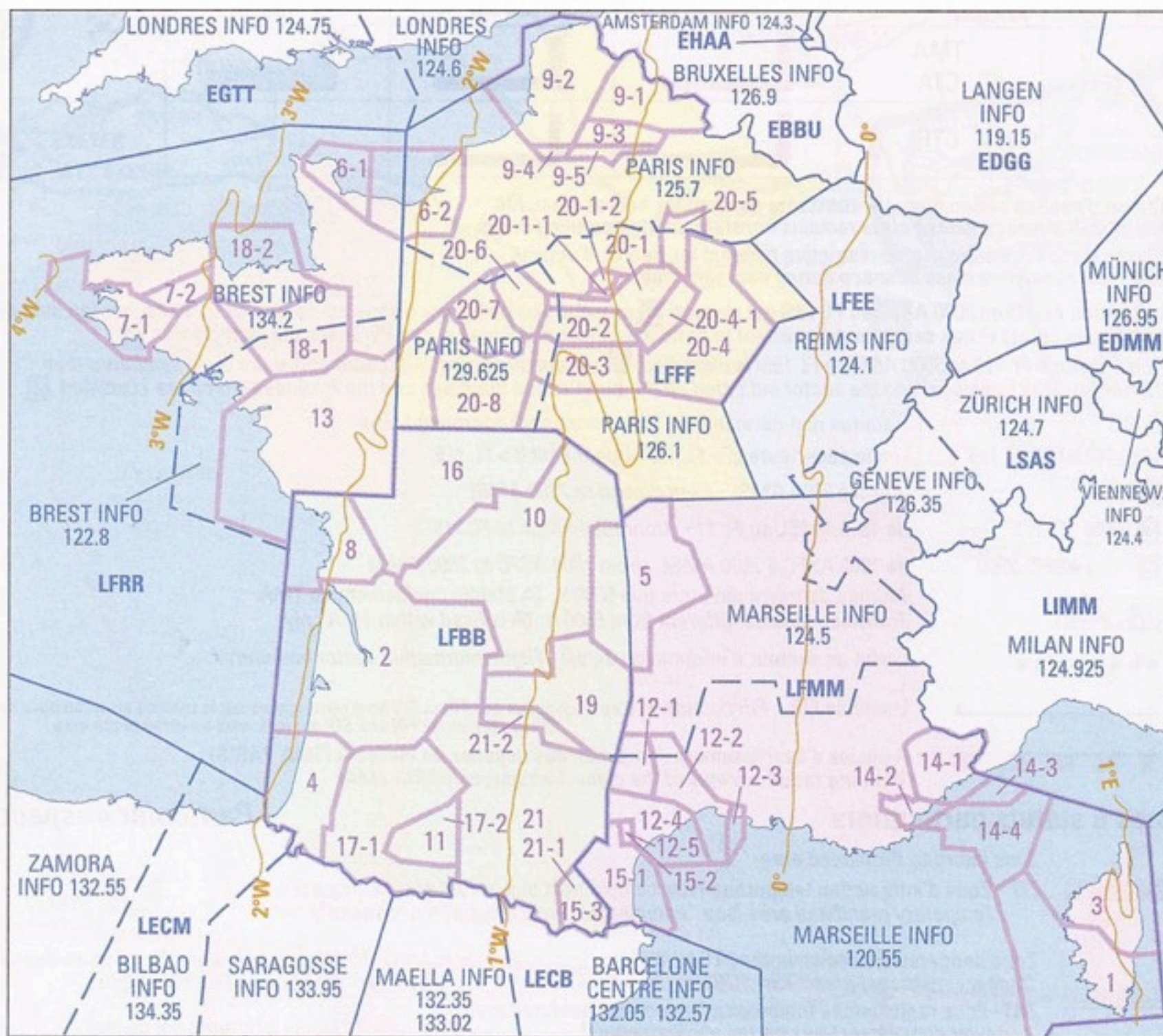


Navigation



- Limite de FIR
FIR boundary
- - - Limite de secteur d'information de vol (FIC)
Flight information sector boundary (FIC)
- Limite de secteur d'information de vol (SIV APP)
Flight information sector boundary (SIV APP)
- Lignes d'égale déclinaison correspondant au 1-1-2005
Lines of equal magnetic variation (isogonals) on 1.1.2005

