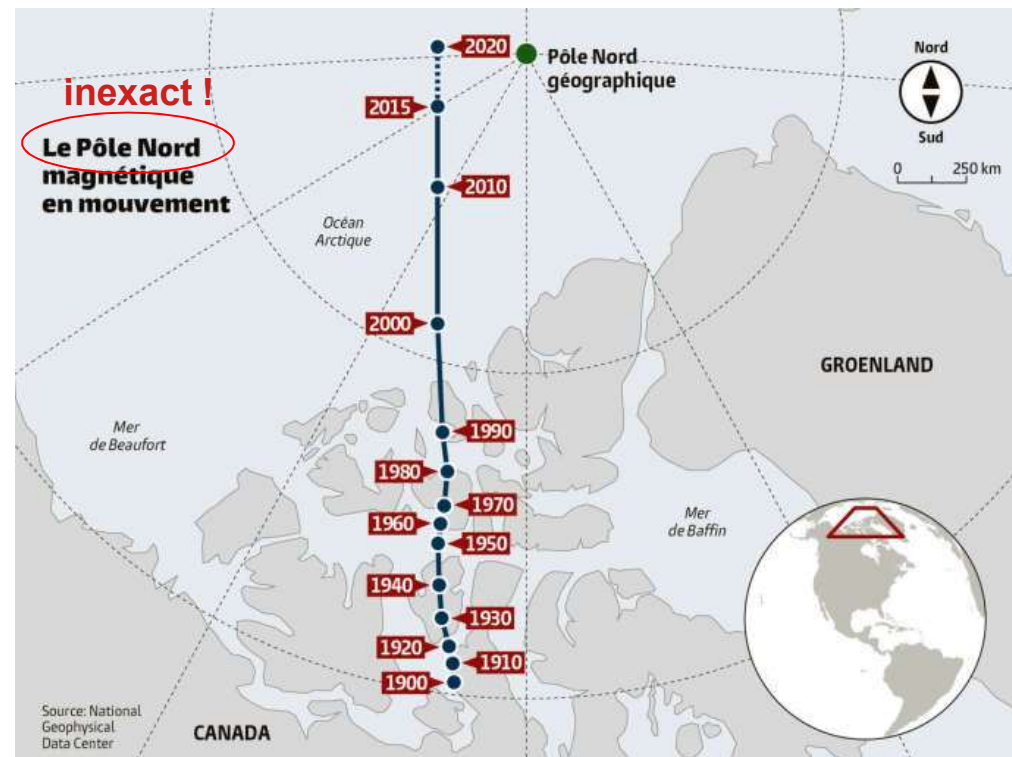
La terre est analogue à un barreau aimanté (dipôle), entouré d'un champ magnétique. L'axe du dipôle est oblique (20° en 1900, 4° en 2020) par rapport à l'axe N-S de rotation de la Terre

Ce dipôle est **instable en position** (la direction de l'axe N-S varie en permanence un peu $\rightarrow$ la position des pôles magnétiques varie), et même en sens (inversions du champ magnétique terrestre à échelle de temps de plusieurs milliers d'années : à quand la prochaine ?)



