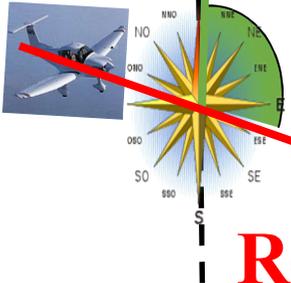
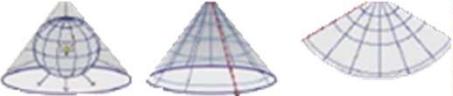
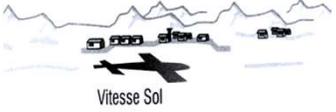
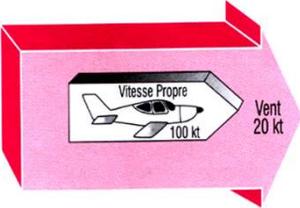
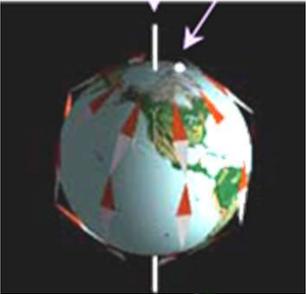




4. Navigation, Réglementation, Sécurité des vols

4.1 La Navigation

Nord magnétique Nord vrai



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

Route Vraie = 106°



4 – Navigation, réglementation, sécurité des vols

Compétences attendues	Savoirs associés	Niveau d'acquisition			
		1	2	3	4
<ul style="list-style-type: none"> Repérer les éléments essentiels à la préparation du vol Énoncer les principaux enjeux de la réglementation aéronautique Identifier les principaux enjeux de la sécurité des vols, notamment en termes de facteurs humains 	4.1 – La navigation 4.1.1 – Les grands principes de navigation <ul style="list-style-type: none"> Navigation à l'estime et cheminement à vue Route vraie, route magnétique, cap vrai, cap magnétique, déclinaison, déviation Distance entre deux points d'une carte Régimes de vol (vol à vue et vol aux instruments) 4.1.2 – Les outils de la navigation <ul style="list-style-type: none"> Cartes aéronautiques (principe de représentation) Aides à la navigation 				
	4.2 – Réglementation aéronautique 4.2.1 – Les organisations <ul style="list-style-type: none"> DGAC, l'EASA, l'OACI Fédérations délégataires et CNFAS Organisations professionnelles 4.2.2 – Contrôle d'un aéronef <ul style="list-style-type: none"> Règles générales d'entretien d'un aéronef Documents de suivi d'un aéronef (carnet de route, certificat de navigabilité) Visite prévol 4.2.3 – L'organisation de l'espace aérien <ul style="list-style-type: none"> Classes d'espaces aériens Zones à statuts particuliers (réglementées, interdites ...) Aérodromes, infrastructures et plates-formes aéronautiques Contrôle aérien Hauteurs de survol et les règles de priorité 4.2.4 – Titres aéronautiques <ul style="list-style-type: none"> Brevets, licences, qualifications 				
	4.3 – Sécurité des vols 4.3.1 – Gestion des risques <ul style="list-style-type: none"> Rôle des facteurs humains 				

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

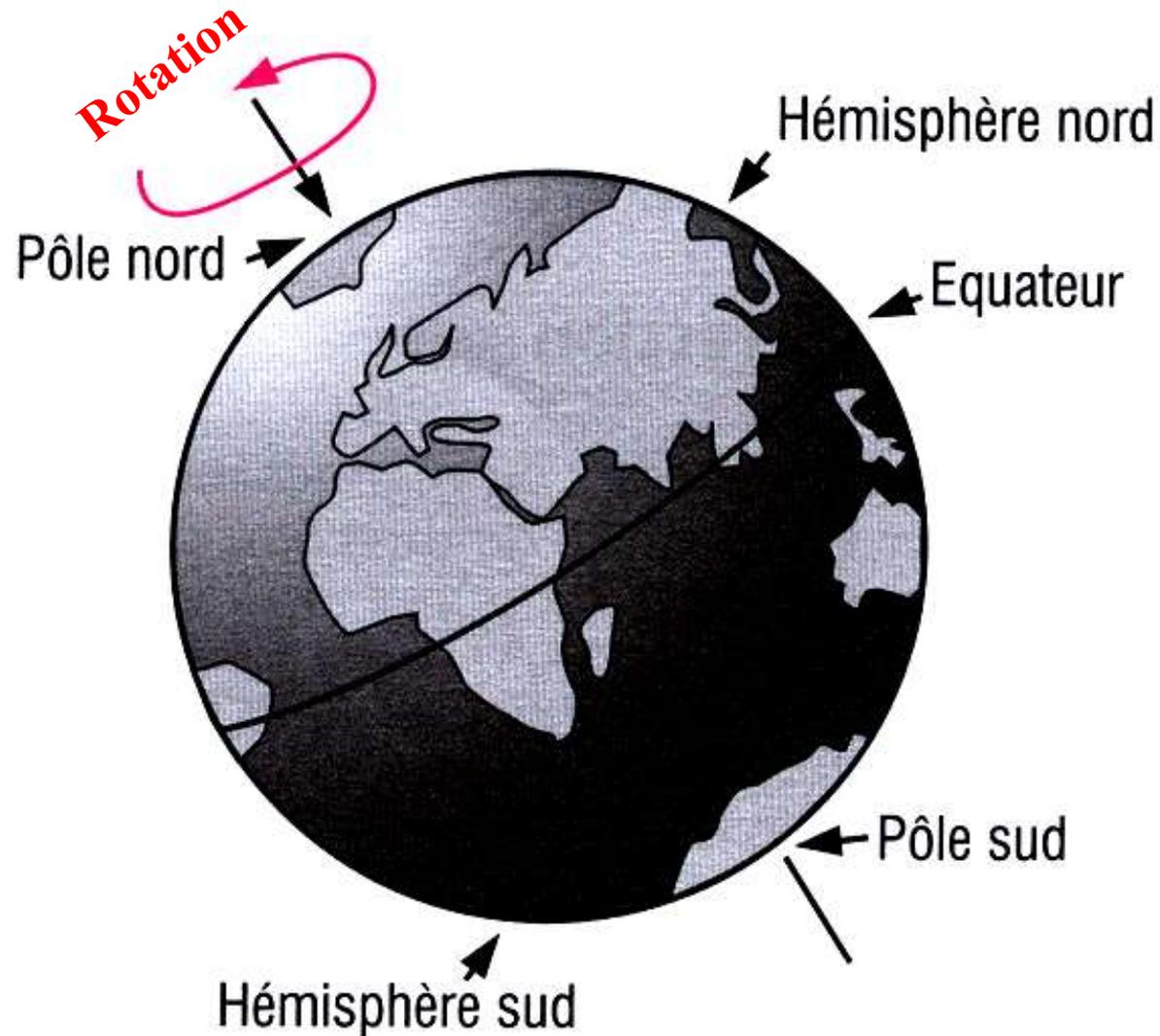
Echelles des cartes

Utilisations

Mesure de distances sur une carte

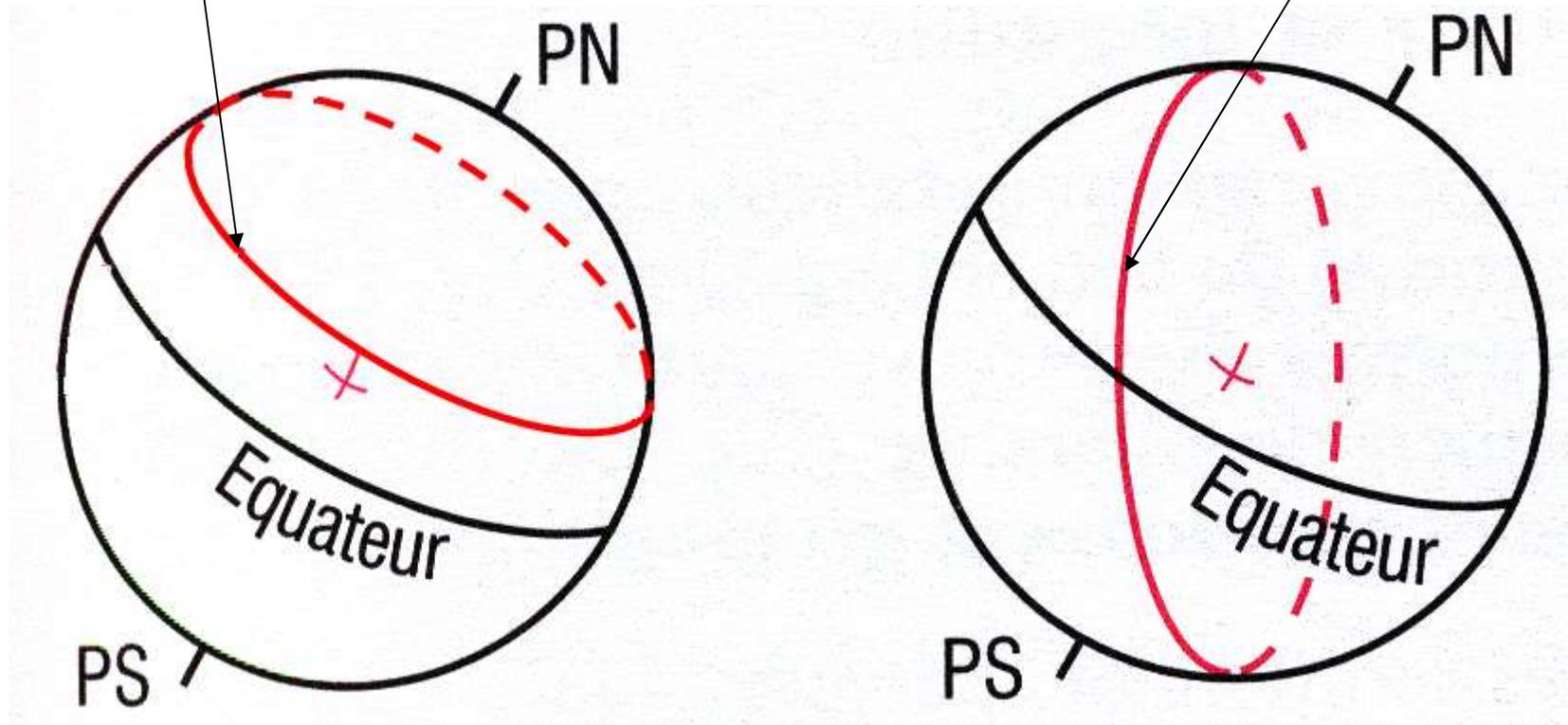
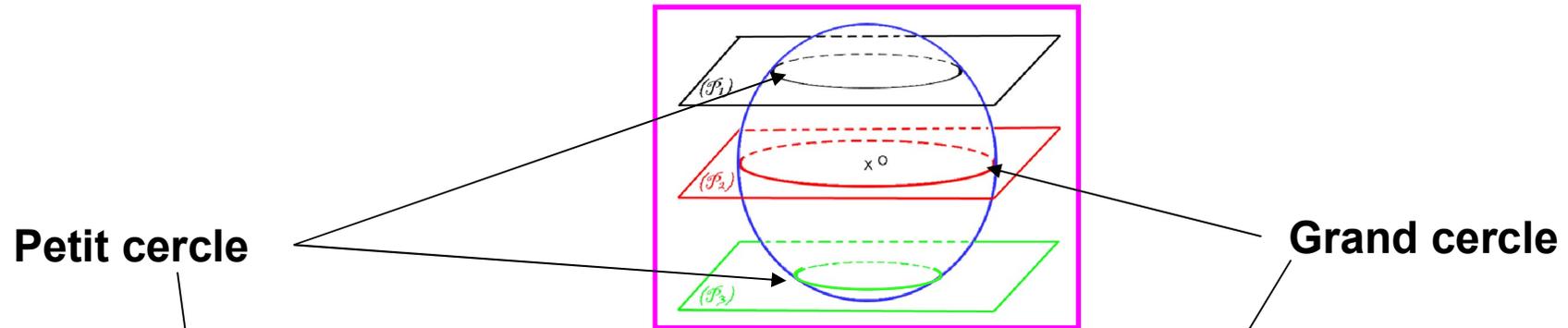
Mesure du temps

La sphère Terrestre



Circonférence de la sphère terrestre = 40 000 Km

Notion de grand cercle et de petit cercle

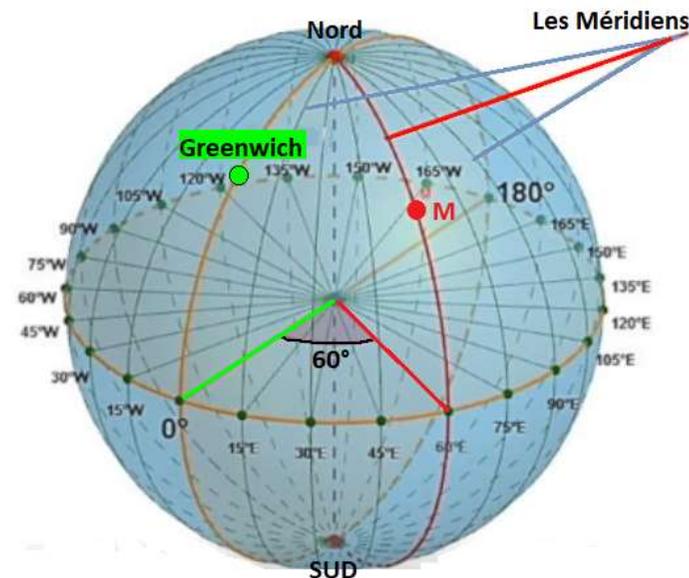


Méridiens et Longitude

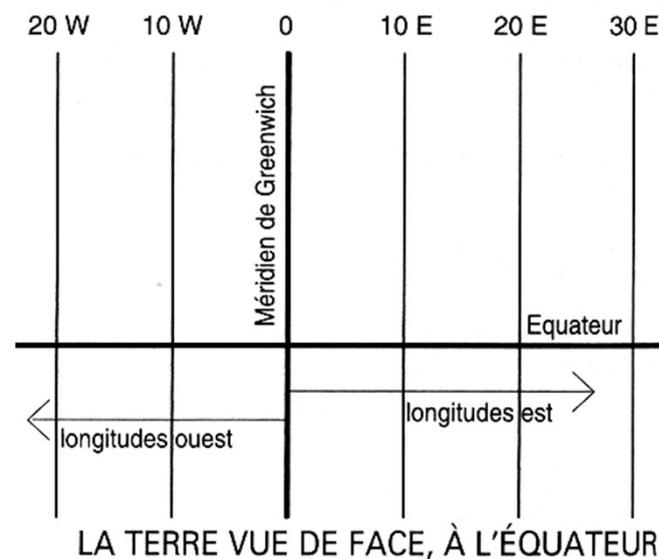
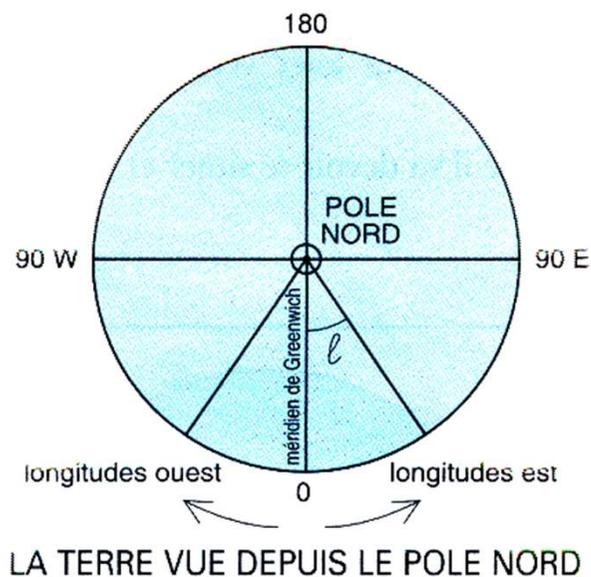
Les méridiens sont des $\frac{1}{2}$ grands cercles

Le méridien d'origine est le méridien de Greenwich .

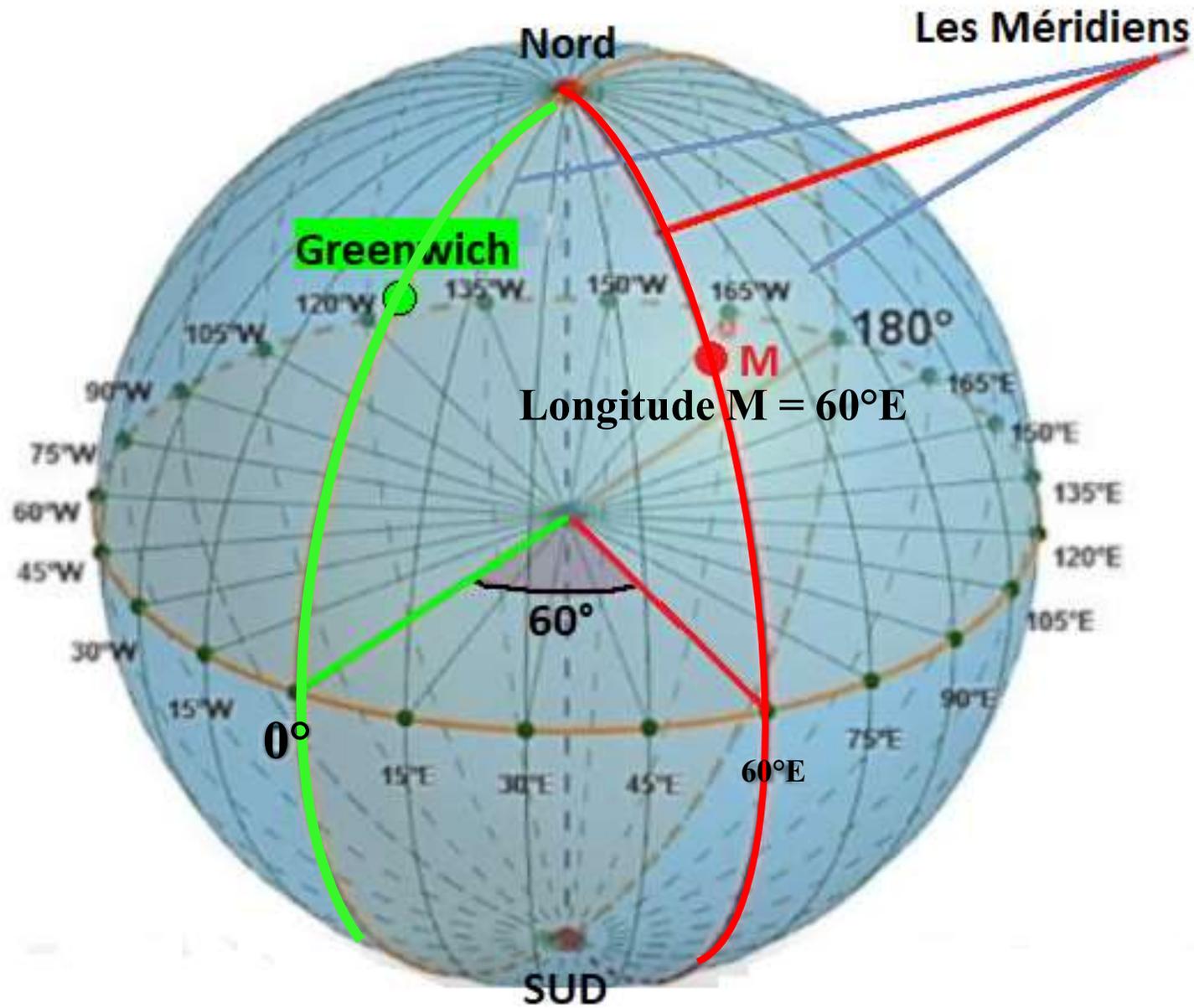
Sa longitude est de 0°



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



Méridiens et Longitude

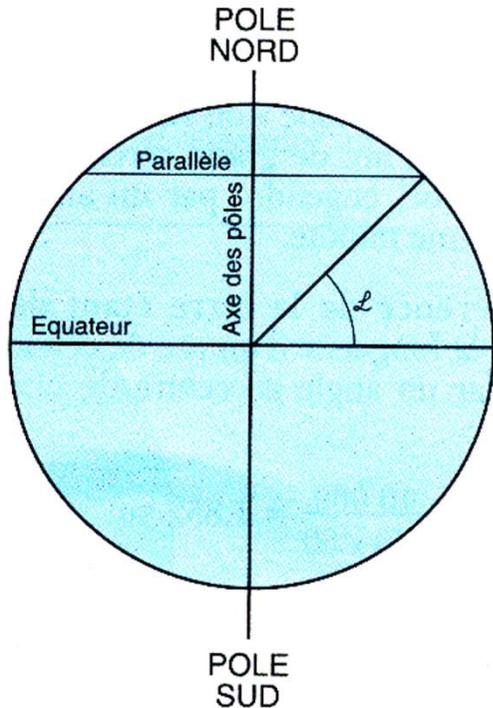
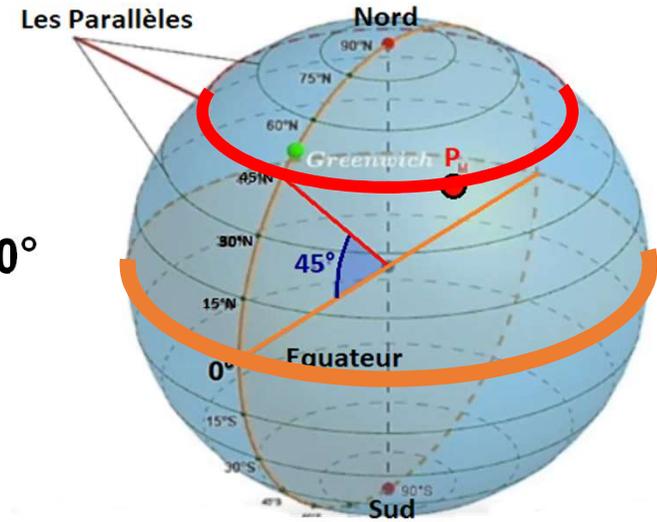