SECTEURS D'INFORMATION DE VOL / FLIGHT INFORMATION SECTORS

- | | | |
|----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 AJACCIO INFO 119.825 <FL 145 | 12-1 MONTPELLIER INFO 120.375 <FL 075 | 18-1 RENNES SUD INFO 134.0 <FL 115 |
| 2 AQUITAINE INFO 120.575 <FL 145 | 136.625 FL 075 <FL 115 | 18-2 RENNES NORD INFO 124.9 <FL 115 |
| 3 BASTIA INFO 124.725 <FL 145 | 12-2 MONTPELLIER INFO 136.625 <FL 115 | 19 RODEZ INFO 125.375 <FL 115 |

1

La terre

“ Paix sur la terre aux
hommes de bonne
volonté. ”

– Saint Luc –



Se repérer. Latitude et Longitude

Notre planète se présente sous une forme quasiment sphérique... Sphère légèrement aplatie aux pôles et enflée à l'équateur. Le rayon de la terre à l'équateur vaut environ 6378 km alors qu'aux pôles il n'est que de 6357 km (une différence de diamètre totale de 43 km selon l'axe choisis qui permet d'accepter l'approximation sphérique!). Nous supposons donc pour simplifier dans un premier temps que c'est une sphère « parfaite » que son rayon est de 6371 km que sa circonférence est de

$$2.PI.R = 2.PI.6371 \approx 40000 \text{ km.}$$

1. Définitions

Grand cercle : intersection de la terre avec un plan passant par le centre de la Terre.

Petit cercle : intersection de la terre avec un plan quelconque ne passant pas par le centre de la Terre.

Équateur : grand cercle perpendiculaire à l'axe des pôles, séparant les hémisphères sud et nord.

Parallèle : petit cercle parallèle à l'équateur.

Méridien : demi-grand cercle passant par les 2 pôles. Par convention, le méridien d'origine est celui qui passe par la ville de **Greenwich** (Angleterre).

2. Se repérer sur une sphère

Pour déterminer chaque point sur la terre, on a défini un système de référence : les **parallèles** et les **méridiens**.

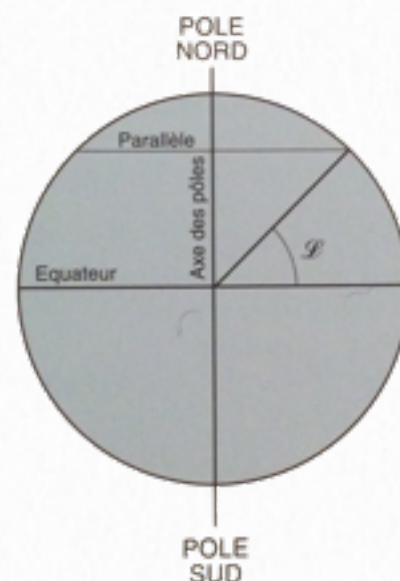
2.1. Parallèles et Latitude

Pour pouvoir déterminer chaque point dans l'axe Nord/Sud on a défini les **parallèles**. Et on a défini également la **latitude** « **L** ».

La latitude est l'angle mesuré au centre de la Terre, entre le point à déterminer et l'équateur.



Equateur et parallèles



LA TERRE VUE EN COUPE SUIVANT L'AXE DES PÔLES

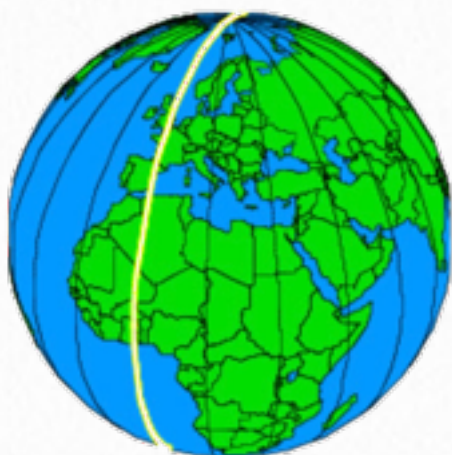
Les latitudes sont orientées :

- Latitudes Nord pour tous les points situés au Nord de l'équateur.
- Latitudes Sud pour tous les points situés au Sud de l'équateur.