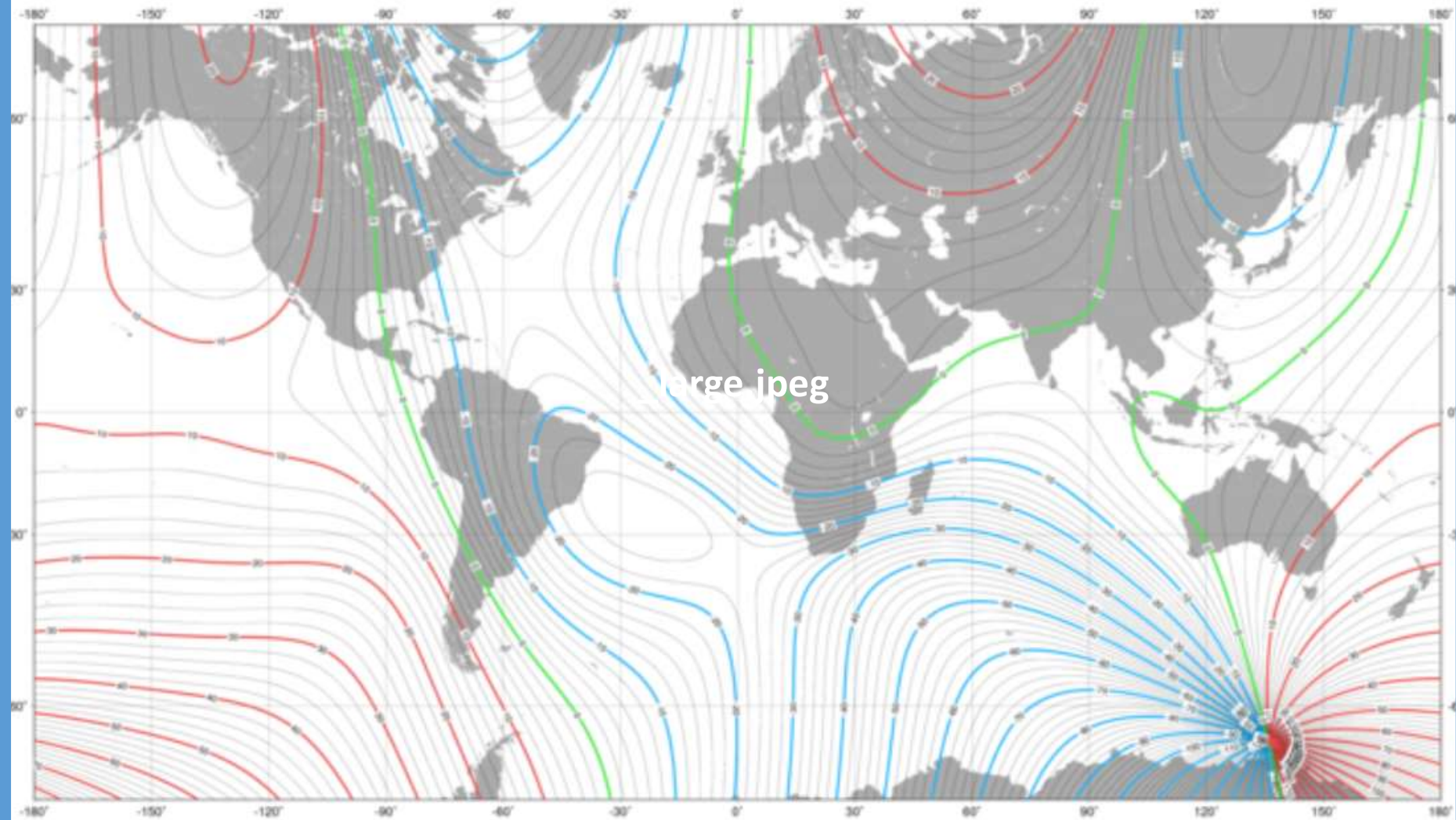
Près des pôles, l'inclinaison des lignes de champ rend la boussole inutilisable

On parle souvent du pôle Nord magnétique en le situant près du pôle Nord géographique. En réalité **le Nord géographique = le Sud magnétique**



International Geomagnetic Reference Field Model -- Epoch 2020

Main Field Declination (D)



https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/data/mag_maps/browse/D_map_mf_2020

Le GPS

La Terre n'est pas une boule régulière (des creux et des bosses). Sa forme lissée est appelée le **géoïde**