Parallèles et Latitude

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

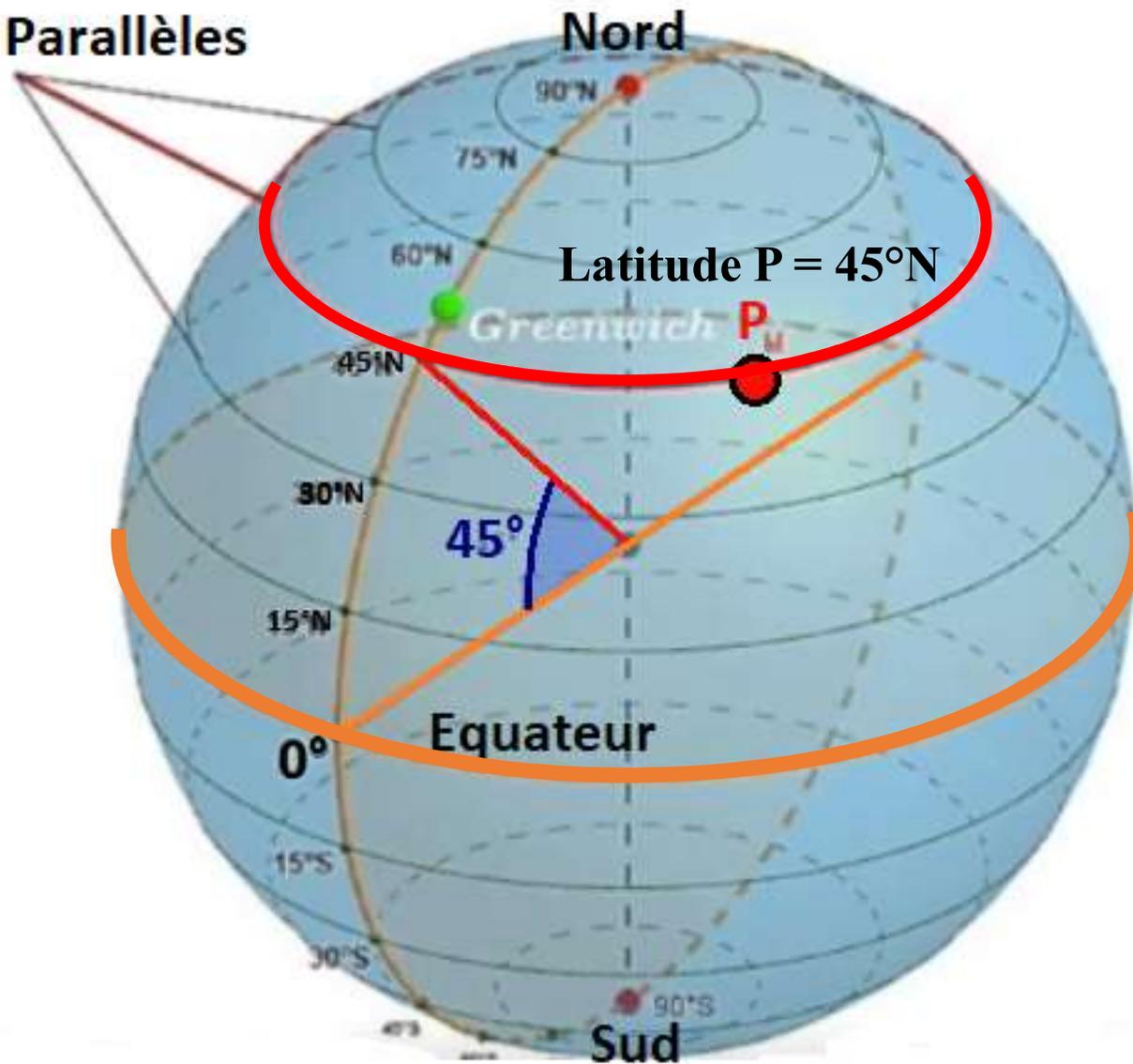


LA TERRE VUE EN COUPE SUIVANT L'AXE DES PÔLES



Parallèles et Latitude

Les Parallèles



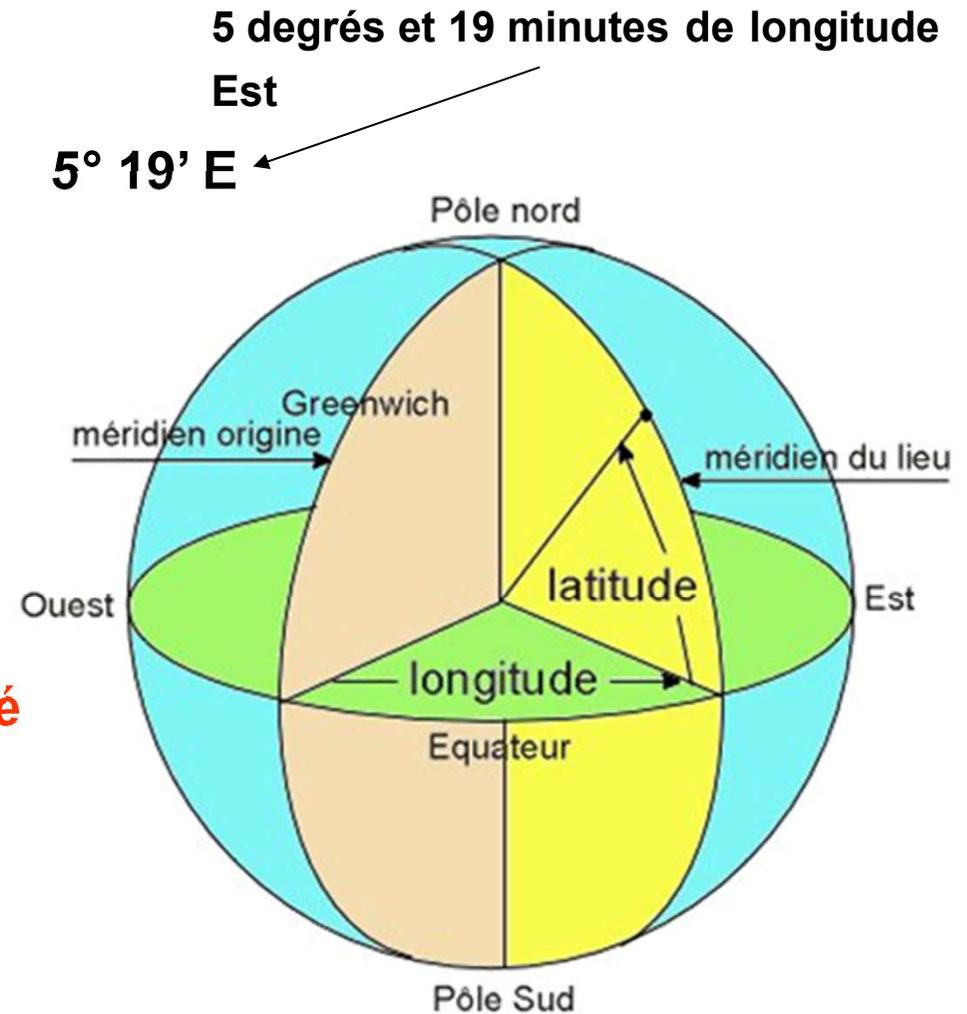
Coordonnées d'un point sur la terre

Exemple :

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

45 degrés et 22 minutes de Latitude Nord

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 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.

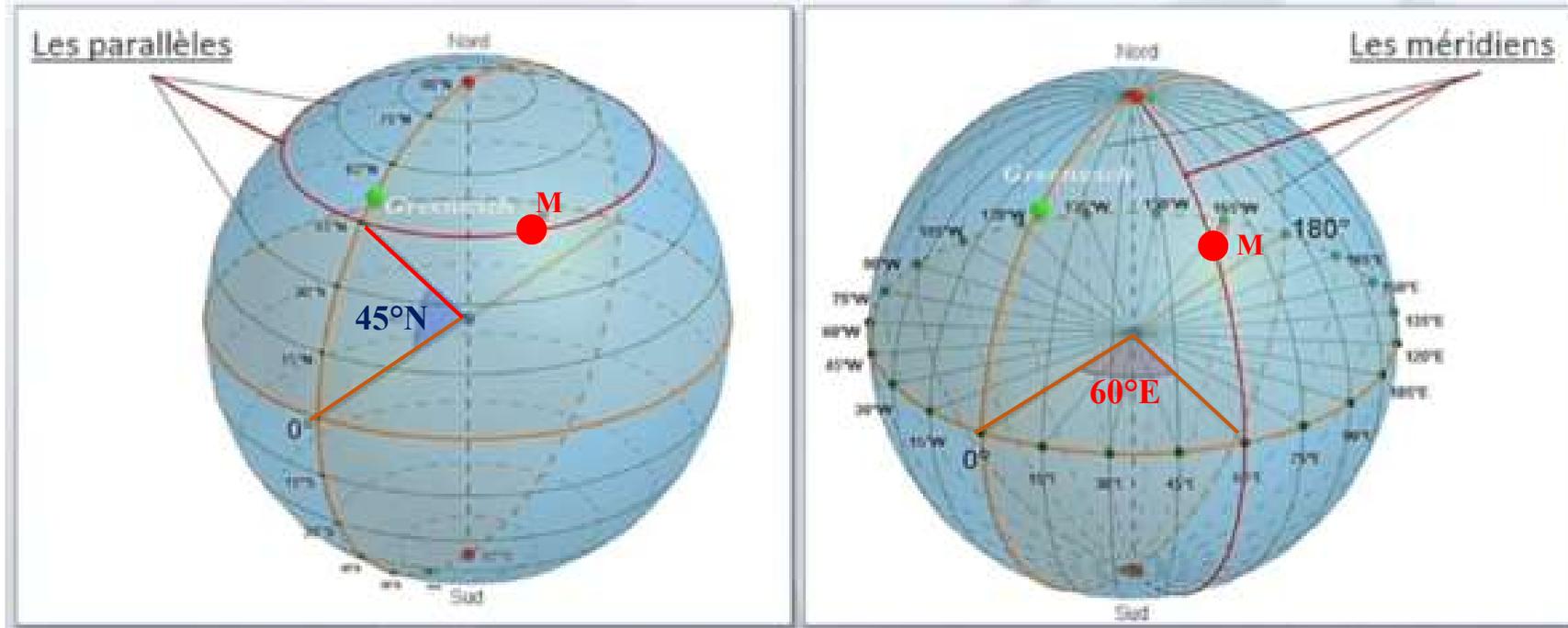
- les informaticiens jugent parfois le système sexagésimal peu pratique à manipuler et, préfèrent convertir les minutes et secondes en fractions décimales de degré "degrés décimaux".

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°

Résumé Coordonnées d'un point sur la terre



Les **Parallèles** sont des cercles parallèles à l'**équateur**

Les **Latitudes** comptées de:

0°N à 90°N dans l'hémisphère Nord

0°S à 90°S dans l'hémisphère Sud

Les **Méridiens** sont des demi grands cercles passant par les **pôles**

Le **Méridien de Greenwich** est la référence pour les **longitudes**

Les **longitudes** comptées de:

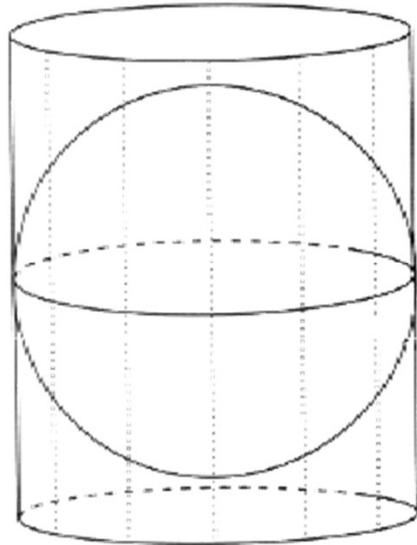
0°E à 180° E à l'Est du méridien de Greenwich

0°W à 180°W à l'Ouest du méridien de Greenwich

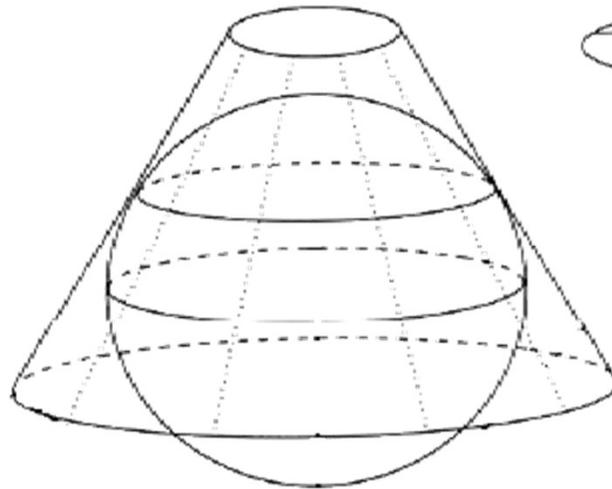
Les cartes aéronautiques: Projection de la réalité

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

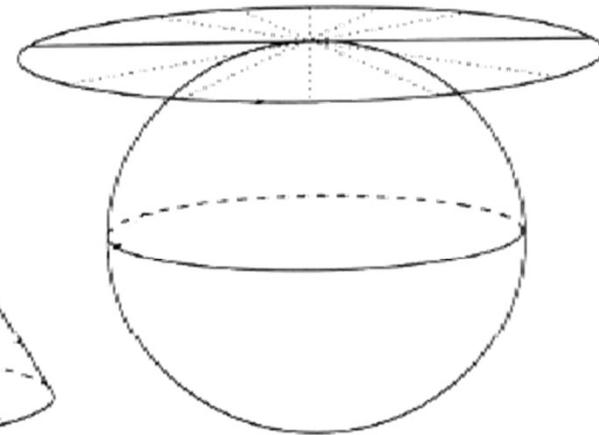
Mercator



Lambert

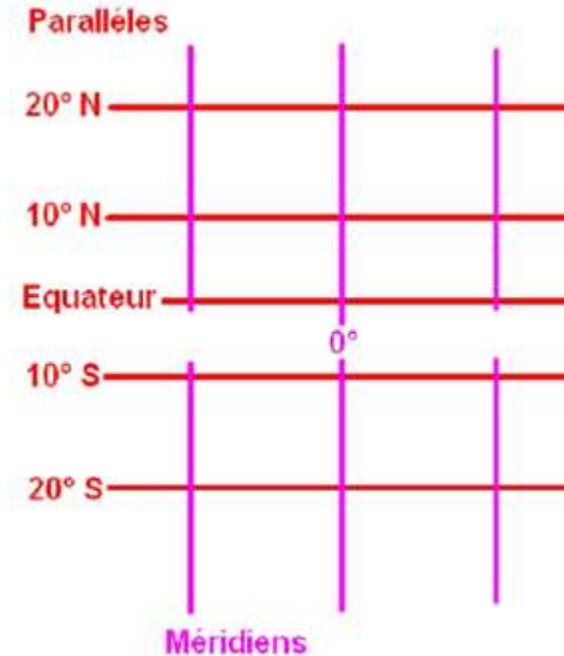
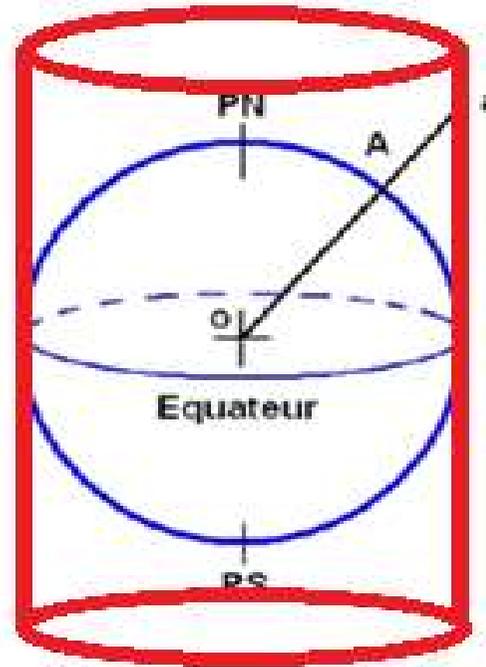
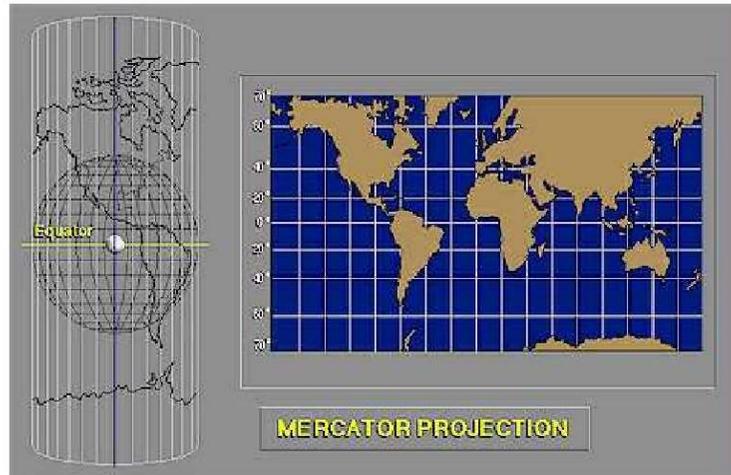


Stéréographique



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

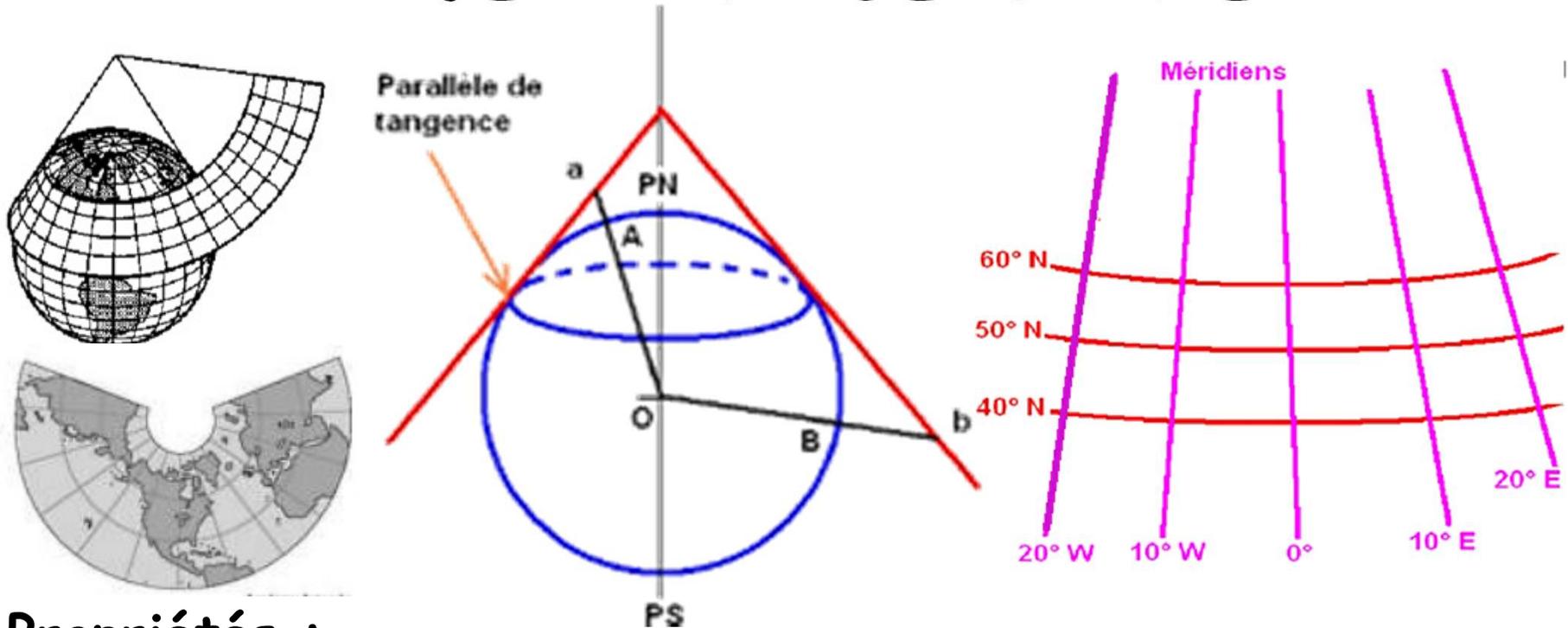
PROJECTION MERCATOR



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

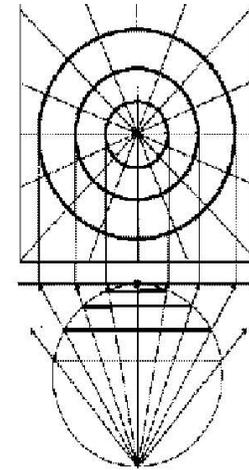
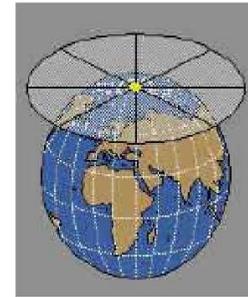
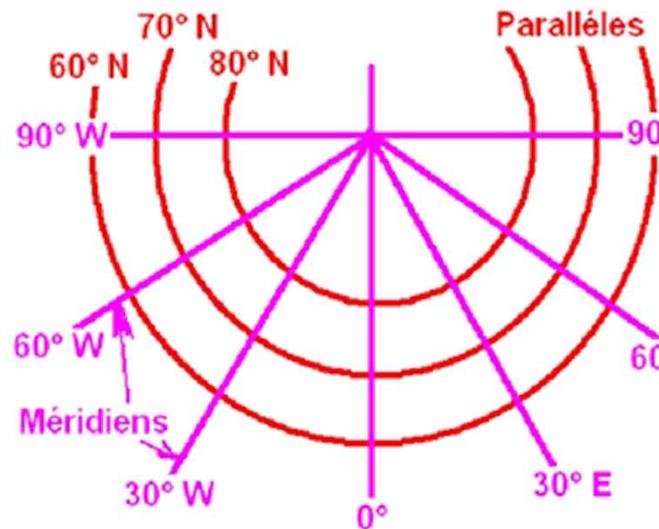
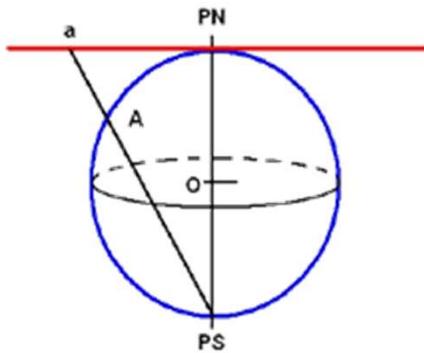