Les latitudes varient donc de 0° à 90° . L'équateur a une latitude de 0° et le pôle Nord a une latitude de 90° N

La latitude de l'aérodrome de Pau se situe à $43^\circ 22'51''$ au nord de l'équateur. ($43^\circ 22'51''$ N)

2.2. Méridiens et Longitude



Méridiens et méridien de Greenwich

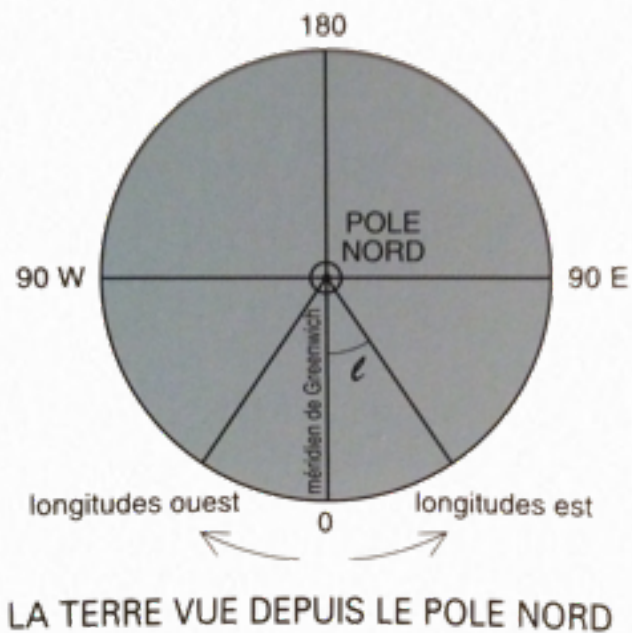
On compte les méridiens de degré en degré. La terre possède donc 360 méridiens. Comme pour l'équateur, il a fallu déterminer un méridien d'origine. Ce sera le méridien de Greenwich. Tout

point de la terre peut être déterminé en **longitude** « l ».

La longitude est l'angle entre le méridien de Greenwich et le méridien du point. Cette valeur étant orientée EST (noté E) ou OUEST (noté W).

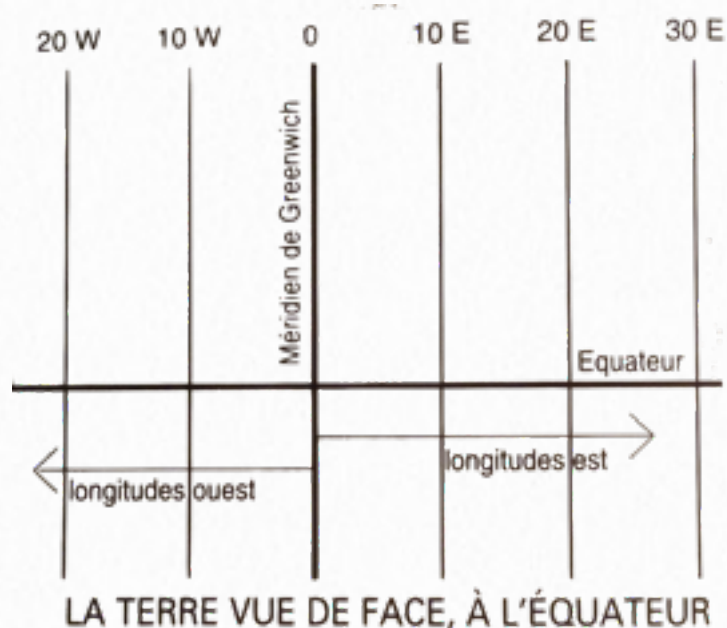
On compte les méridiens en degrés de longitude à l'EST ou à l'Ouest du méridien de Greenwich.

La longitude de l'aérodrome de Pau se situe à $0^\circ 25'6''$ à l'Ouest du méridien de Greenwich. ($0^\circ 25'6''$ W)



3. Les cartes

Pour pouvoir se déplacer et prévoir sa navigation, il faut représenter la terre sur des cartes. La terre n'étant pas plate, lorsque l'on



projette sa surface sur une carte on engendre des déformations qui modifient les distances. Plus la carte représente une partie importante de la terre et plus les déformations sont importantes. On utilise donc des cartes dont l'étendue représentée est limitée pour éviter les problèmes de ce genre. Les parallèles et méridiens sont figurés sur les cartes afin de

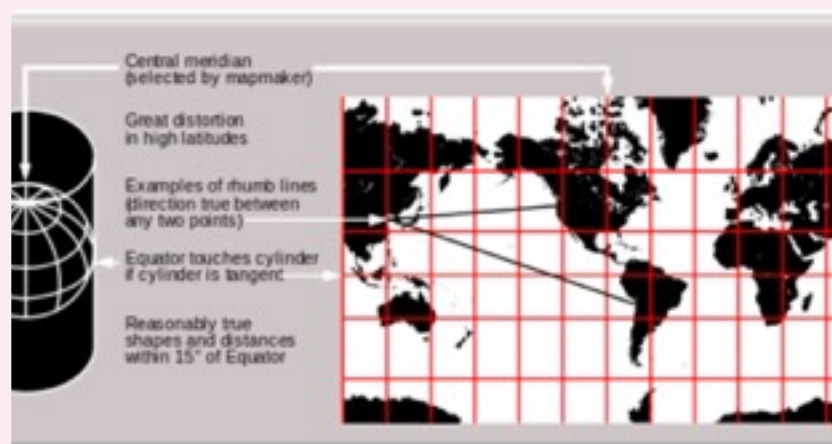
pouvoir donner les coordonnées géographiques de tous les points y figurant.