Le positionnement GPS se fait lui par rapport à un ellipsoïde géodésique idéal

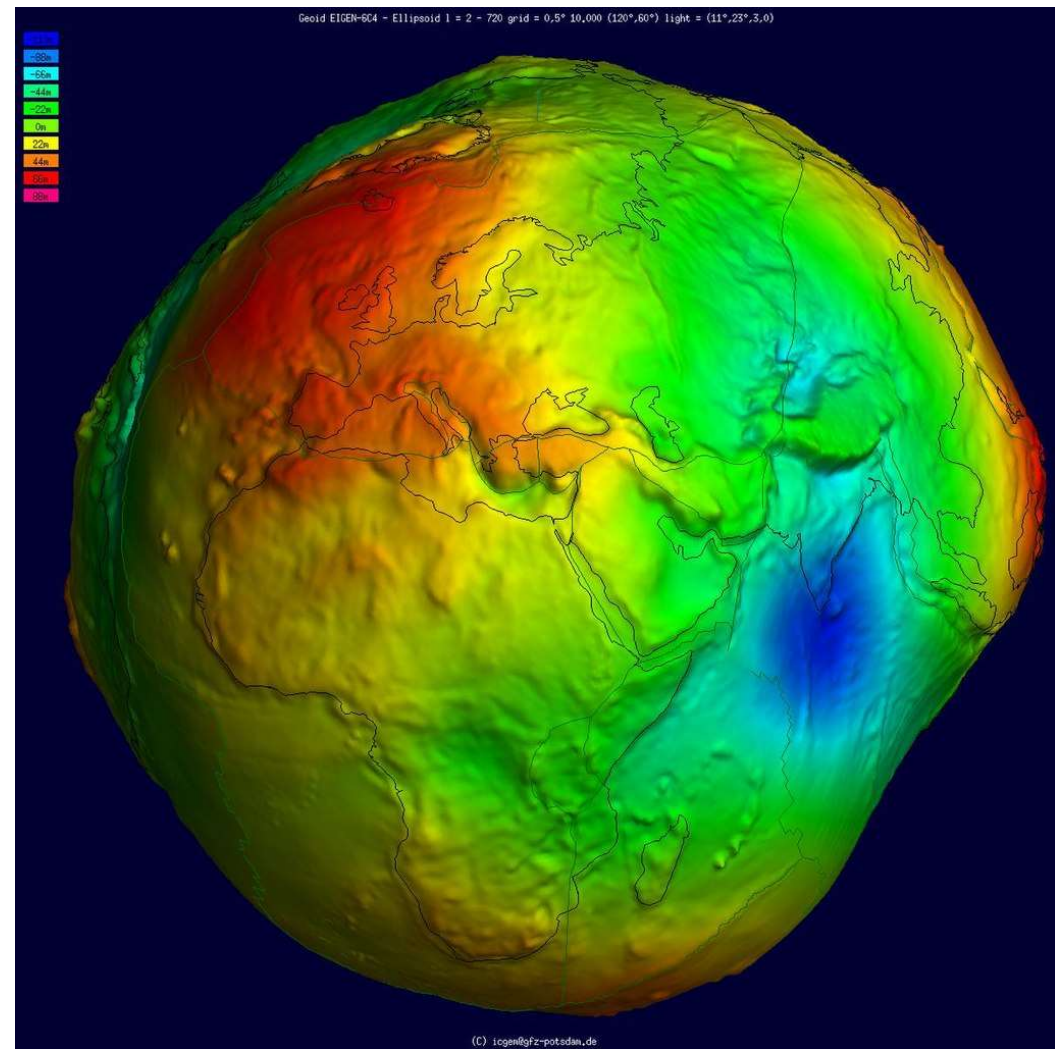
Avec le système WGS 84, l'écart entre le géoïde et l'ellipsoïde de référence peut atteindre 100m ! (en France, "bosse" du géoïde de l'ordre de + 50m)

L'écart entre l'altitude donnée par les cartes et l'altitude fournie par le GPS est le GUND ("geoid undulation"). Il faut en tenir compte si on utilise le GPS comme moyen d'approche terminale



03/08/2025

AIPBIA Instrument de bord



Le GUND est donné sur certaines cartes de terrain (ici : Macon LFLM, GUND = 160ft).

Calcul Vent traversier et Vent Effectif

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 route

Le vent effectif V_e Parallèle à la route

Exemple de calcul de VT et Ve :