Propriétés :

- ✓ 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

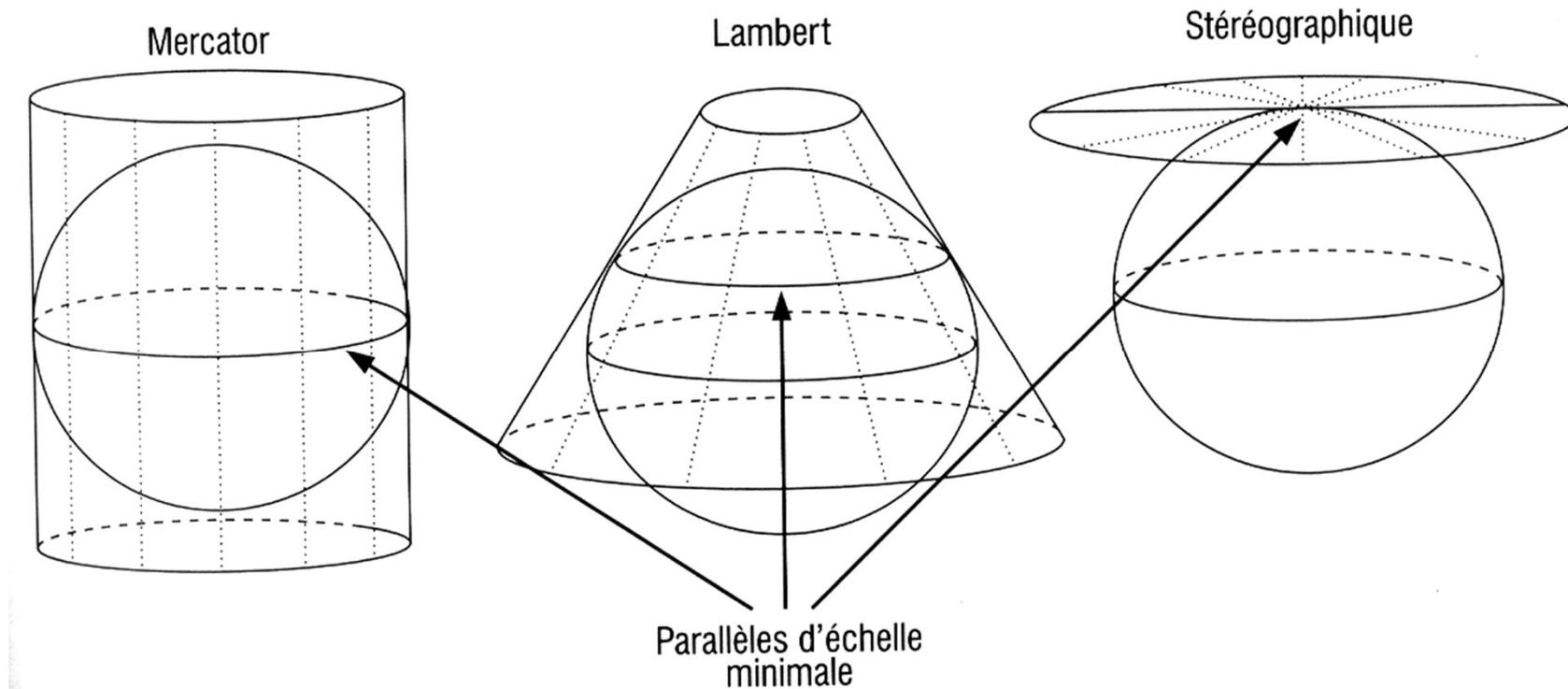


Propriétés :

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

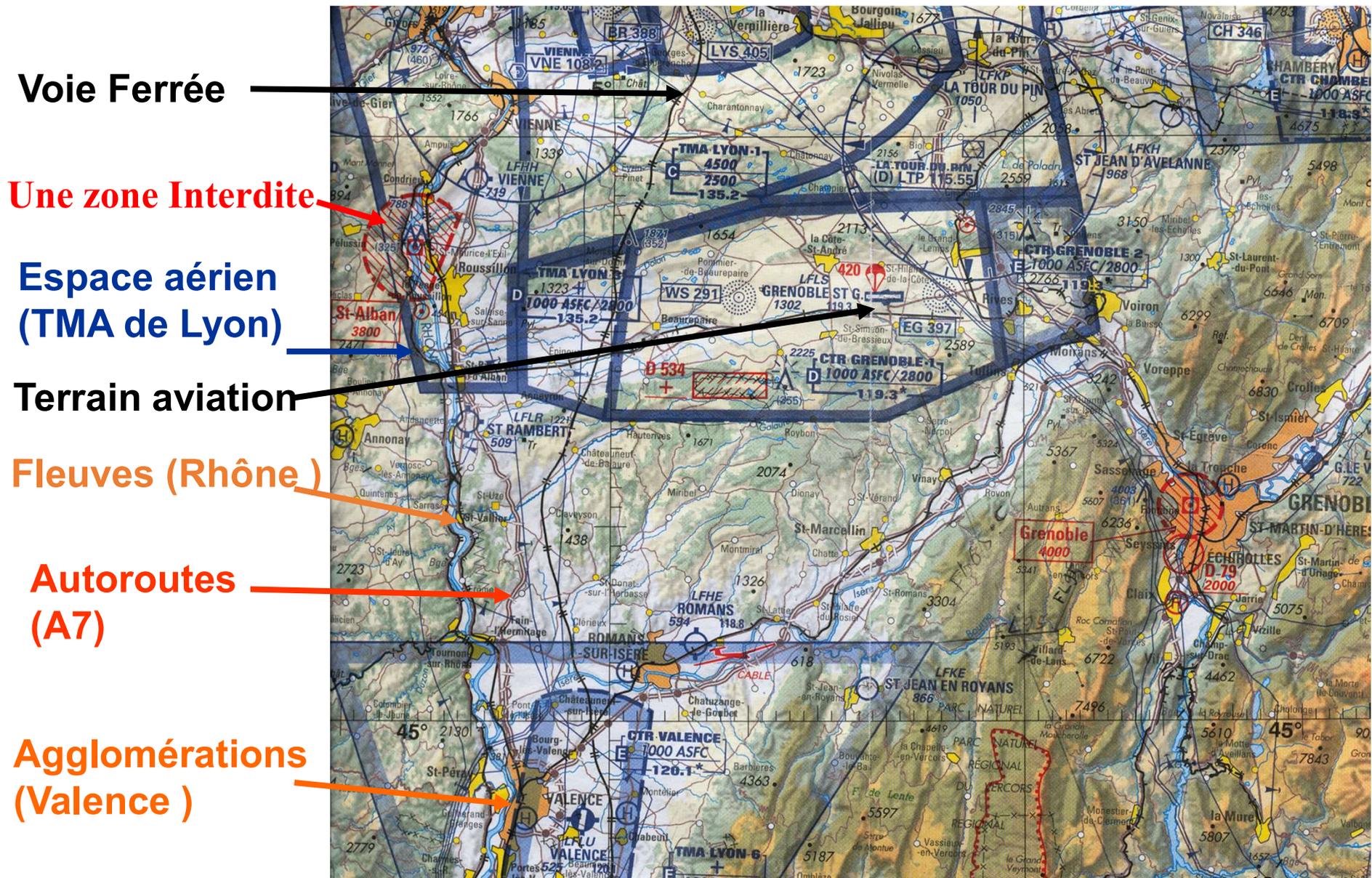
Les cartes

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

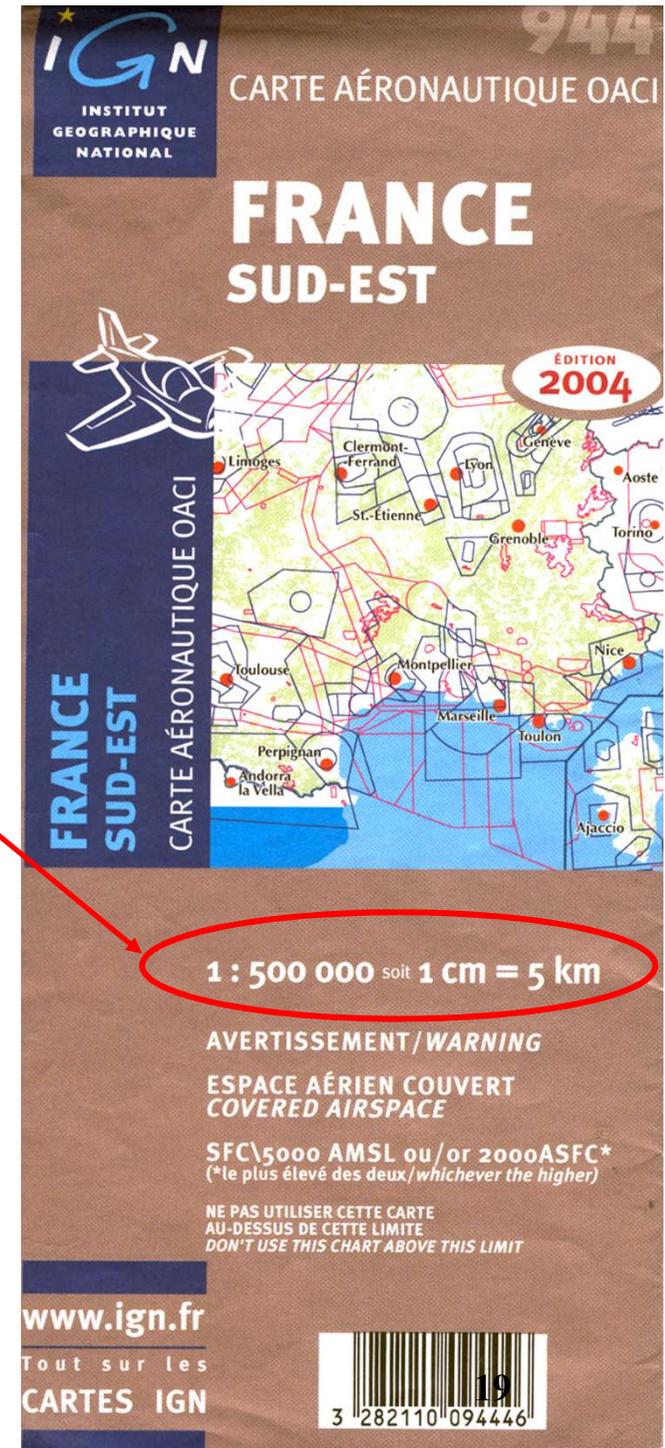
Echelle = 1/500 000

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

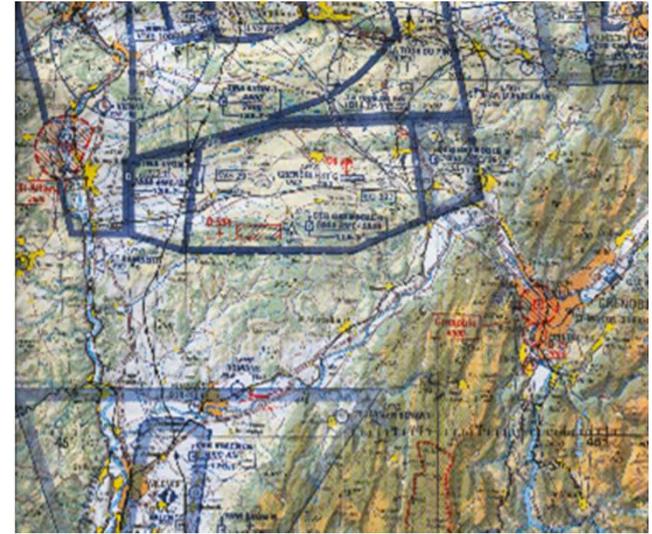
Canevas
Lambert

24/05/2022

Navigation Sécurité Règlementation



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

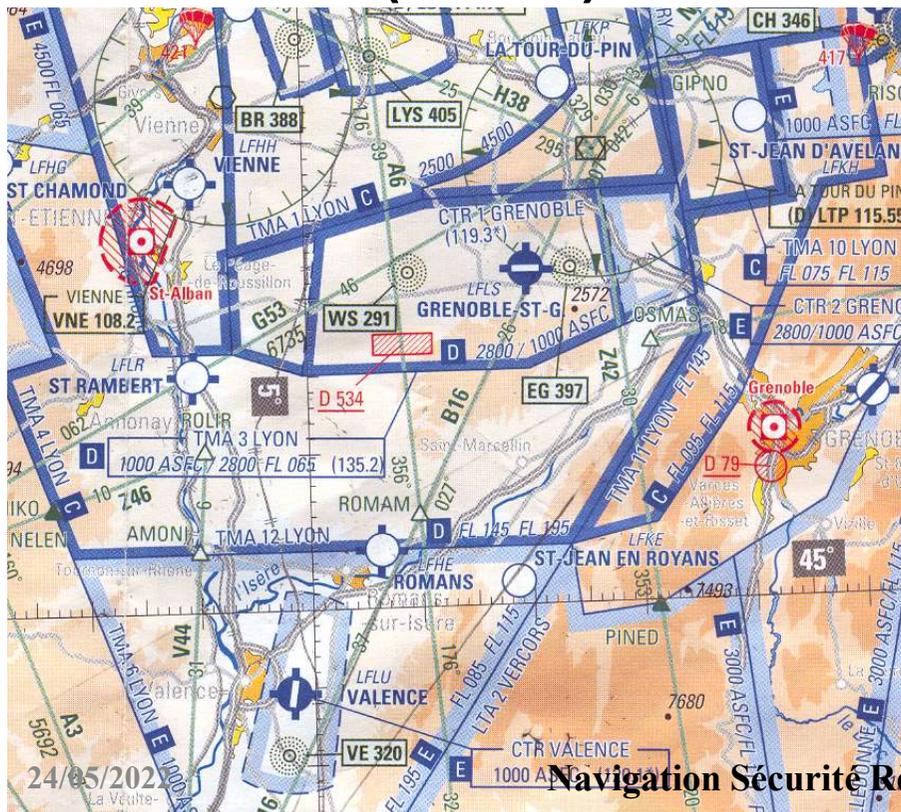
- Les terrains d'aviation
- Les zones aéronautiques y figurent également avec notamment les:
 - TMA
 - CTR
 - Zones P, R, D
 - Axes de voltige, zones de parachutage, ...
- Des informations sur la classification des zones et les fréquences radio de contact.
- Les principales balises de radionavigation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



Navigation Sécurité Règlementation

service de l'information aéronautique

France Sud

SIA LA REFERENCE EN INFORMATION AERONAUTIQUE

Carte aéronautique 1 : 1 000 000

Informations aéronautiques en vigueur :
15 avril 2004
Etranger : publiées sous réserve
Prochaine édition : novembre 2004

Aeronautical data in use : April 15, 2004
Foreign parts : published with reserve
Next issue : November 2004

Avant le vol, consulter les dernières informations en vigueur
Before flight, check latest informations in use

Espace aérien couvert / Airspace covered :
SFC - FL 195

Mai
22 2004

Les cartes aéronautiques au 1/1 000 000ème à vue



- Cette carte est utilisée pour la navigation à vue.
- Elle comporte **beaucoup moins de détails sur le relief et le sol que la 1/500 000**. Il faut 2 cartes pour couvrir la France.
- Pratique pour préparer un premier niveau élémentaire de navigation sur une longue distance.
- Les zones représentées sont comprises entre la **surface** et le **FL195**.

Les cartes aéronautiques au 1/2 000 000ème IFR

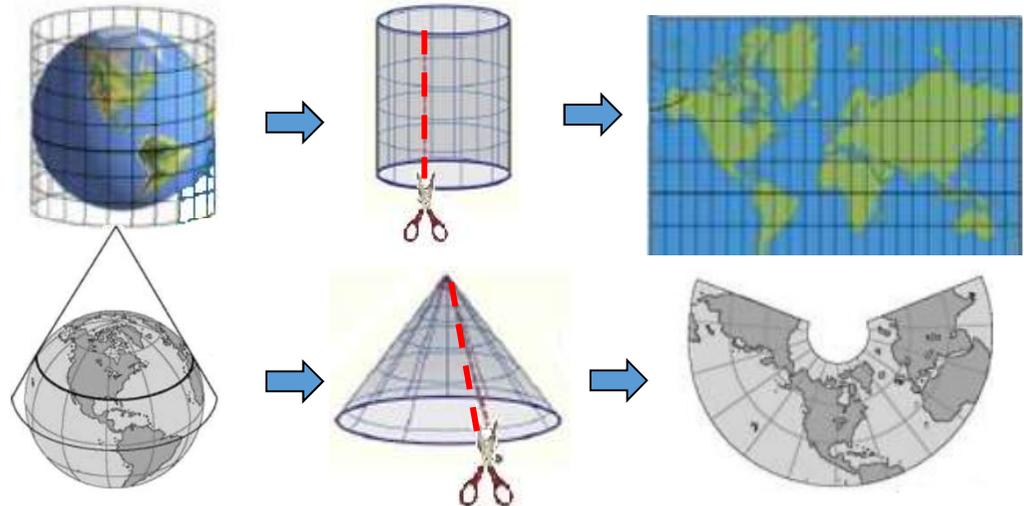


Les cartes aéronautiques au 1/2 000 000ème IFR

- 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.

Résumé : LES CARTES AERONAUTIQUES

Canevas d'une carte
Projection Mercator



Projection Lambert
Echelle d'une carte

$$\text{Echelle} = \frac{\text{Représentation}}{\text{Réalité}} \quad (\text{exprimées dans la même unité})$$

Carte aéronautique au 1/500 000e (OACI)

Couverture de l'espace français par 4 cartes (NO,NE,SO,SE)

Canevas : Lambert

Echelle : 1/500 000 (1cm = 5 km)

Carte aéronautique au 1/1 000 000e (SIA)

Couverture de l'espace français par 2 cartes (nord, sud)

Canevas : Lambert

Echelle : 1/1 000 000 (1cm = 10 km)

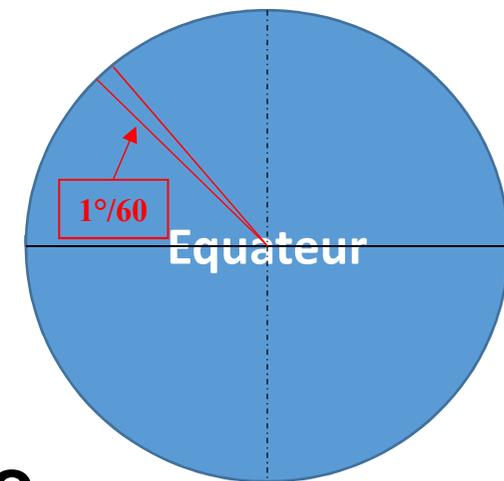
Les cartes aéronautiques **dans notre région** utilisent le canevas **Lambert**

Mesure des distances sur une carte

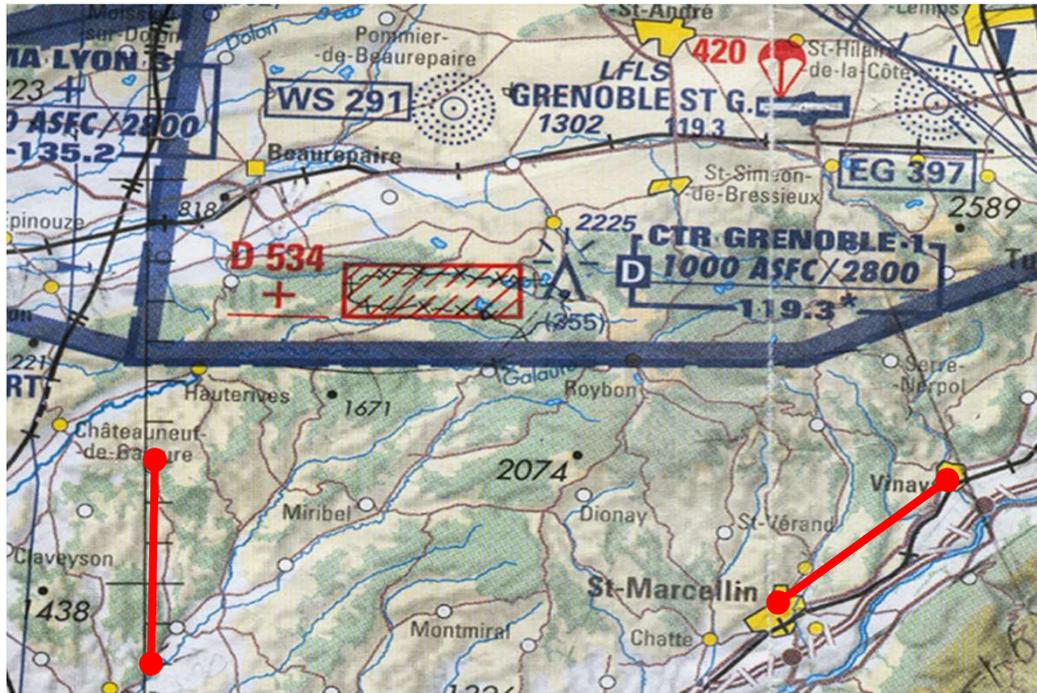
En navigation on utilise le « mille Nautique » comme unité de distance

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



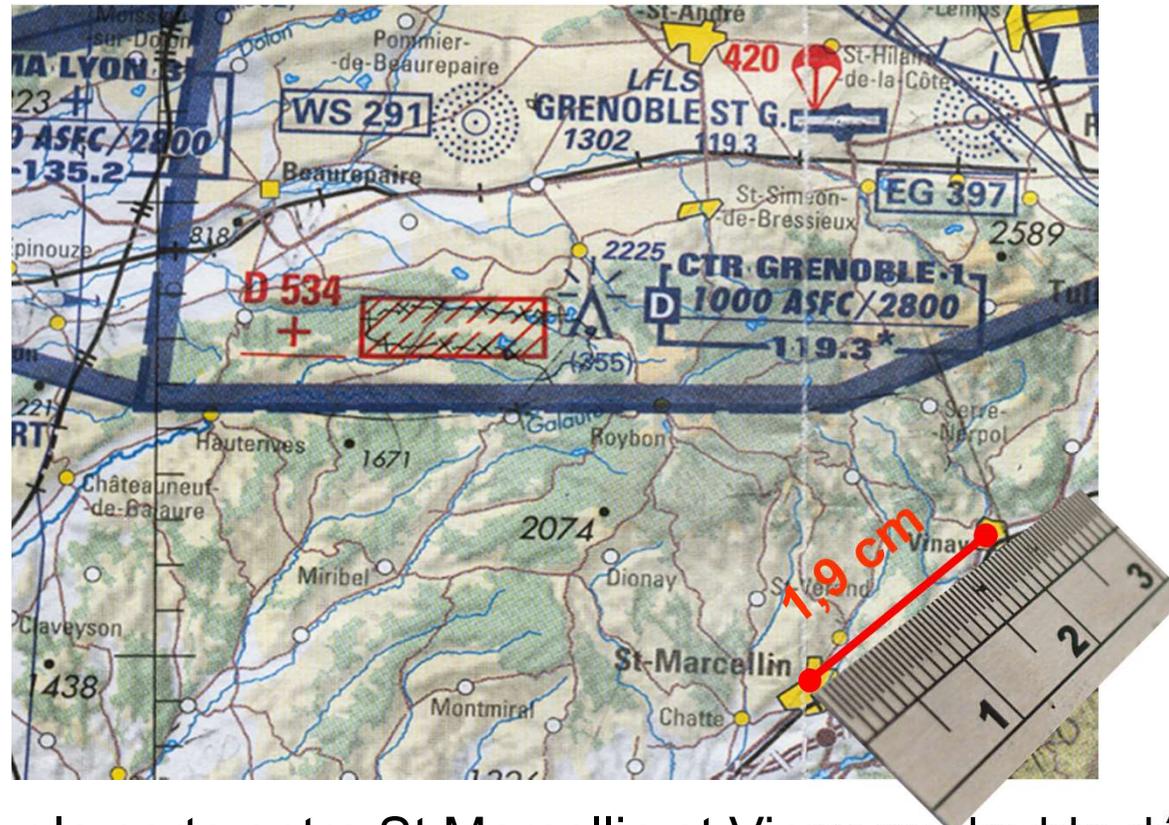
Mesurons au compas la distance entre St Marcellin et Vinay (par exemple)

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

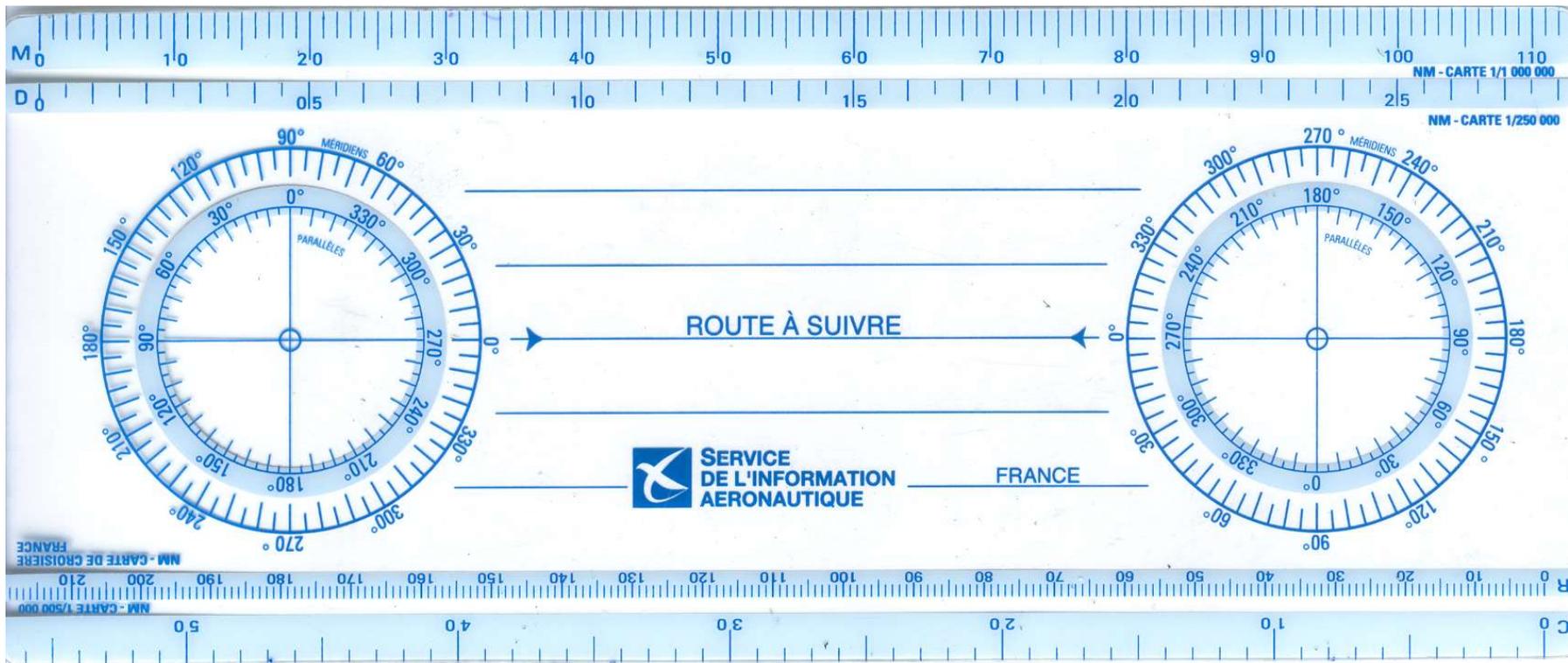
On Trouve 1,9 cm

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

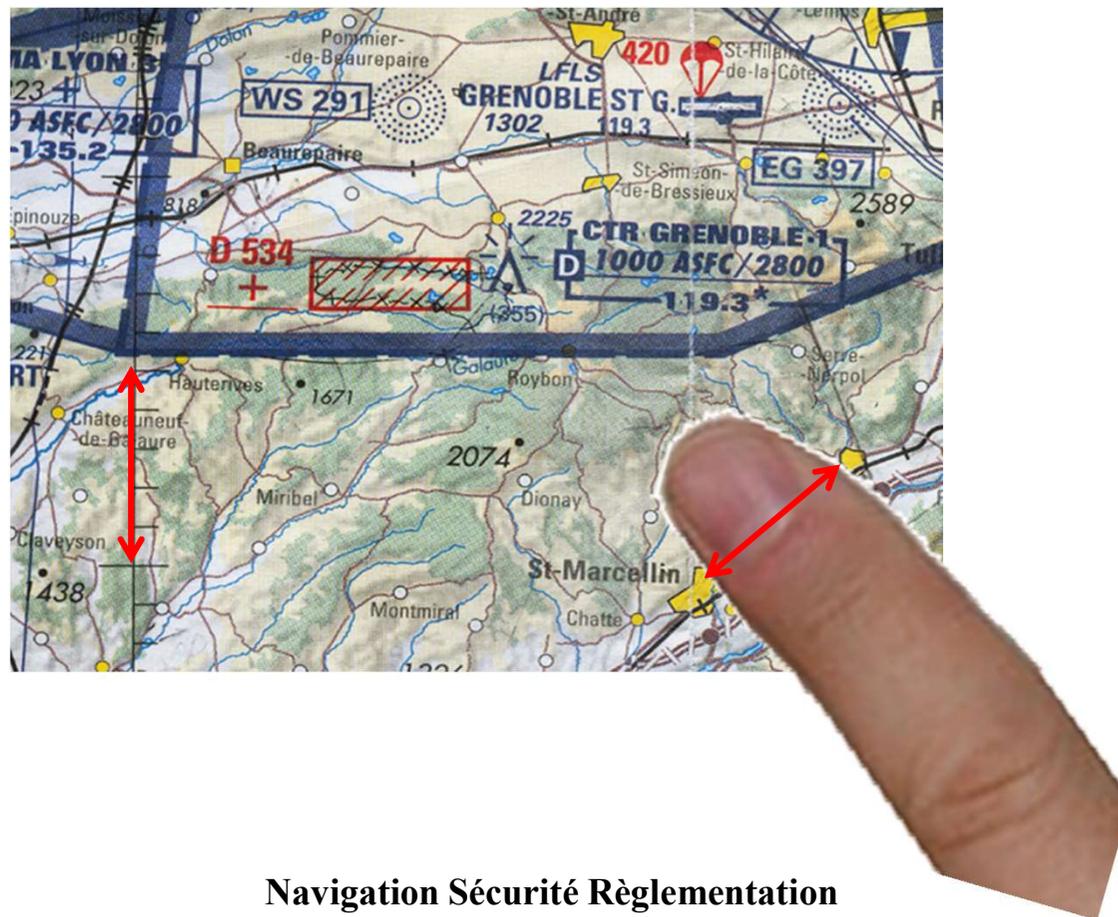
On utilise une règle directement graduée en Milles Nautiques :



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

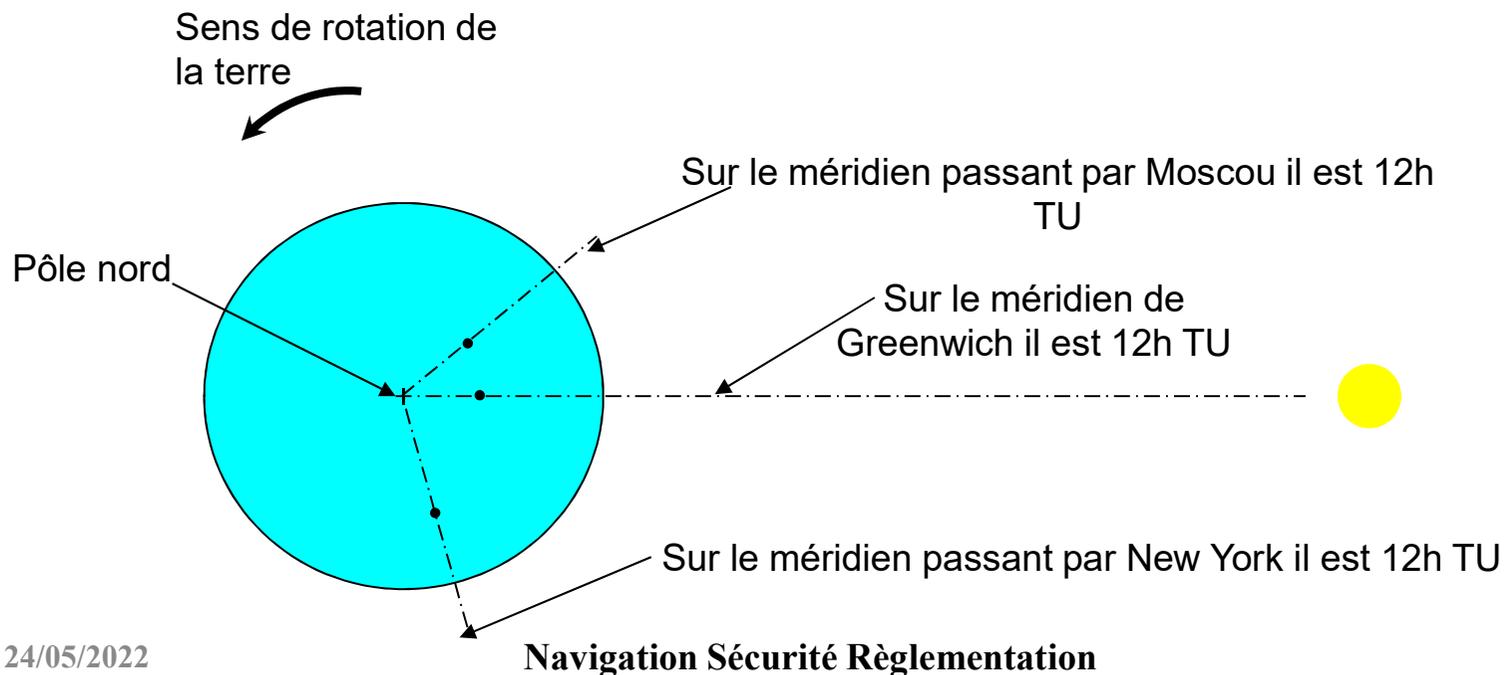
Heure TU (ou GMT ou encore UTC) :

TU : Temps Universel

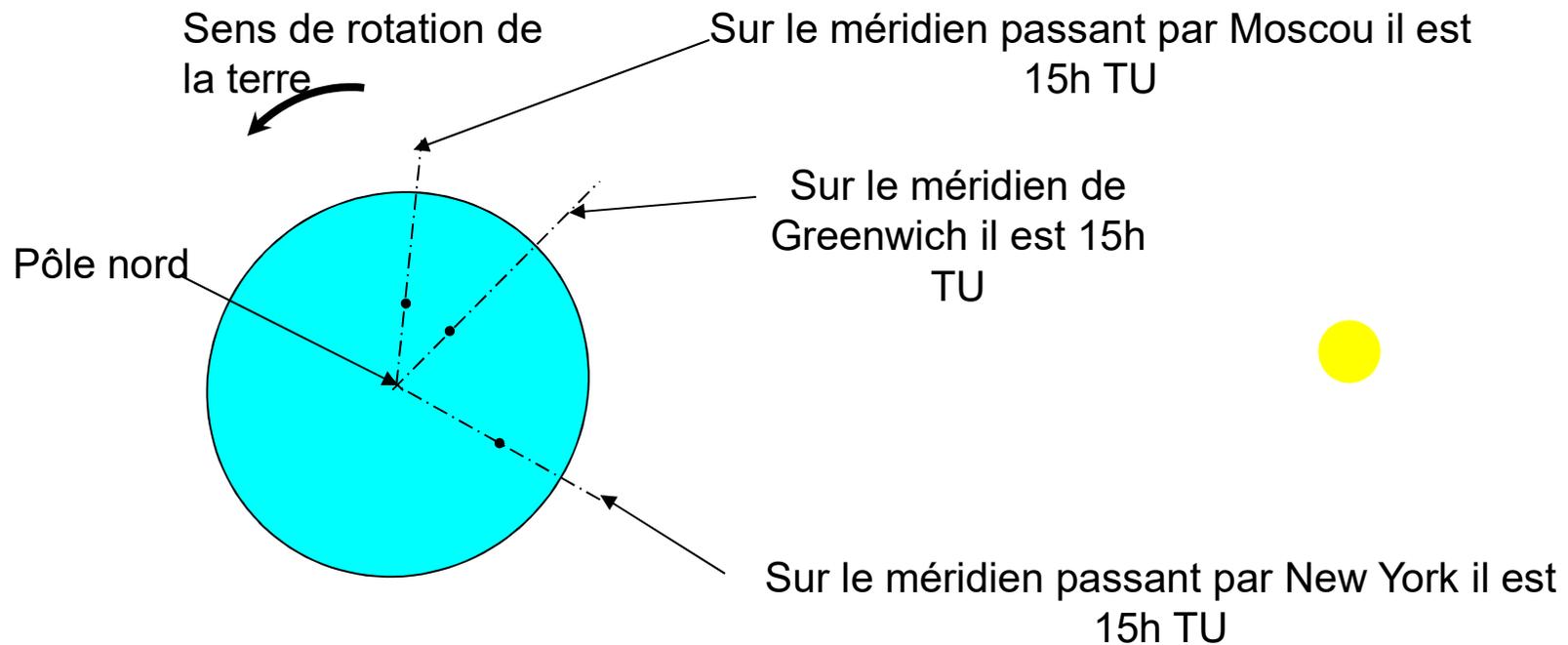
GMT : temps moyen à Greenwich

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 :

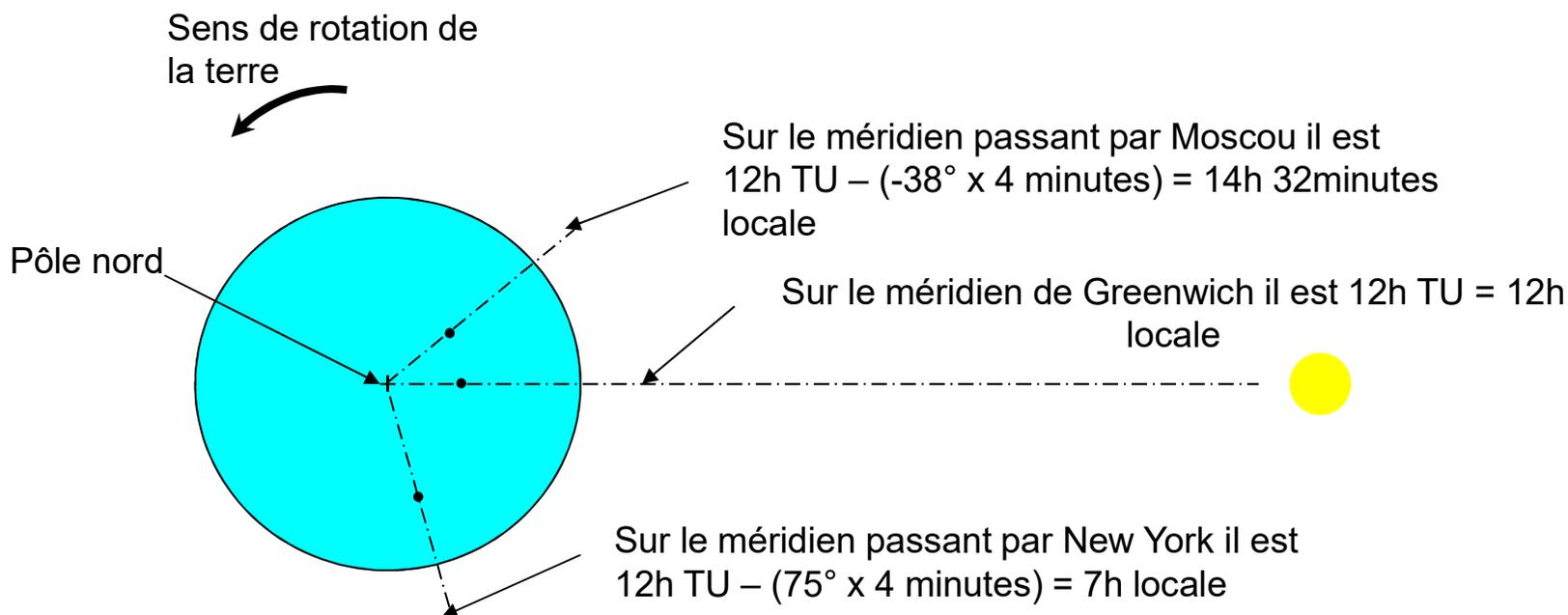
Lorsque le soleil passe à la verticale d'un méridien il est 12h sur ce méridien .

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

Résumé:

Mesure des distances sur une carte Heures

- Un mile nautique est la longueur d'un arc de grand cercle (Méridiens) correspondant à une minute d'angle. $1\text{nm} = 1,856\text{m}$
- Echelle = $\frac{\text{Distance lue sur la carte}}{\text{Distance sur la terre}}$
- Conversion : $1\text{ NM} = 1,852\text{ km}$
- On reporte la longueur entre deux points sur le graticule des Méridiens et on trouve la distance en appliquant $1'$ correspond à 1 NM
- On reporte la longueur entre deux points On applique le facteur d'échelle. Attention aux unités
- La terre fait 1 tour en 24h . Elle fait aussi 1° en 4 minutes
- L'heure locale dépend de la longitude du méridien .
- Heure: TU : Temps Universel
 - GMT : temps moyen à Greenwich (Greenwich mean time)
 - UTC : temps universel coordonné (Universal time coordonate)
- 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.
- En tout point de la terre il est 12h (midi) en TU lorsque le soleil passe à la verticale du méridien de Greenwich .

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.

40) Deux points sont situés par 42°N / 6°E et 45°N / 6°E. La distance qui les sépare est : a) 180 km. b) 180 NM. c) 300 km. d) 300 NM.