Route de l'avion = 045° ; vent réel : $(V_w) = 345^\circ / 20\text{kt}$

Angle au vent $\alpha = 345^\circ - 45^\circ = 300^\circ$

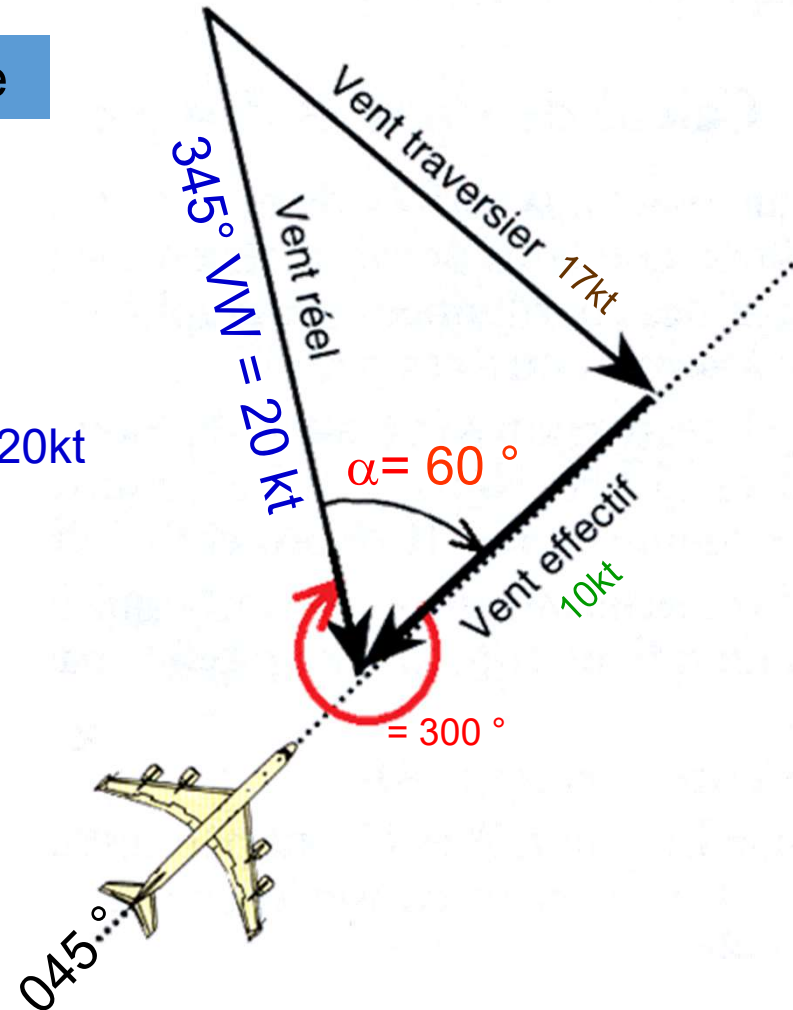
$300^\circ - 360^\circ = -60^\circ$ donc $\alpha = 60^\circ$ à gauche

Calcul du vent effectif :

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

Calcul du vent traversier :

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



Calcul angle de dérive maximum

FB = Facteur de base = temps pour parcourir 1NM

exprimé en h : $FB = 1/V_p$

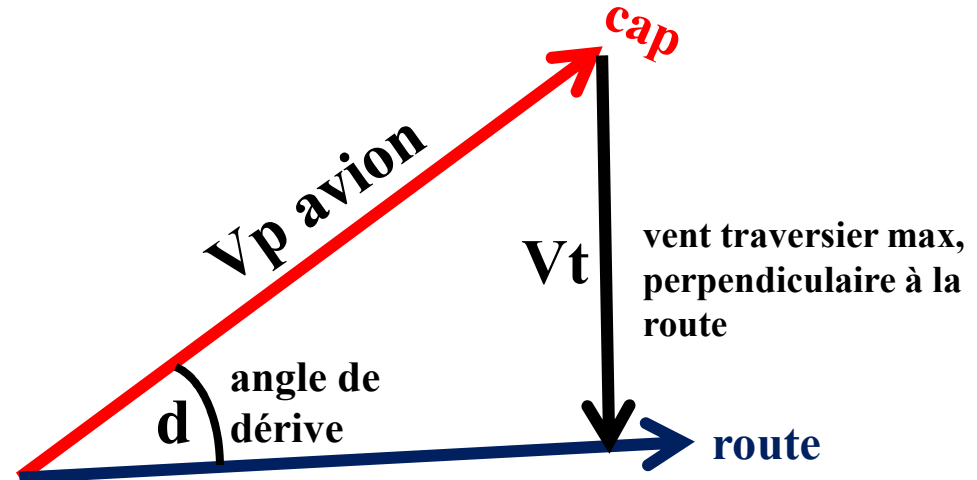
exprimé en min : $FB = 60/V_p$

$$\rightarrow V_p = 60 / FB$$

angle de dérive = d

$$\sin(d) = V_t / V_p$$

$$\sin(d) = V_t \times FB/60$$



si d est un angle petit, $d \approx \sin(d)$ (d étant exprimé en radians)