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

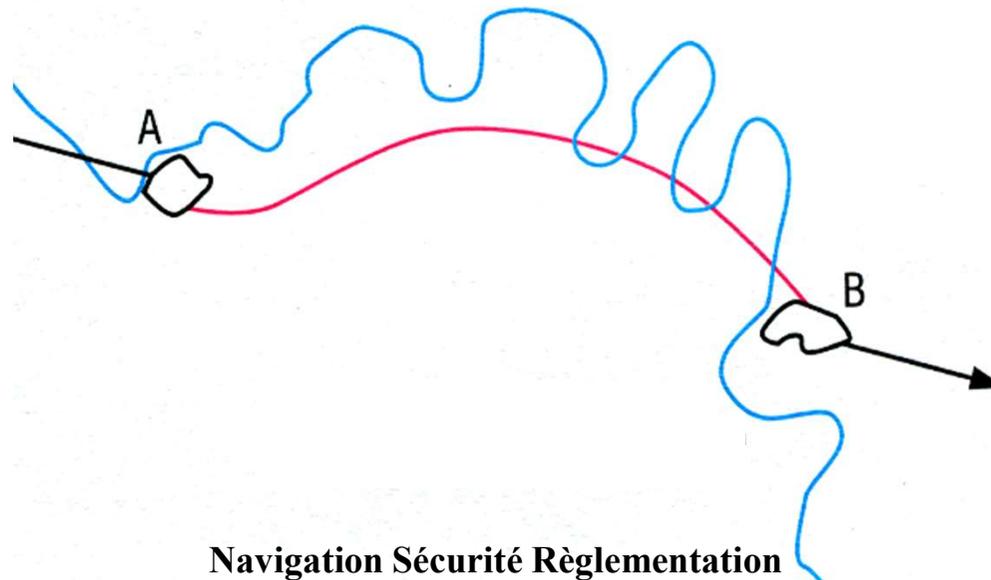
Les modes de navigation

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

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

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

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

min/Nm ←

Kt ←

$$TSV = \text{Distance} \cdot Fb$$

min ↑

NM ↑

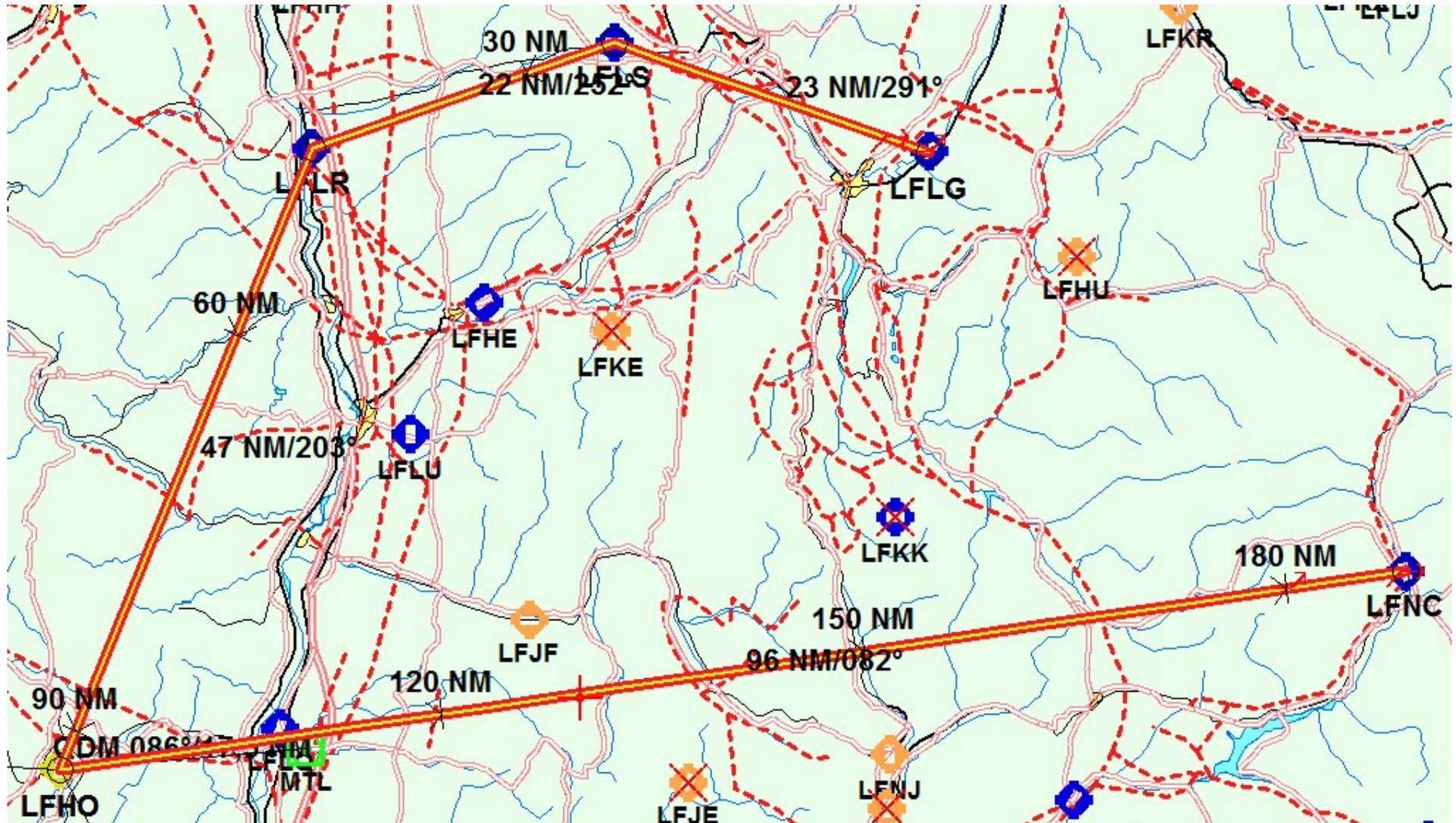
min / NM ←

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

La navigation à l'estime



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

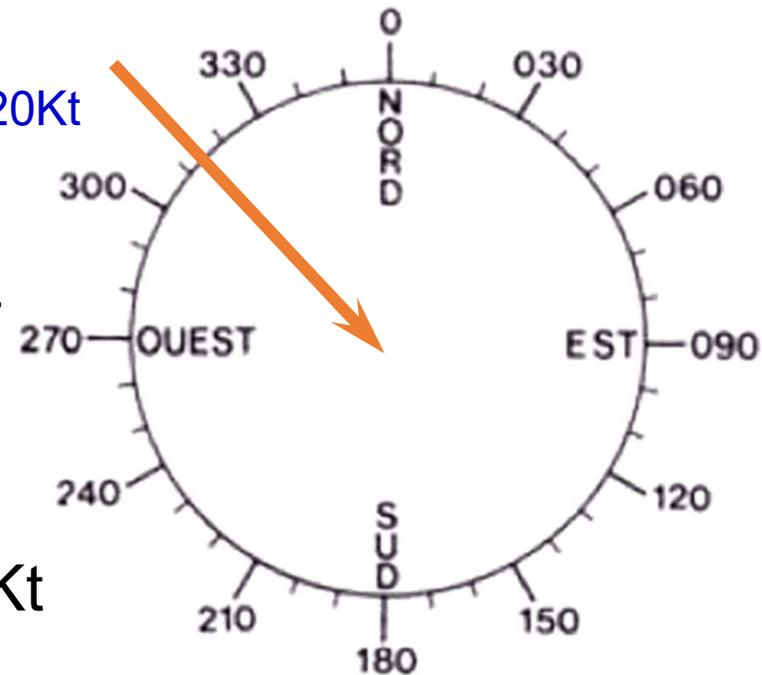
Le vent est le déplacement de cette masse d'air par rapport au sol .

vent du 315° de 20Kt

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

Exemple :

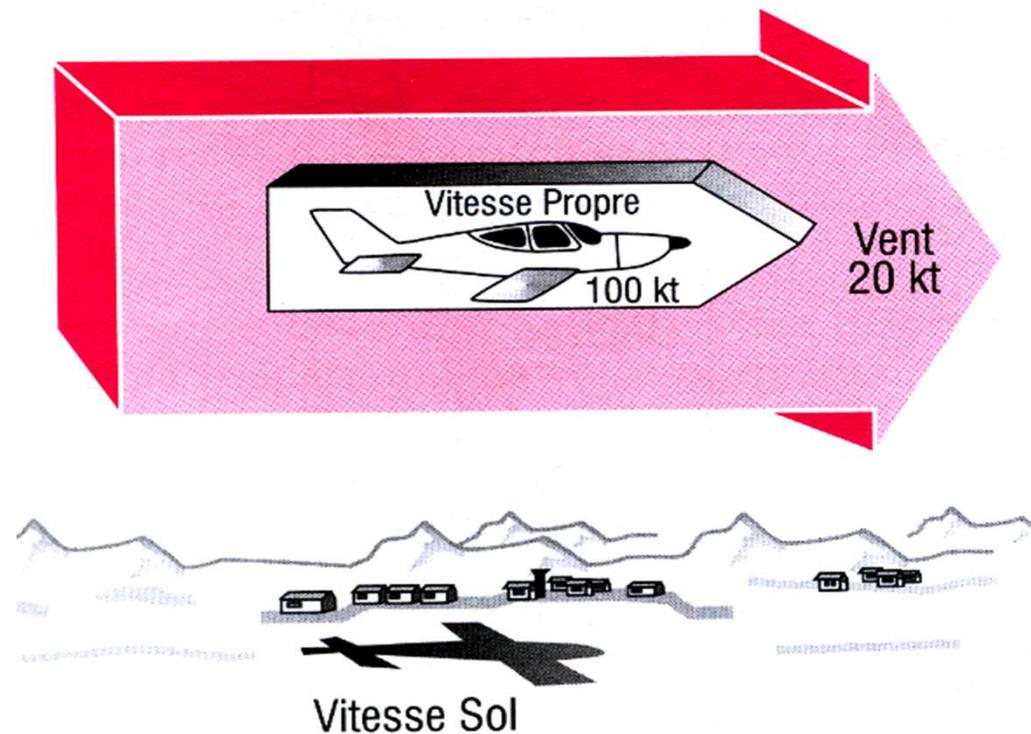
On donne un vent : $V_w = 315^\circ / 20\text{Kt}$



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

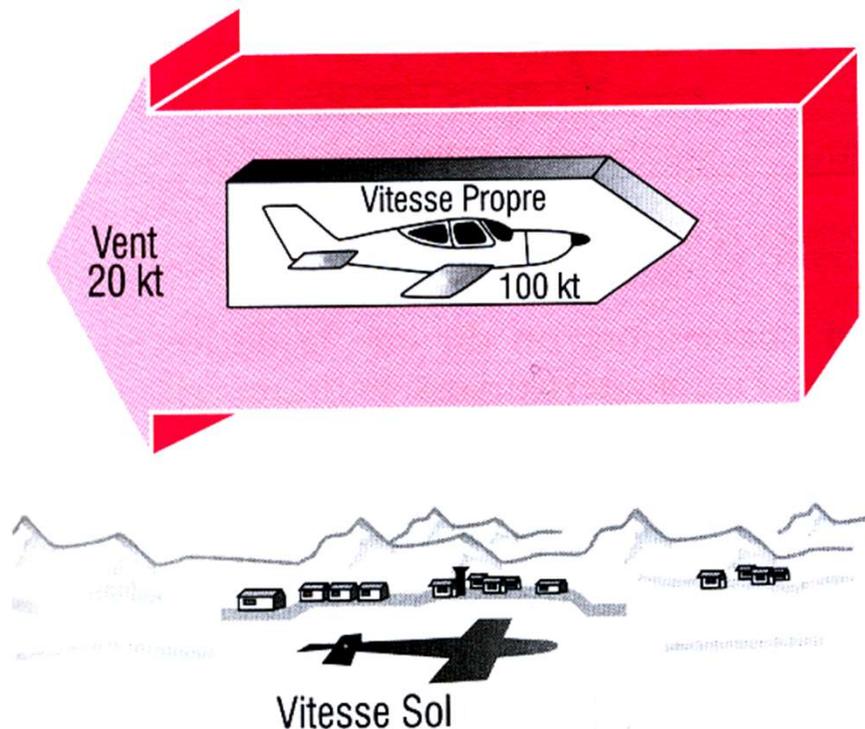


Sa vitesse sol (V_s) est de : $100 \text{ kt} + 20 \text{ kt} = \underline{120\text{kt}}$

2ème cas :

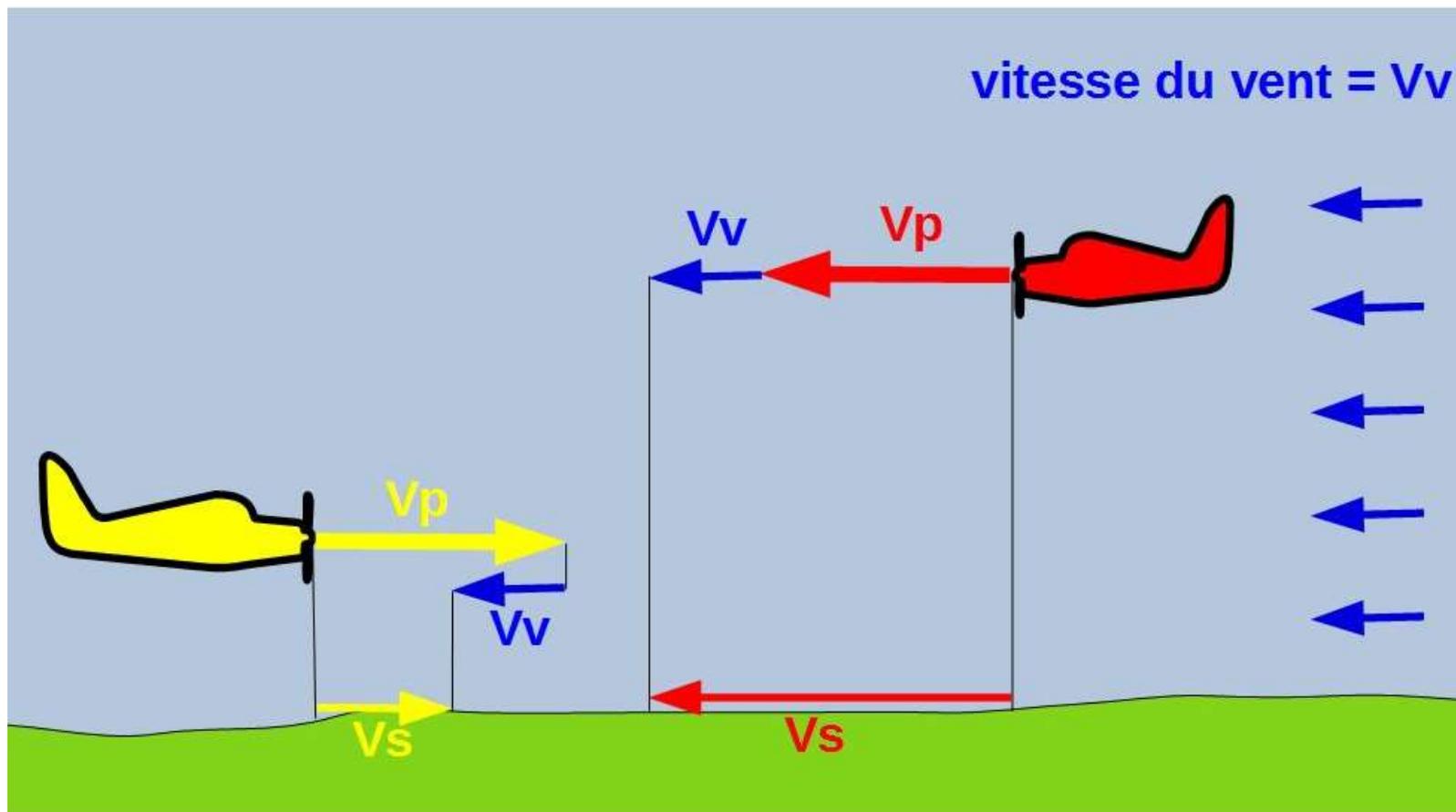
L'avion vole au cap 090° sa vitesse propre (V_p) est de 100kt .

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



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

Résumé: Relation entre Vitesse Propre; Vitesse Sol et Vitesse Vent



Avec du vent de face:

$$V_s < V_p$$

$$V_s = V_p - V_v$$

Avec du vent dans le dos:

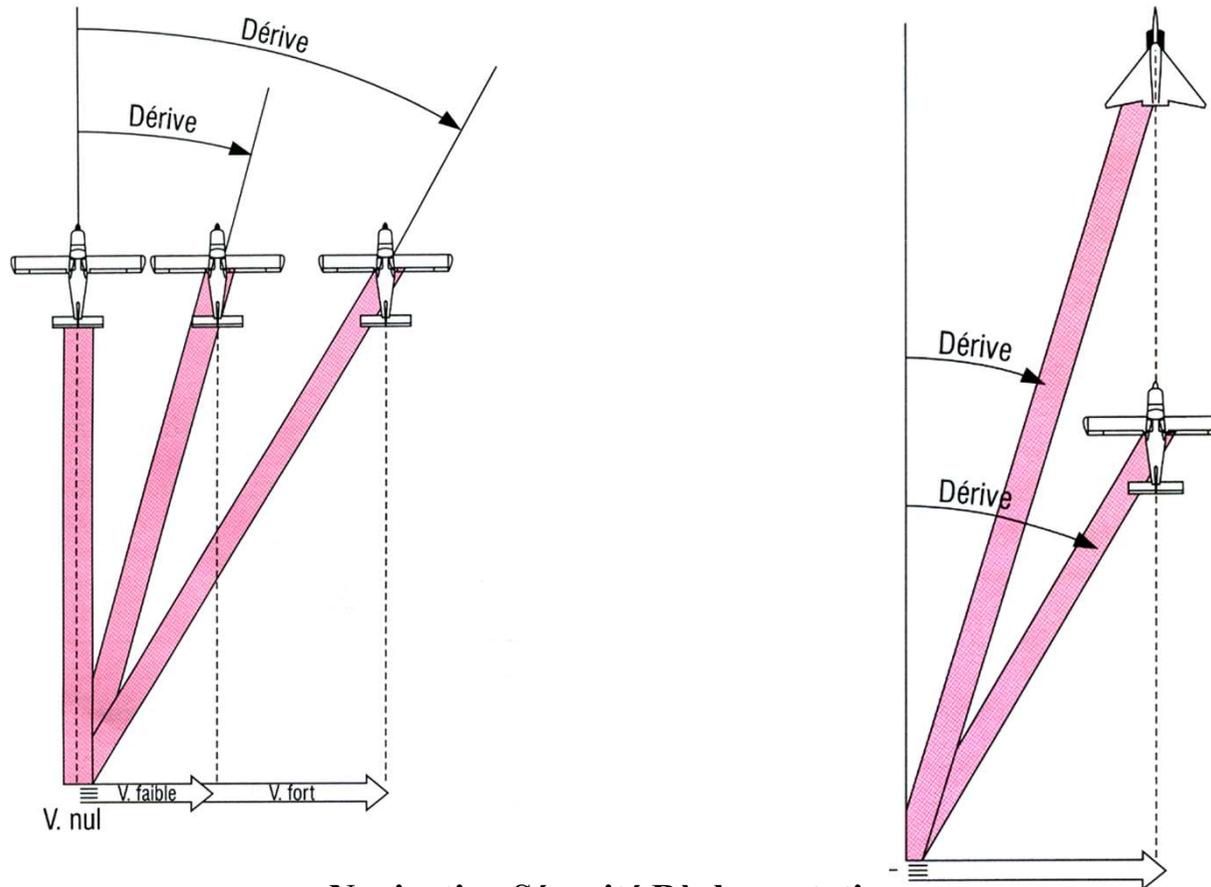
$$V_s > V_p$$

$$V_s = V_p + V_v$$

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

Exemple de calcul de VT et Ve :

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

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

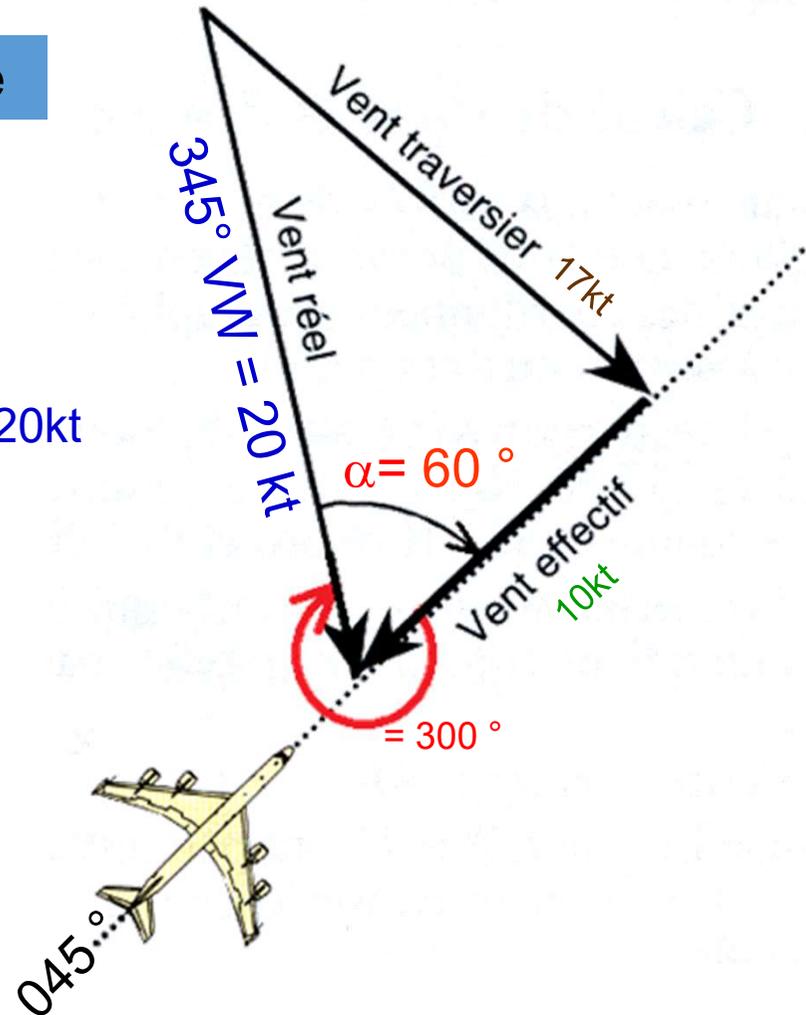
$300^\circ - 360^\circ = -60^\circ$ donc $\alpha = 60^\circ$ à gauche

Calcul du vent effectif :

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

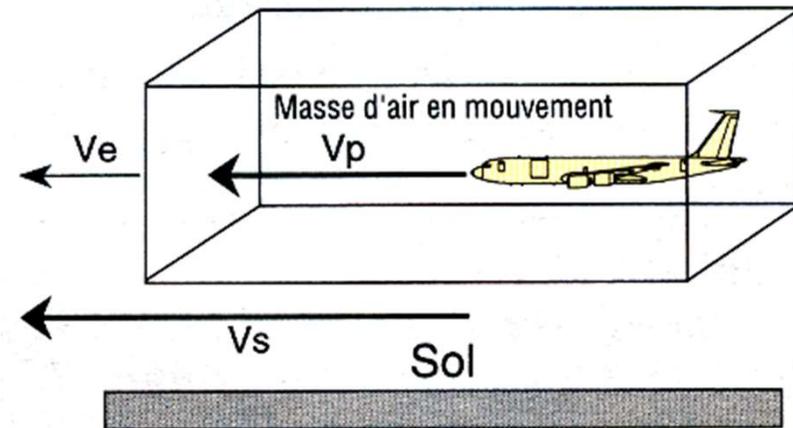
Calcul du vent traversier :

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



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

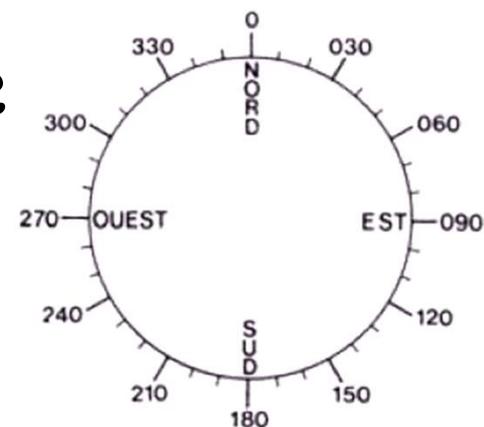
$$V_{sol} = V_{propre} \pm V_{effectif}$$
$$V_s = V_p \pm V_e$$



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

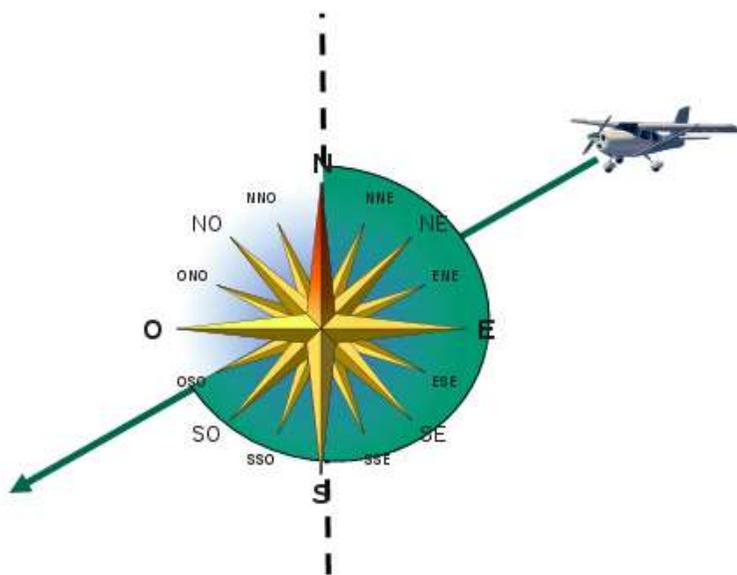
L'orientation sur la terre

Les angles sont compris entre 0° et 360°

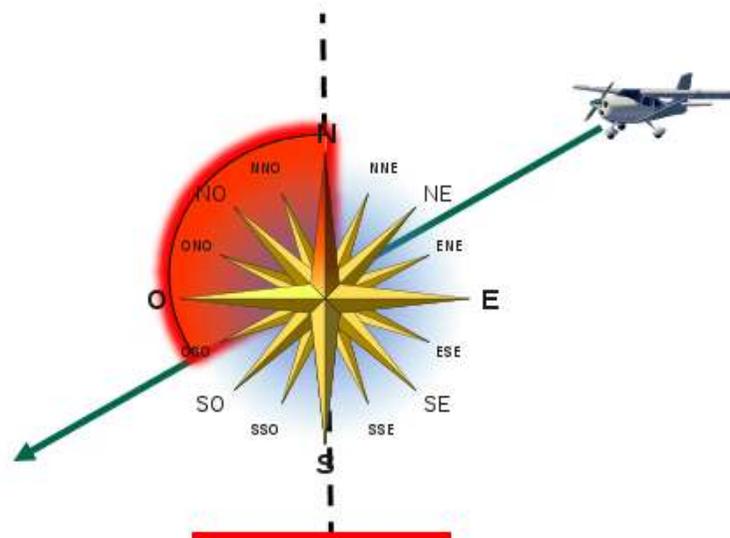


Mesure de la route

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



Oui



Non

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

Méridien



Route Vraie = 106°

Les différents Nords

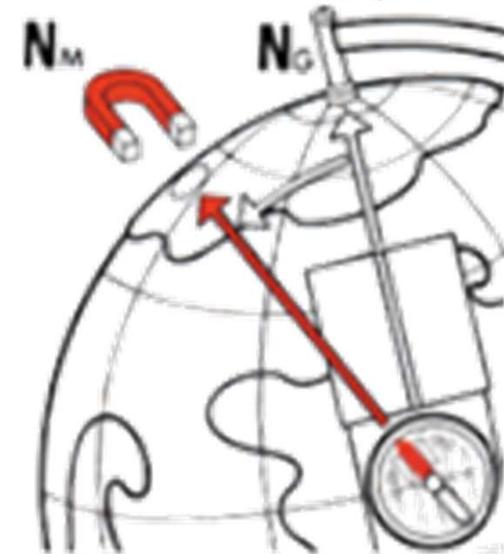
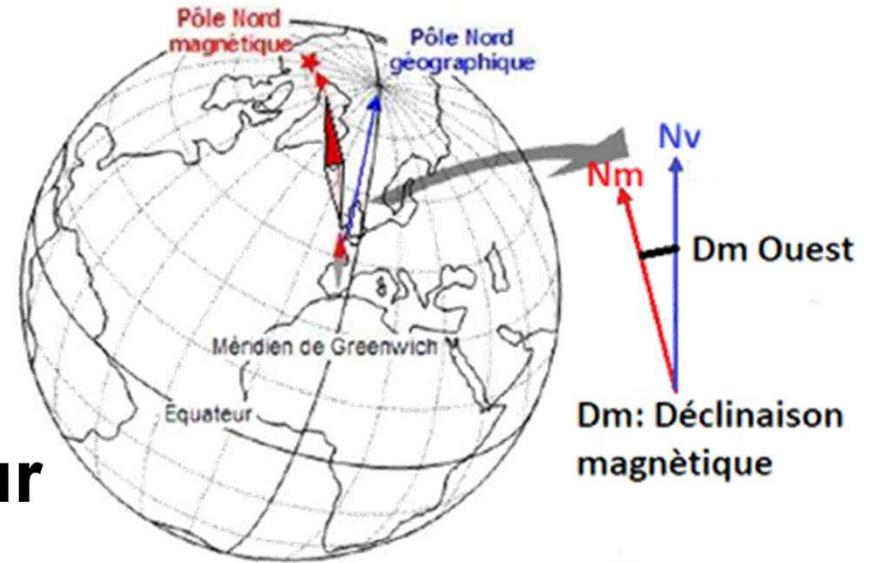
Le Nord vrai : pôle nord géographique

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 »

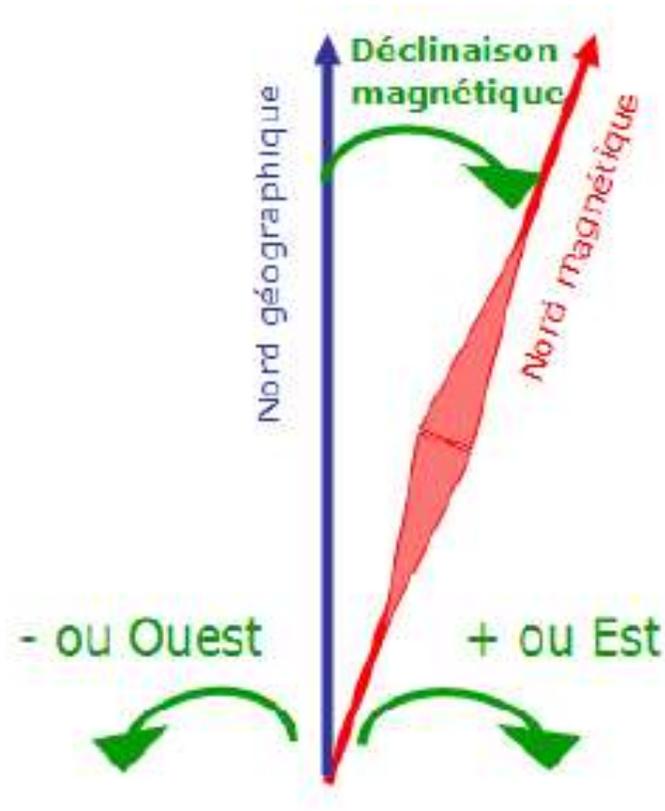
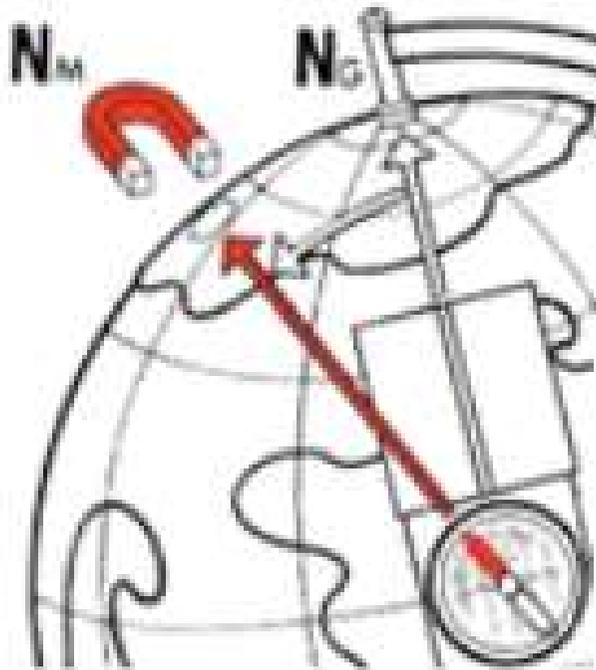


La déclinaison magnétique

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

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

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



Déclinaison magnétique en France

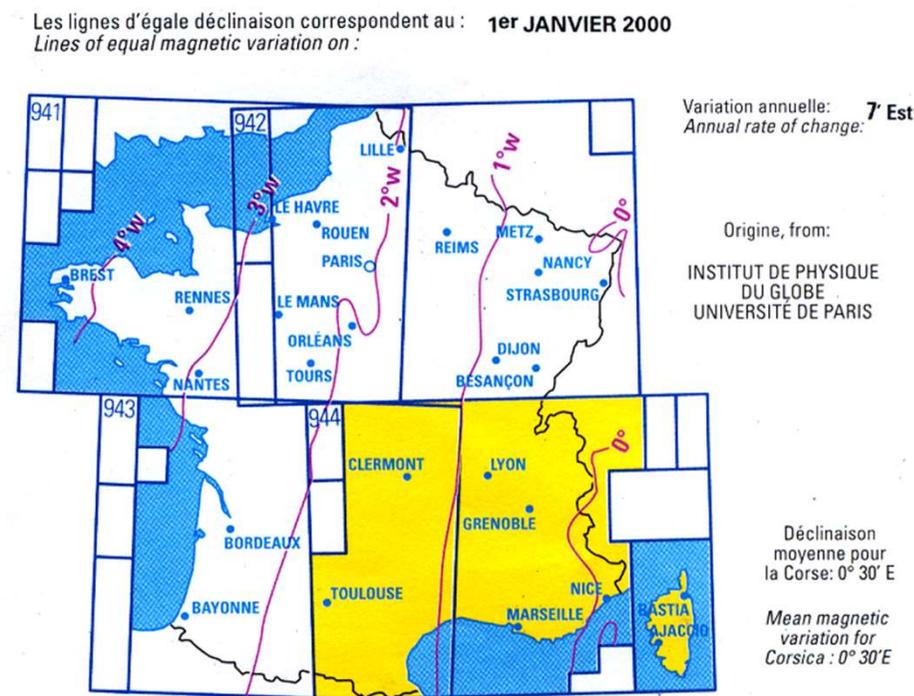
La déclinaison magnétique change en fonction du lieu où l'on se trouve et en fonction du temps ($\sim 1^\circ$ tous les 6 ans en France)

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

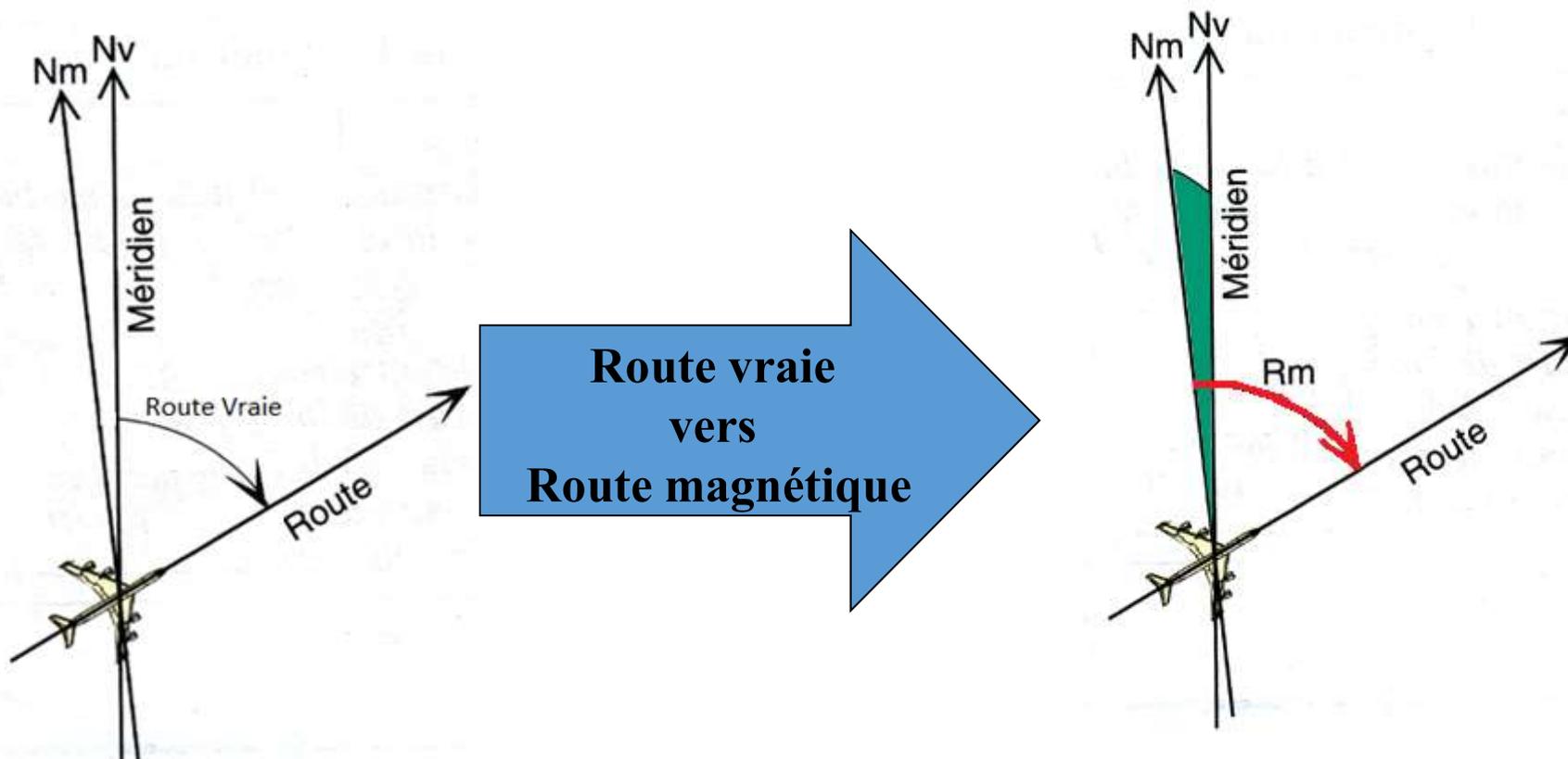
La valeur de la déclinaison magnétique est donnée dans les cartouches des cartes aéronautiques

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

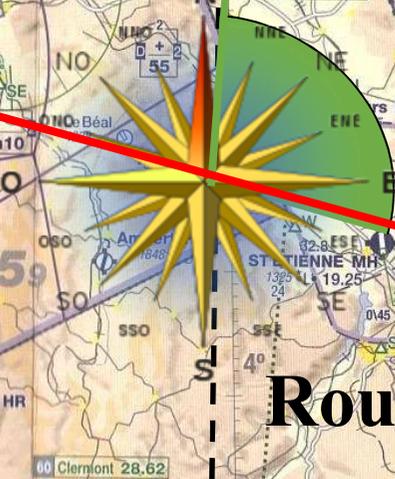


Route magnétique = Route vraie - déclinaison

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°

Exemple :

Route magnétique = Route vraie - déclinaison

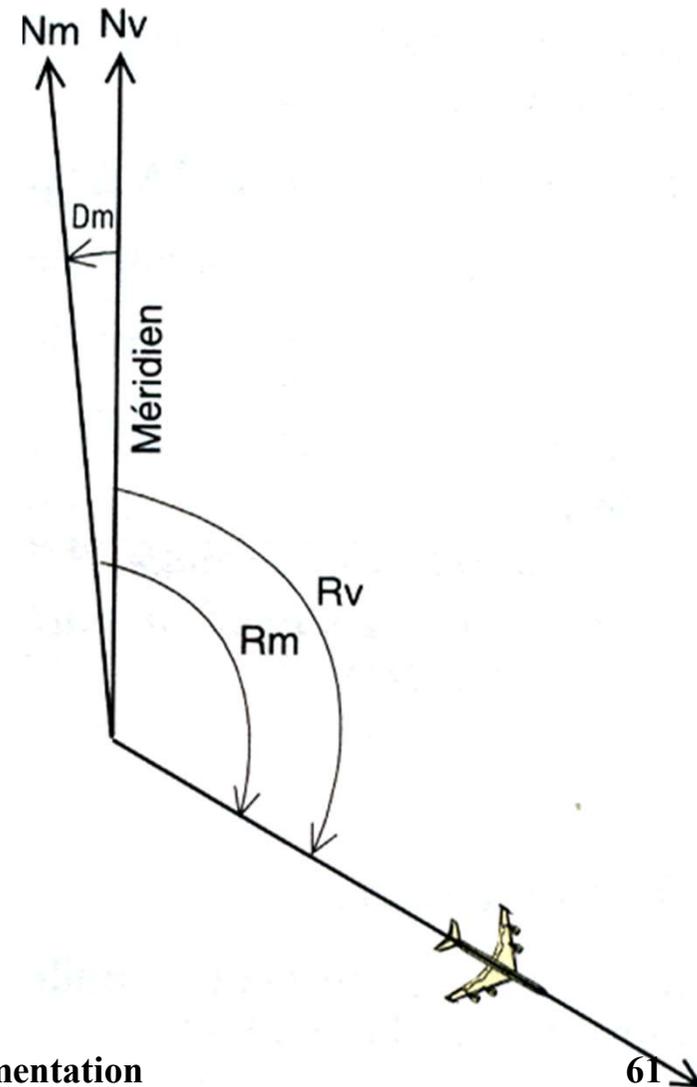
Route vraie mesurée sur la carte : $Rv = 120^\circ$

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

Route magnétique :

$$Rm = Rv - Dm$$

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

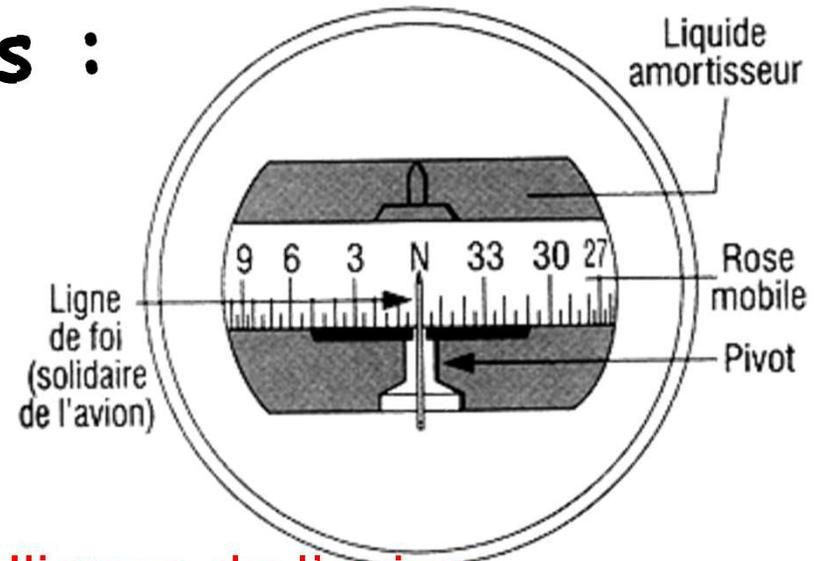


Calcul du Cap compas :

Le compas :

Fonctionne sur le même principe qu'une boussole

La ligne de foi permet de lire le cap .