conversion de radian vers d° : $1 d^\circ = 2\pi/360 \text{ rd} = \pi/180 \approx 1/60 \text{ rd}$

$$\text{d'où : } d \text{ (en degrés)} = 60 \times d \text{ (en radian)} = 60 \times V_t \times FB/60$$

$$d \text{ (en degrés)} = V_t \times FB$$

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

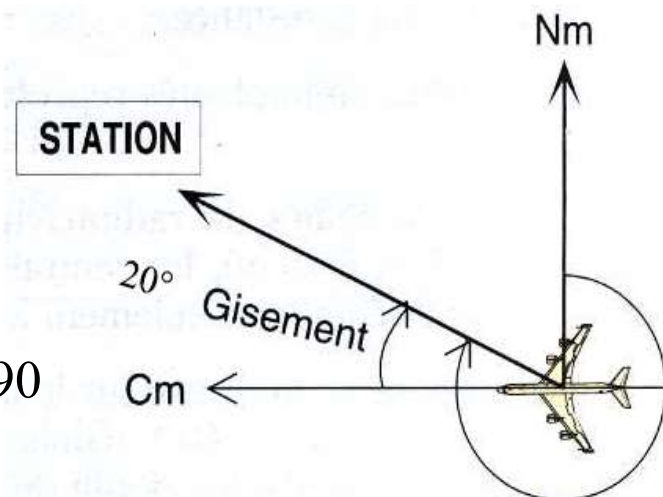


$$QDM = Gt + Cm$$

$$Cm \text{ de l'avion} = 270^\circ$$

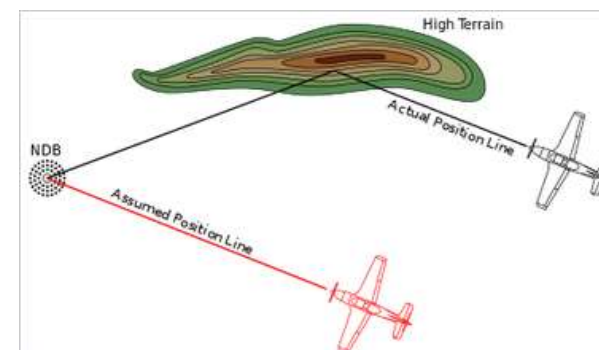
$$\text{Gisement} = 20^\circ$$

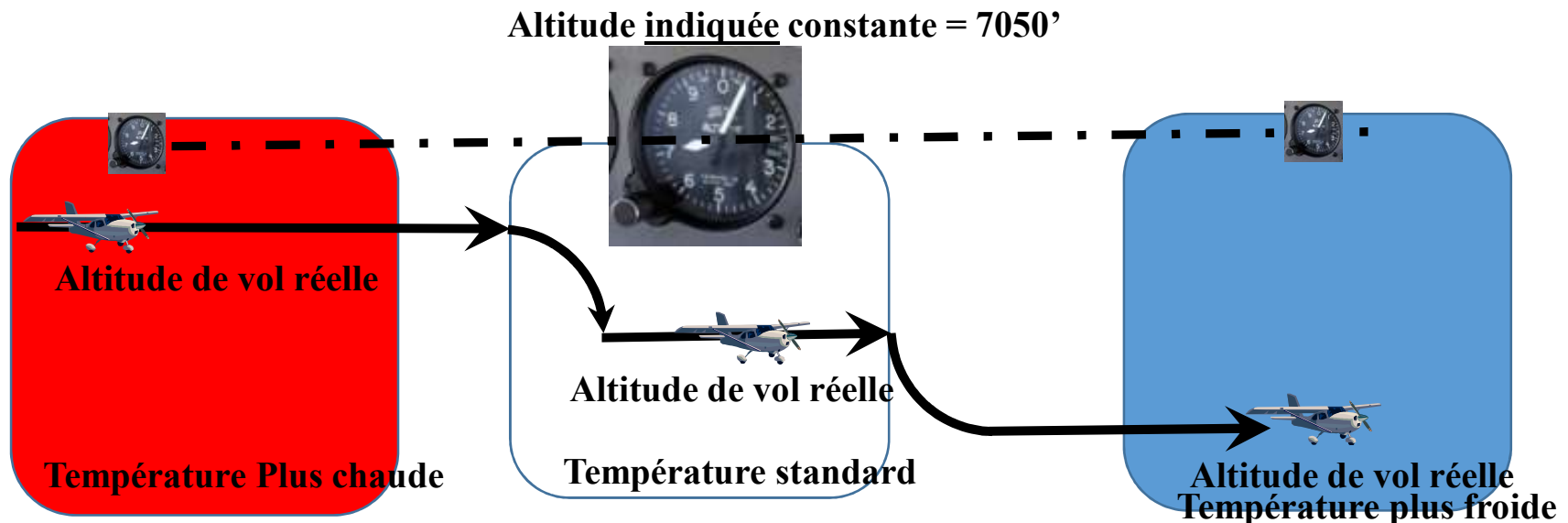
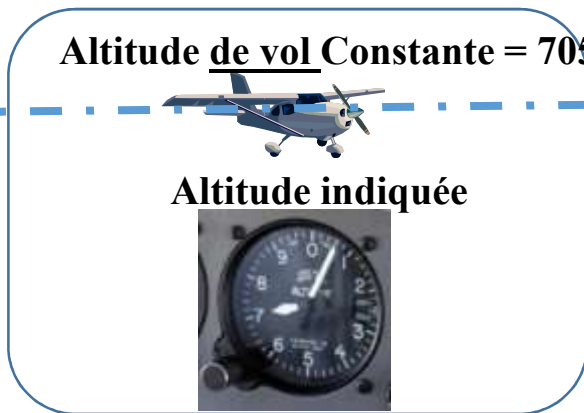
$$QDM = 270 + 20 = 290$$