Il est perturbé 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 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 :

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

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°

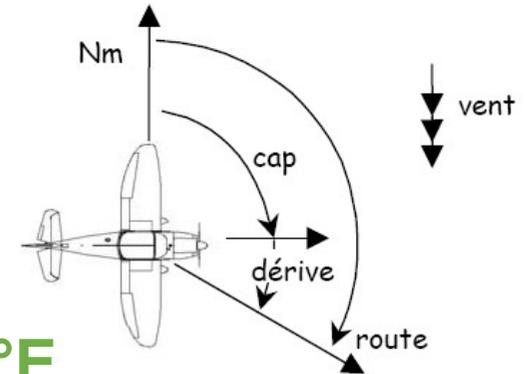
Cap Vrai = 106°

Sans vent le cap et la route sont confondus

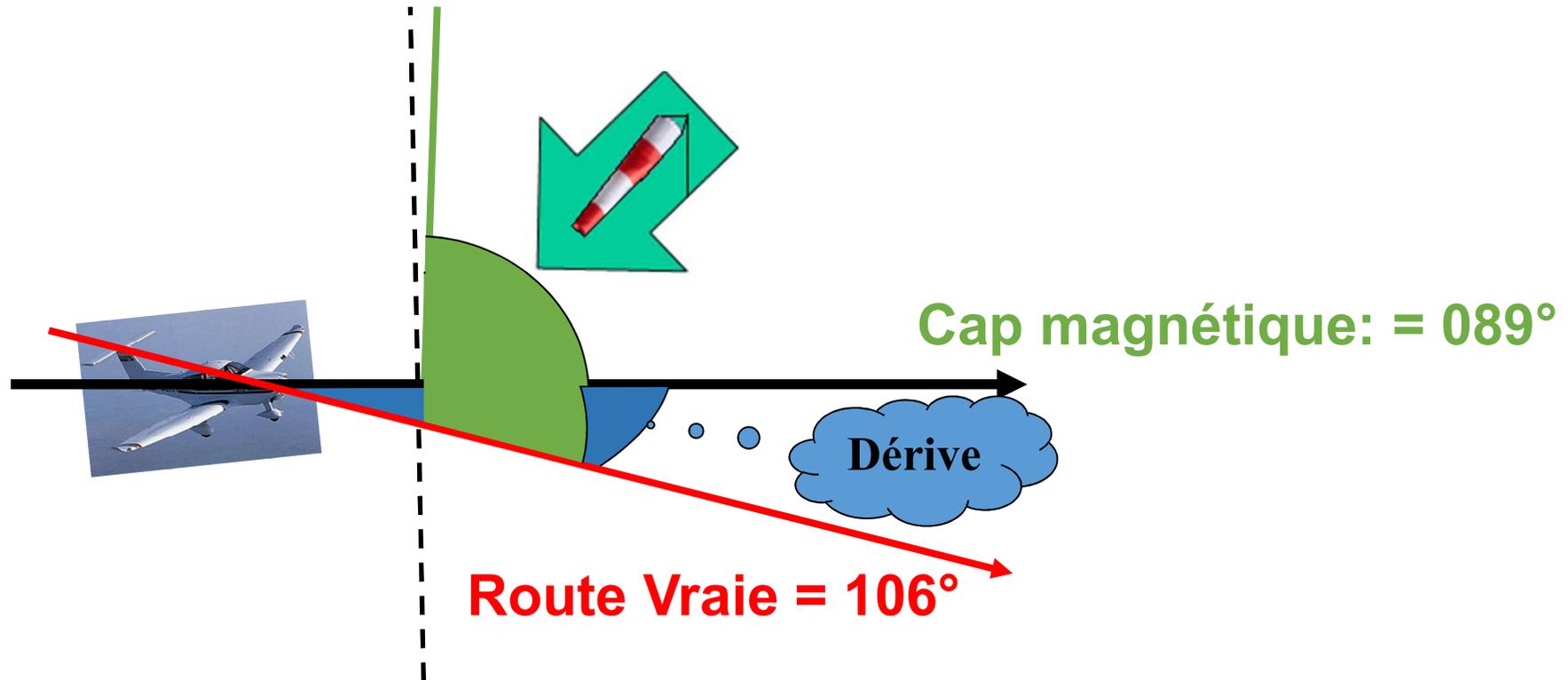
Dérive due au vent

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 du vent traversier max

FB = Facteur de base = temps pour parcourir 1NM

exprimé en h : $FB = 1/V_p$

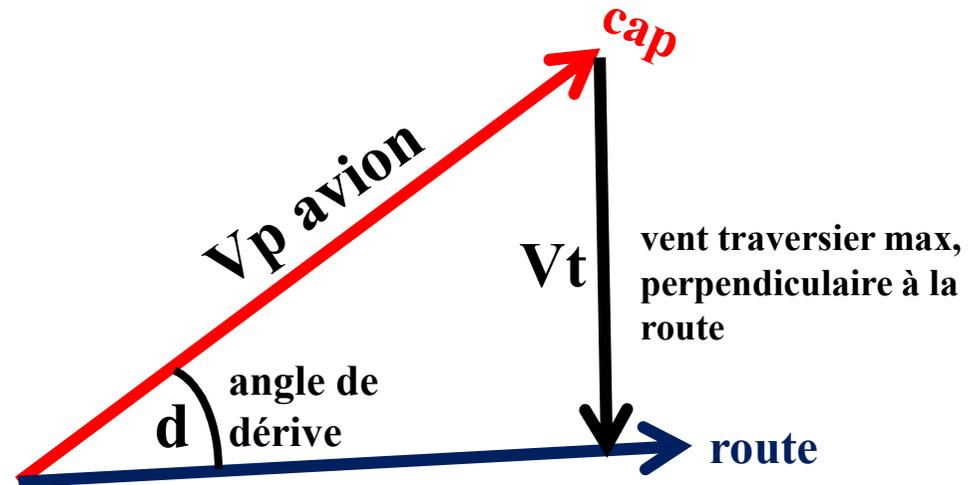
exprimé en min : $FB = 60/V_p$

$$\rightarrow V_p = 60 / FB$$

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

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

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

Calcul de la dérive du au vent:

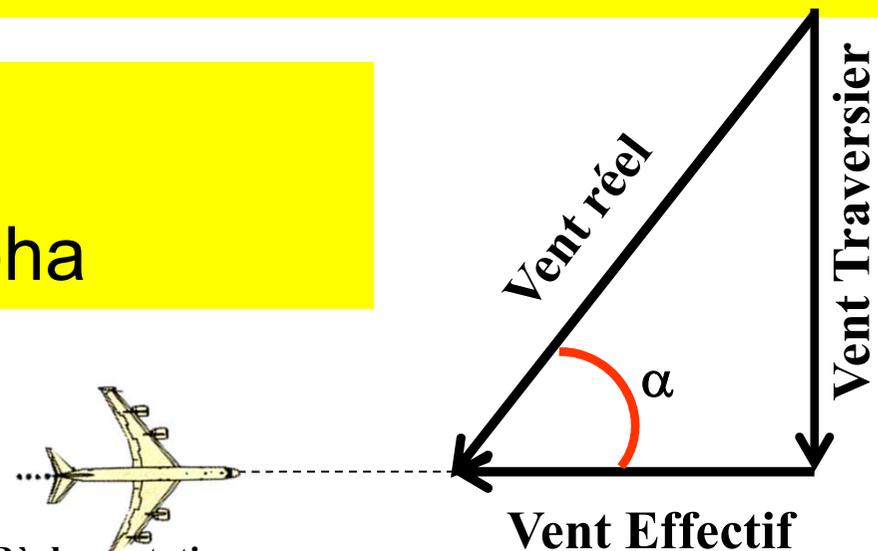
Le facteur de base sert à rapidement calculer le temps pour un segment de navigation à l'estime mais aussi à calculer l'angle de dérive.

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** .

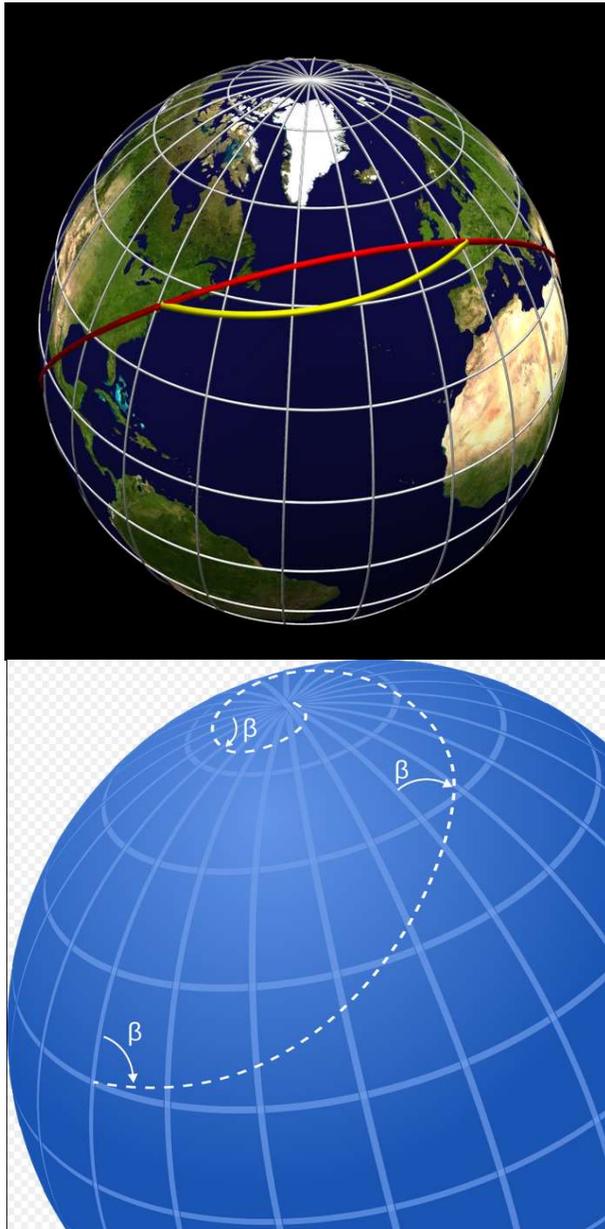
Conclusion

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 ($C_c = C_m - d$)

- 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 ...

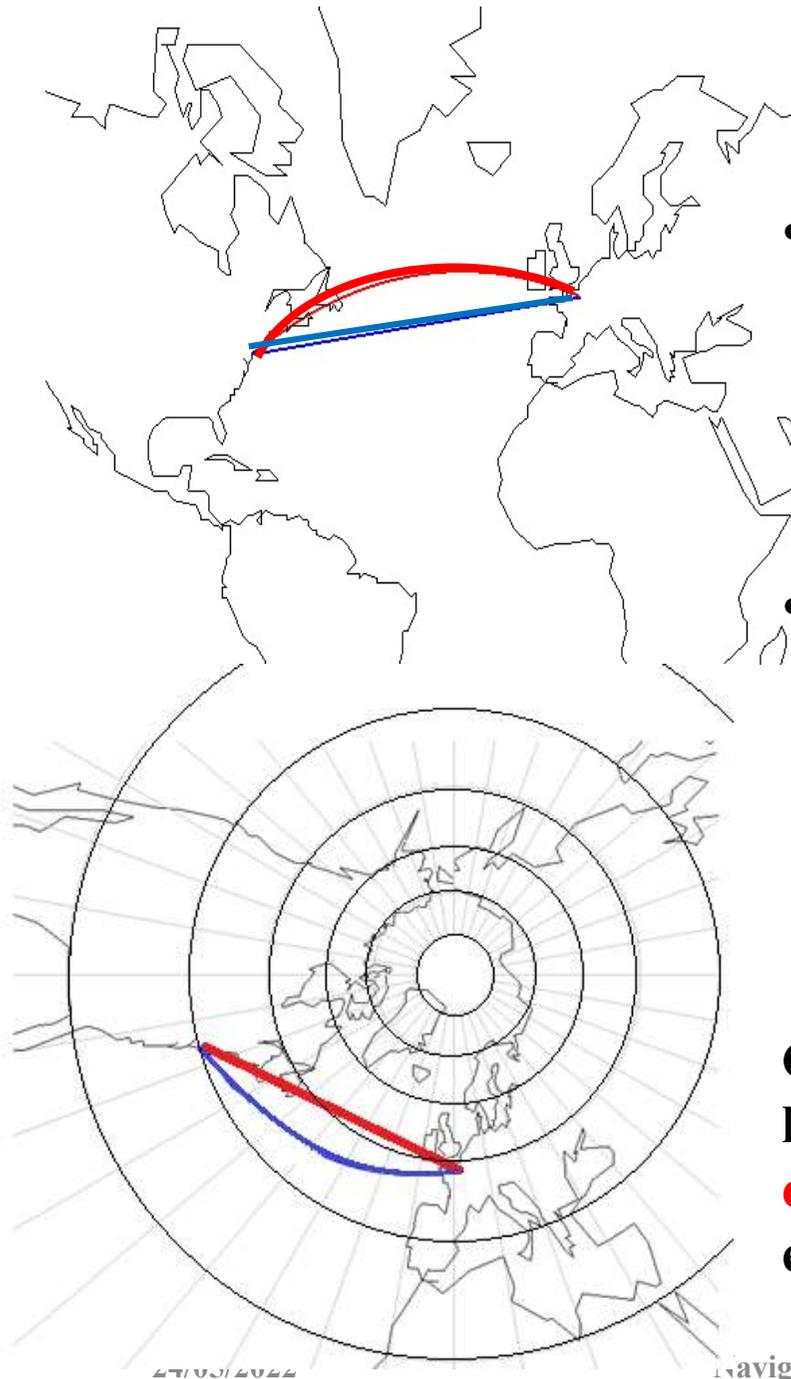


Route à cap constant: Loxodromie

- 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.

Route Vraie – Dérive due au vent (X)

=

Cap vrai

Cap Vrai – Déclinaison magnétique (Dm)

=

Cap Magnétique

Cap magnétique – déviation du compas

=

Cap compas

Nv : nord vrai

Nm : nord magnétique

Dm: déclinaison magnétique

Rv : route vraie

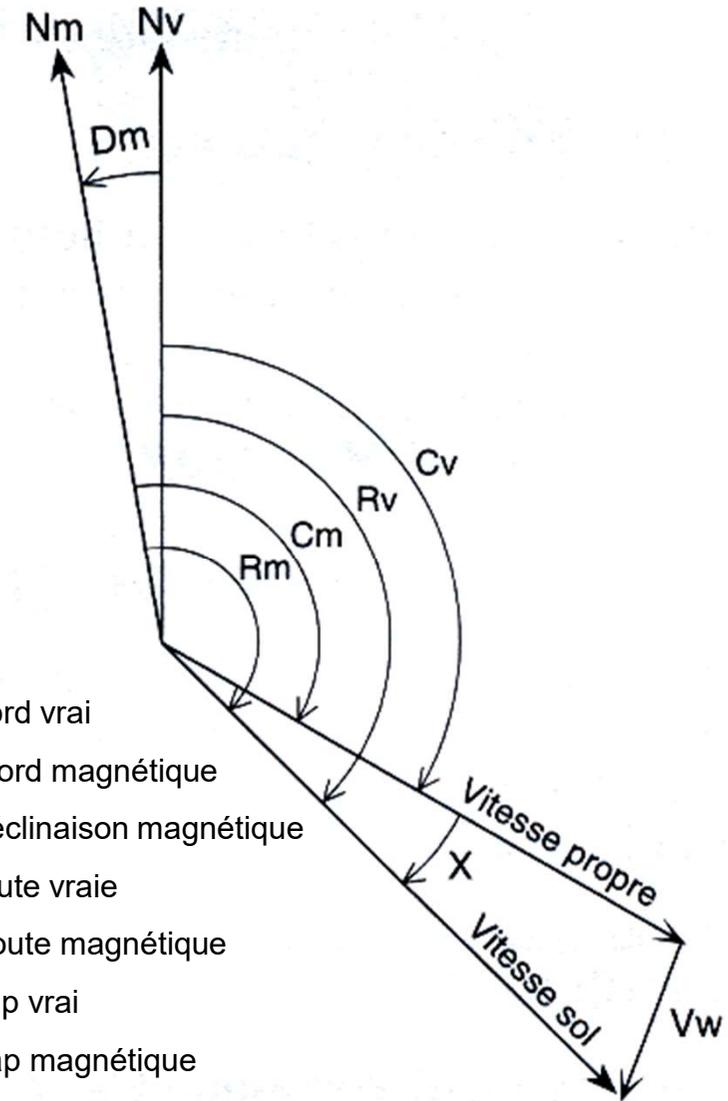
Rm : route magnétique

Cv : cap vrai

Cm: cap magnétique

Vw : vent

X : dérive



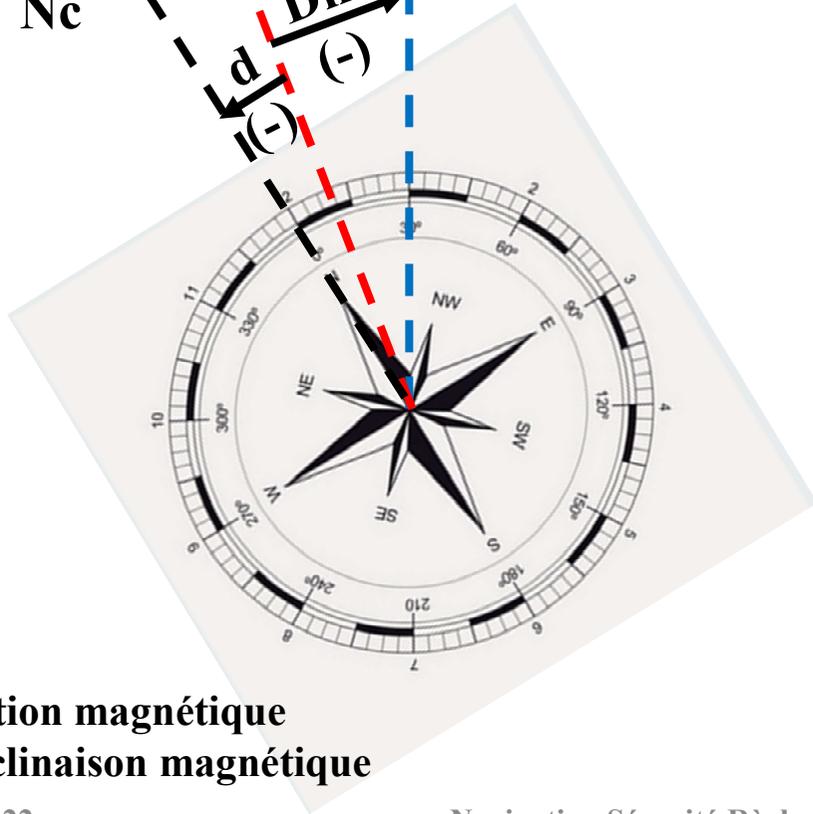
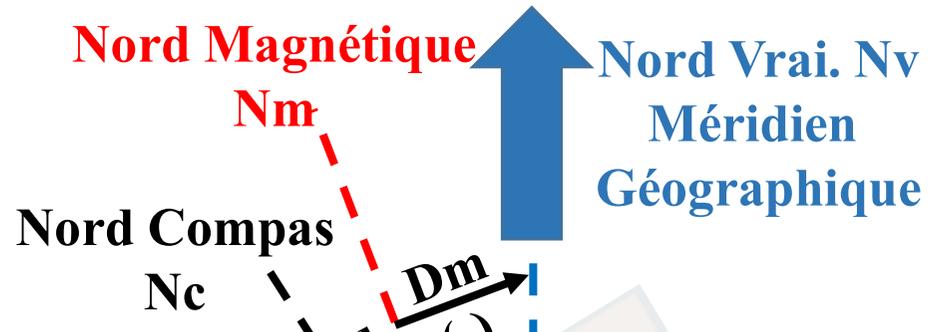
Résumé

- Vitesse propre (V_p) la vitesse de l'avion par rapport à la masse d'air
- Le vent est le déplacement de cette masse d'air par rapport au sol .
- Vitesse Sol (V_s) la vitesse de l'avion par rapport au sol . $V_{sol} = V_{propre} \pm V_{effectif}$
- Le vent traversier V_t Perpendiculaire à route
- Le vent effectif V_e Parallèle à la route
- 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.
- Route vraie (R_v)= Angle entre la direction du pôle nord géographique (donnée par les méridiens) et la « route » de l'avion tracée sur la carte
- Route magnétique = Route vraie - déclinaison
- Le cap peut être:
 - Magnétique (C_m) si il est mesuré par rapport au Nord Magnétique
 - Vrai (C_v) si il est mesuré par rapport au Nord Vrai
- 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
- Cap compas = cap magnétique - déviation
- Le cheminement consiste à suivre, au sol, des lignes caractéristique bien visibles de l'avion
- Navigation à l'estime: Méthode basée sur l'utilisation du compas et de la montre
- Facteur de base = temps nécessaire (en minute) pour parcourir 1 NM. $F_b = 60/V_p$
- Calcul du temps sans vent : $T.S.V = \text{Distance AB} / \text{Vitesse}$ ou $TSV = \text{Distance} * F_b$
- On appelle dérive (X) l'angle entre le cap et la route.

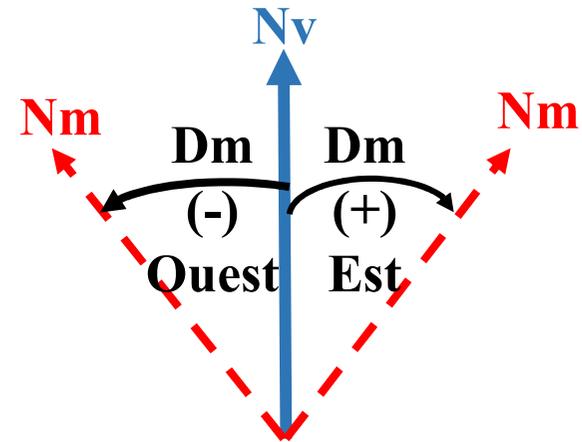
Résumé

Les trois Nord: Géographique ou Nord Vrai, Magnétique, Compas.

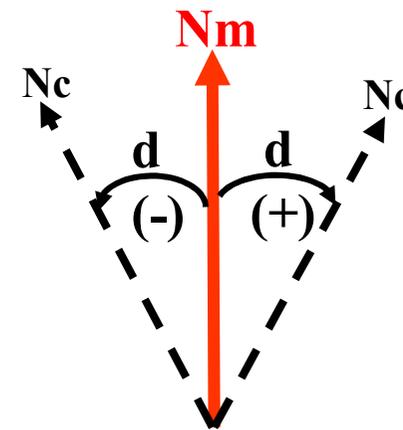
Déclinaison et Déviation



d = déviation magnétique
Dm = Déclinaison magnétique



Déclinaison magnétique. Dm



Déviation magnétique. 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) non glissable, 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°.

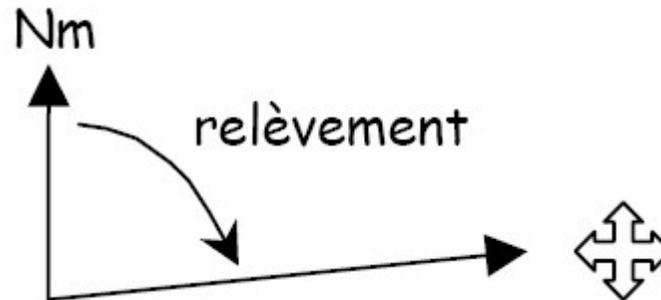
56) Si en vol vous devez suivre un cap magnétique de 250 alors que la route magnétique est de 270, vous en déduisez que :

- 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.

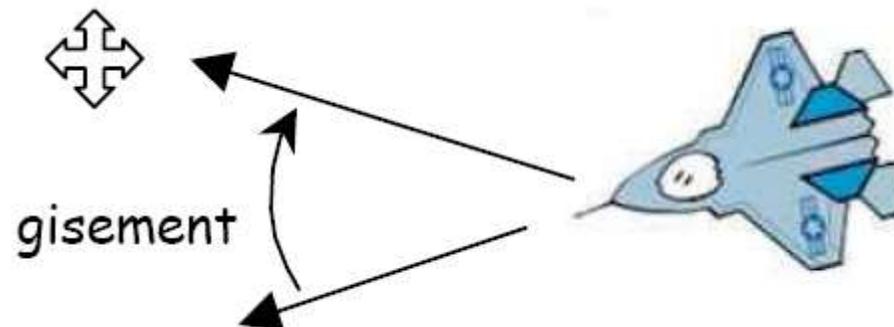
La radionavigation

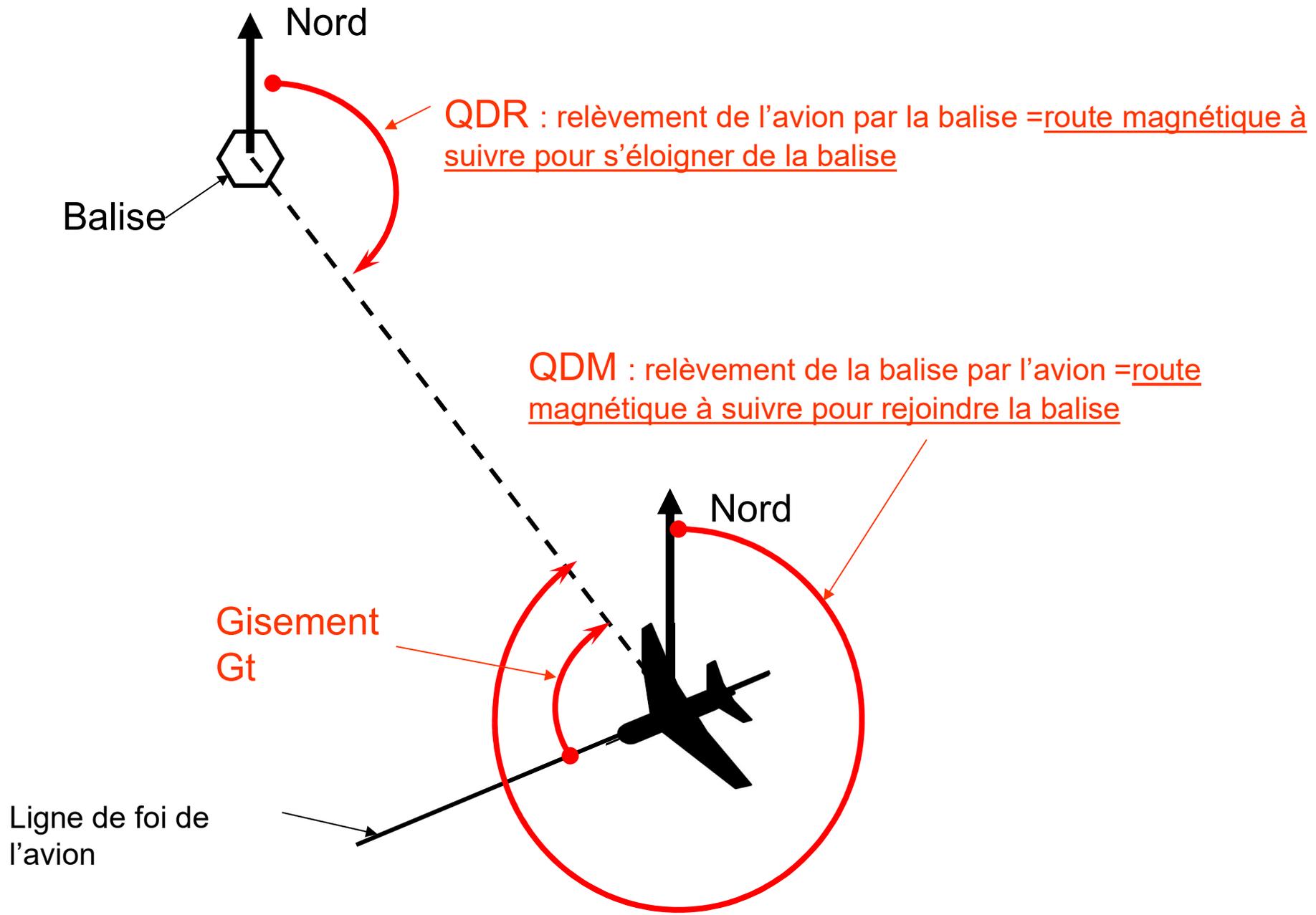
La radio navigation consiste pour le pilote à situer son avion par rapport à une balise (station) qui émet des ondes radio .

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 foi de l'avion et la **droite** passant par la **balise** et **l'avion**





Le radio-compas ADF

La station au sol :



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

Le récepteur de bord:

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



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

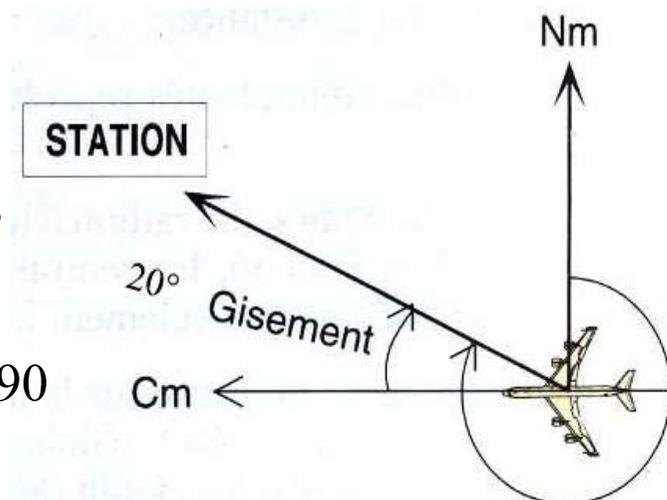


$$QDM = Gt + Cm$$

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

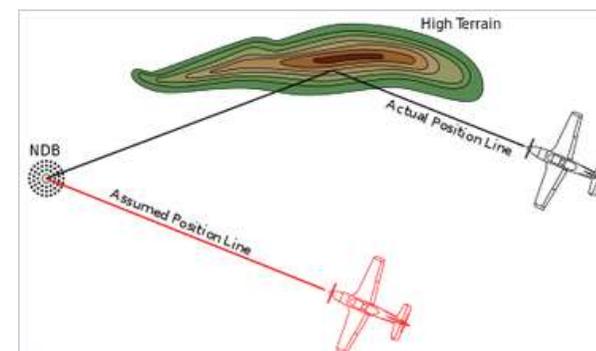
$$\text{Gisement} = 20^\circ$$

$$QDM = 270 + 20 = 290$$



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.



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

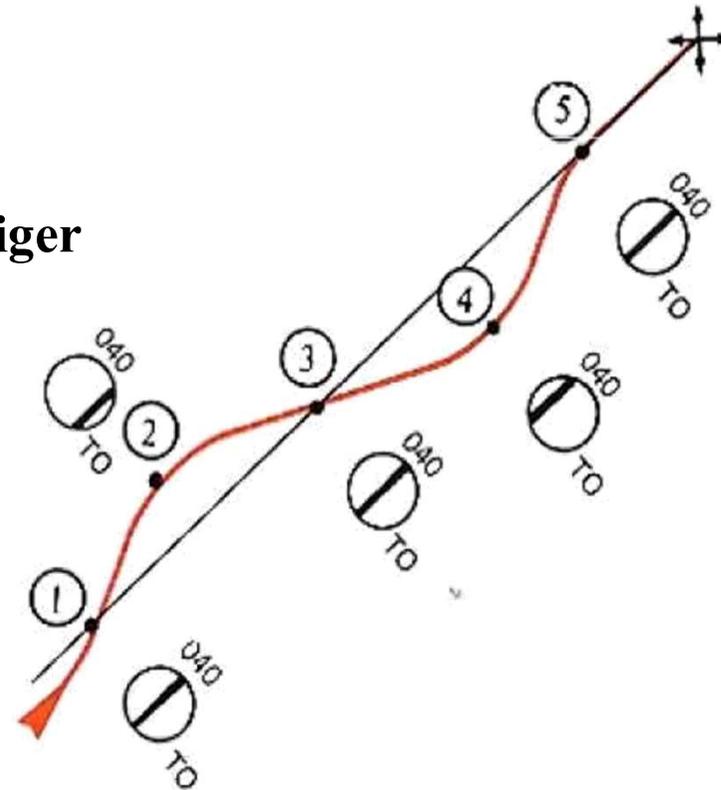


La mention
To/From signifie
que l'on est en
rapprochement /
éloignement de la
station
(QDM/QDR)

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 .

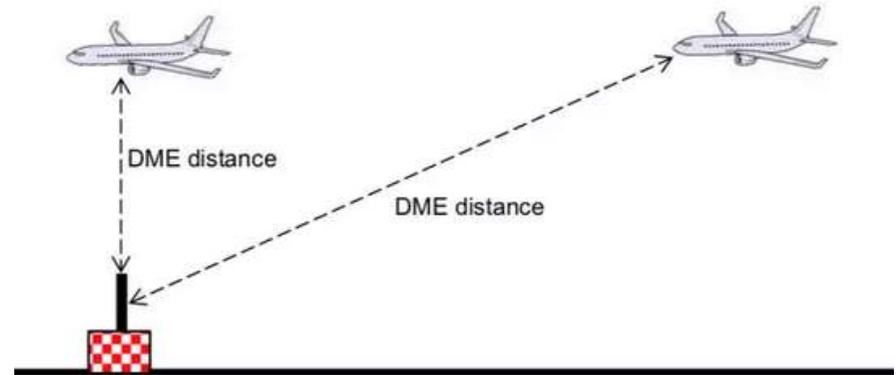
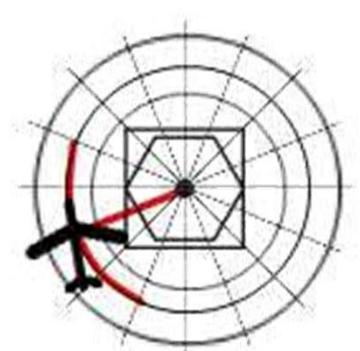
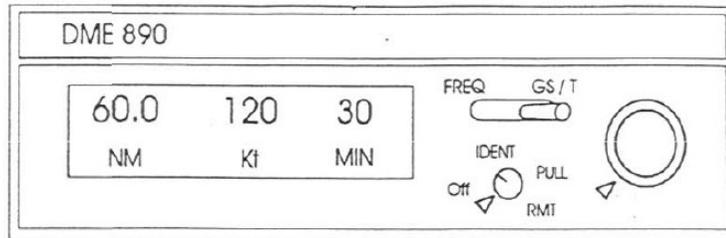


Image IVAO

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° ...

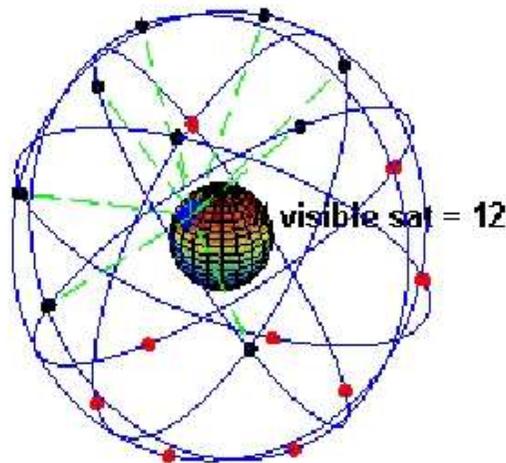
Avantages et Inconvénients des systèmes de radionavigation au sol

- 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

Systemes de positionnement 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.

Systeme 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

Le G.P.S. : Global Positioning System

Les systèmes de positionnement par satellites

- **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.
- **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.
- l'Inde prépare également son système de positionnement, l'**IRNSS**.
- le Japon prépare le système **QZSS** (*Quasi-Zenith Satellite System*).

Inconvénients des systèmes de positionnement par satellites :

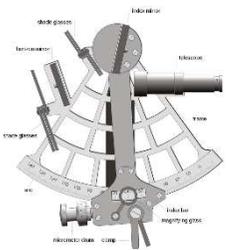
- Dépendance stratégique
 - Le signal pourrait être dégradé, occasionnant ainsi une perte importante de sa précision, si le gouvernement propriétaire le voulait.
- Risque de destruction ou brouillage des satellites.
- Confiance exagérée dans ses performances

Avantages et Inconvénients des systèmes GPS

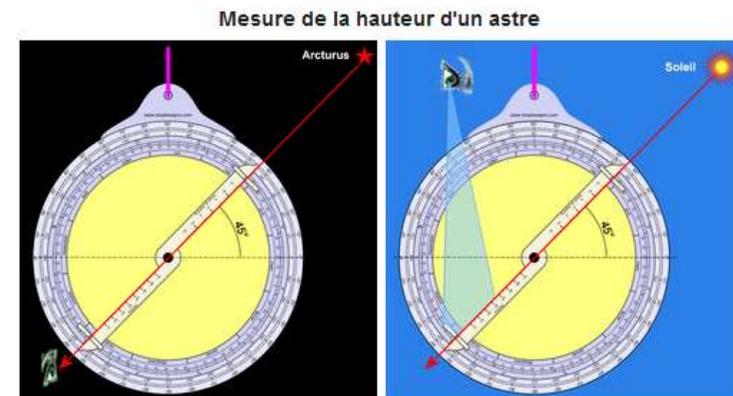
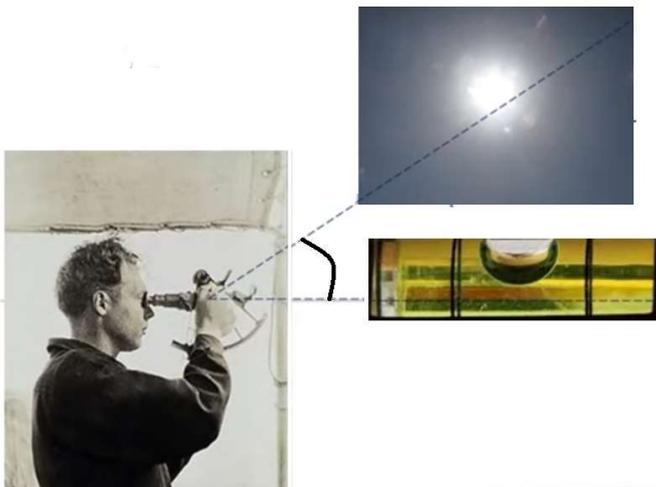
- Avantages:
 - Plus précis que la navigation avec système au sol
 - Utilisable sans visibilité du sol.
 - Mauvaise météo, Vols en haute altitude
 - Couverture mondiale même en zones inhospitalières
 - Plus difficile à brouiller
- Inconvénients:
 - Dépendance stratégique et étatique.
 - Le signal peut 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, 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)

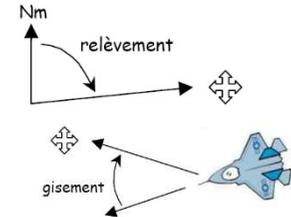


Inconvénients:

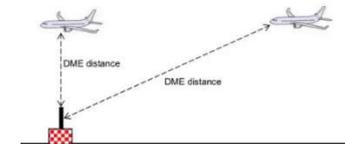
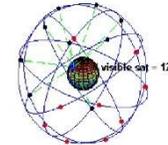
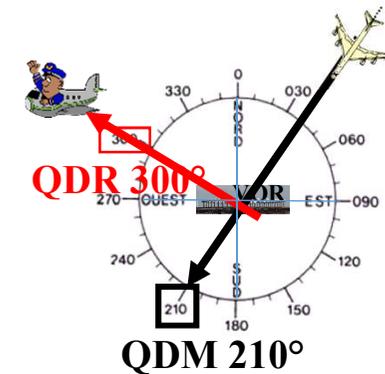
- Si les mesures sont faites manuellement:
 - Peut nécessiter un navigateur dans l'avion
 - Prend du temps et donc peu précis pour des avions volant très vite.
 - Si le ciel est couvert pas d'étoile ou soleil visible

Résumé Radio Navigation

- 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 foi de l'avion et la droite passant par la balise et l'avion
- Le radio-compas ADF (abréviation de Automatic directional finder)



- Le VOR (abréviation de VHF Omnidirectional Range) ont pour référence le Nord magnétique.
- QDR : relèvement de l'avion par la balise. Radial
- QDM : relèvement de la balise par l'avion. (route à suivre pour rejoindre la station)
- Le G.P.S. : Global Positioning System. GPS, Galileo, Glonass, Beidou
- DME: (Distance measuring equipment) mesure la distance oblique entre l'avion et la station. Souvent couplé à un VOR.



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 :

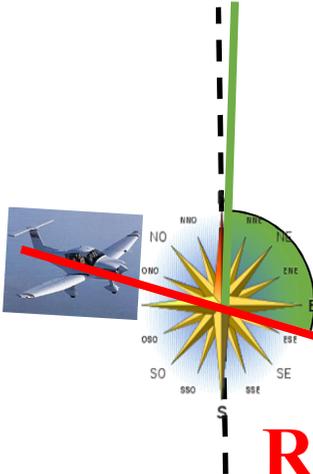
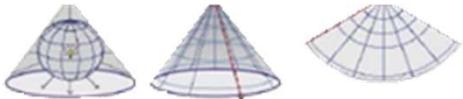
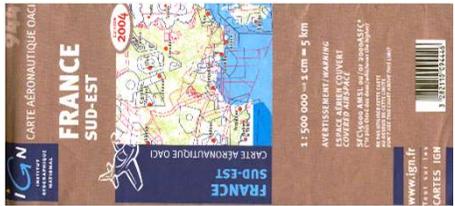
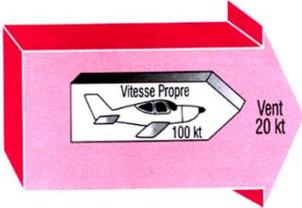
- a) indique la pente à suivre pour l'atterrissage.
- b) est réservé au trafic militaire.
- c) est couplé au GPS et sert d'alarme de proximité du sol.
- d) est couplé au V.O.R. et indique la distance le séparant de la balise.



4. Navigation, Réglementation, Sécurité des vols



4.1 La Navigation



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

Route Vraie = 106°



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