Les NDB ont un **avantage majeur** comparé aux VOR: le signal émis par le NDB suit la courbure de la Terre, il peut donc être **capté à de plus grandes distances et à plus basse altitude**.

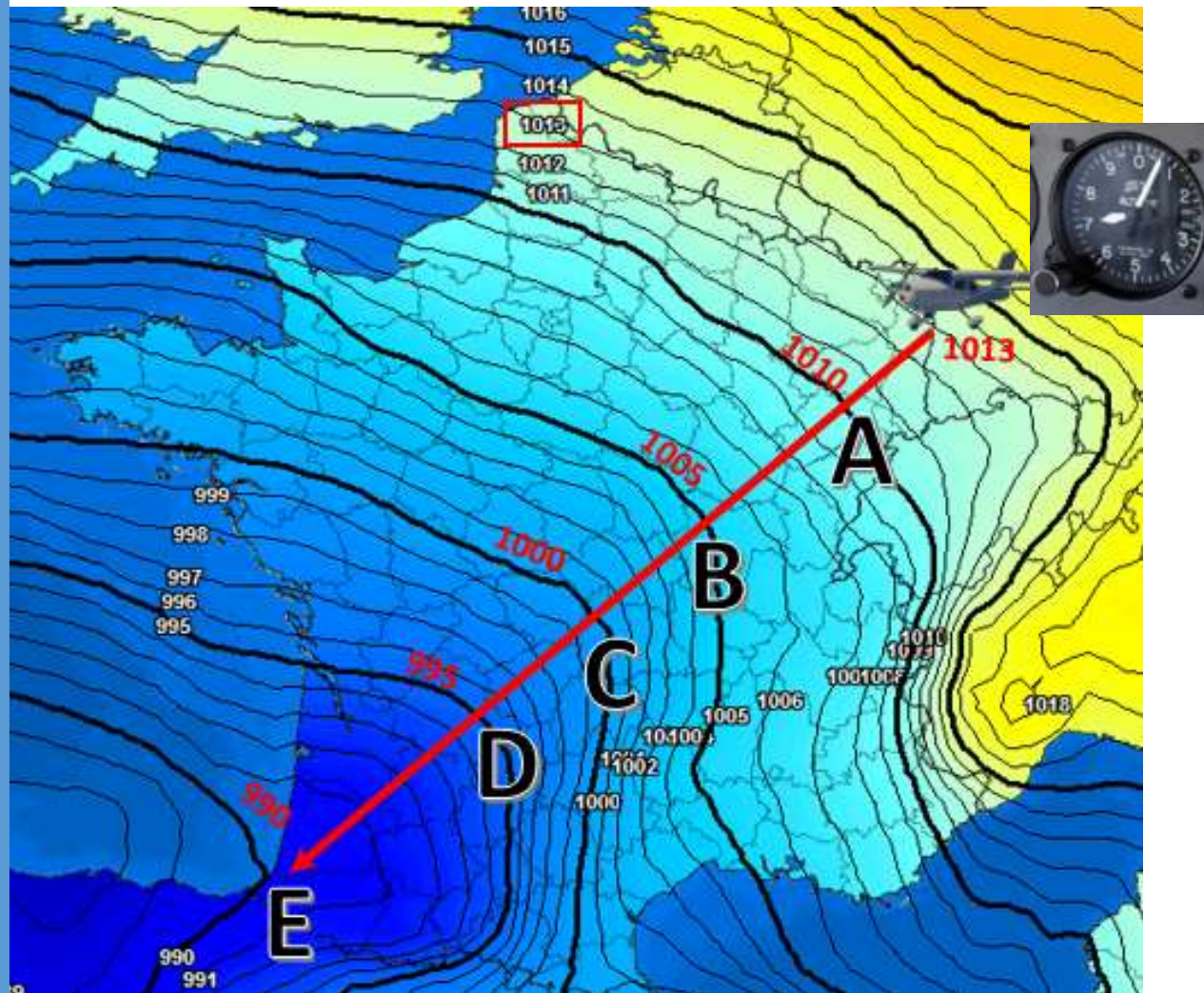
Cette aide radio doit être utilisée avec beaucoup de précautions en présence de **phénomènes électrostatiques (orages)** qui **provoquent des perturbations dans la lecture**. Il est aussi sensible aux parasites industriels et aux effets de côte.





L'altimètre est un baromètre qui mesure une pression mais qui est étalonné en pieds. Sachant que la densité de l'air varie avec l'altitude mais aussi avec la température et les Conditions atmosphériques. D'où le besoins de recalcr son altimètre en fonction du QNH local et d'intégrer l'impact de la différence entre la température locale et la température standard.

Strasbourg - Biarritz



En volant toujours à la même altitude (7050 pieds), considérant une atmosphère standard et sans toucher au calage altimétrique, quelle sera ma véritable altitude à chaque point?

Quand je vole d'une haute pression (ici 1013) vers une basse pression (ici 990) Sans ajuster mon calage altimétrique Mon altitude vraie est inférieure à celle indiquée.

La pression statique diminue d'environ 1 hPa tous les 28 pieds (8,5m) en dessous de 2000m d'altitude.

A 6966' B 6826' C 6686' D 6546' E 6406'

Ce module a été conçu et réalisé par un groupe de passionnés,

Merci à eux. Nous avons utilisé de nombreuses sources et documents dont:

- Mémo VFR de la FFA: Memo_VFR_2014_2015.pdf
- CIRAS de Montpellier : <http://www.ac-montpellier.fr/cid93122/cours-et-documents-pour-les-formateurs-au-bia-ou-au-caea.html>
- Fiches de Laetitia Souteyrat : <http://coursdubia.pagesperso-orange.fr/>
- CIRAS de Lille : <http://ciras.ac-lille.fr/ressources-pedas/ressources-bia/les-cours>
- Claudia Chan Yone et Olivier Gras: <http://sitelec.org/cours/bia/bia.htm>
- <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Objectif-Securite-le-bulletin.html>
- Diplôme Latécoère: Navigation
- Productions de l'Académie de Bordeaux. Bernard GUYON, Stéphane MAYJONADE
- <http://blog.crdp-versailles.fr/brevetinitiationaeronautique/>
- Fiches de Charles Pigaillem
- <http://federation.ffvl.fr/pages/brevet-dinitiation-aeronautique-bia>
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Instrument_de_bord_%28a%C3%A9ronautique%29#/media/File:Airbus-319-cockpit.jpg
- <http://serge.laforest.free.fr/principes/dme.htm>
- <http://wiki.flightgear.org/Fr/Radiobalises>
- Canal BIA Académie de Montpellier
- Annales BIA et CAEA
- https://geomag.nrcan.gc.ca/mag_fld/sec-fr.php