La cartographie utilisera différentes méthodes de projection (suivant l'usage de la carte), afin d'obtenir une carte qui respecte les angles, ou les distances, ou les deux.

Projection Mercator (respect des angles)

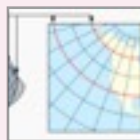
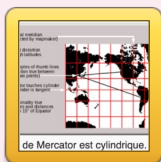
La projection conique conforme de Lambert

Galerie 1.1 Projections



Projection de Mercator est cylindrique.

Projection Mercator parallèles et méridiens sont des droites.



3.1. L'échelle

L'échelle d'une carte est le rapport entre la longueur « A'B » sur la carte et la distance AB sur la terre, exprimées dans la même unité. Ainsi, sur une carte au 1/500 000ème 1 cm sur la carte représente 500 000 cm sur la terre, soit 5 km.

Les cartes aéronautiques les plus utilisées ont pour échelle 1/500 000ème, 1/1 000 000ème et 1/2 000 000ème. Ce chiffre

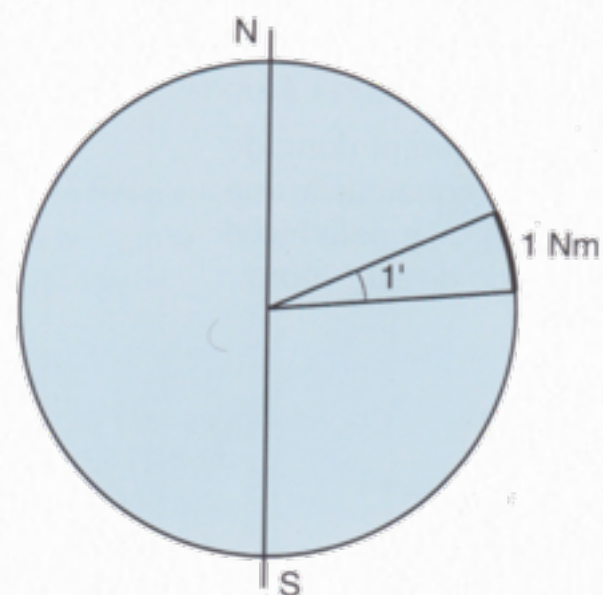
représente le rapport entre la distance mesurée sur la carte et la distance réelle. En pratique, sur ces cartes 1 cm représente respectivement 5 km, 10 km et 20 km.

3.2. L'unité de distance.

L'unité de distance en aéronautique n'est toutefois pas le kilomètre, mais le « Mille nautique » Nm.

Le nautique correspond à la distance que l'on parcourt sur un grand cercle lorsqu'on décrit un arc intercepté par un angle de 1 minute (1').

Sur un grand cercle 1' minute d'arc = 1 Nm



COUPE DE LA TERRE SUIVANT L'AXE DES PÔLES
ARC INTERCEPTÉ PAR UN ANGLE AU CENTRE DE 1'

Cette distance peut se calculer.

La longueur d'un arc intercepté par un angle α sur un cercle de rayon R est $d = \alpha.R$ avec α en radians.

Pour la terre $R = 6370$ km

et $1' = 29,08.10^{-5}$ radians

En effet, $360^\circ = 2.Pi$ radians

on sait que $1^\circ = 60'$
donc $360 \times 60 = 21\,600'$ radians
si $21\,600' = 2 \cdot \pi$ radians alors $1' = 2 \cdot \pi / 21\,600$
Soit $1' = 29,08 \cdot 10^{-5}$

$$d = \alpha \cdot R$$

Donc $d = 29,08 \cdot 10^{-5} \times 6370 = 1,852$ km.

$$1 \text{ NM} = 1,852 \text{ km}$$

On peut également le calculer à partir de la circonférence terrestre P qui est de 40 000 km. Elle est interceptée par un angle de 360° . Donc $d = 40\,000 / (360 \cdot 60) = 1,852$ km.

CQFD

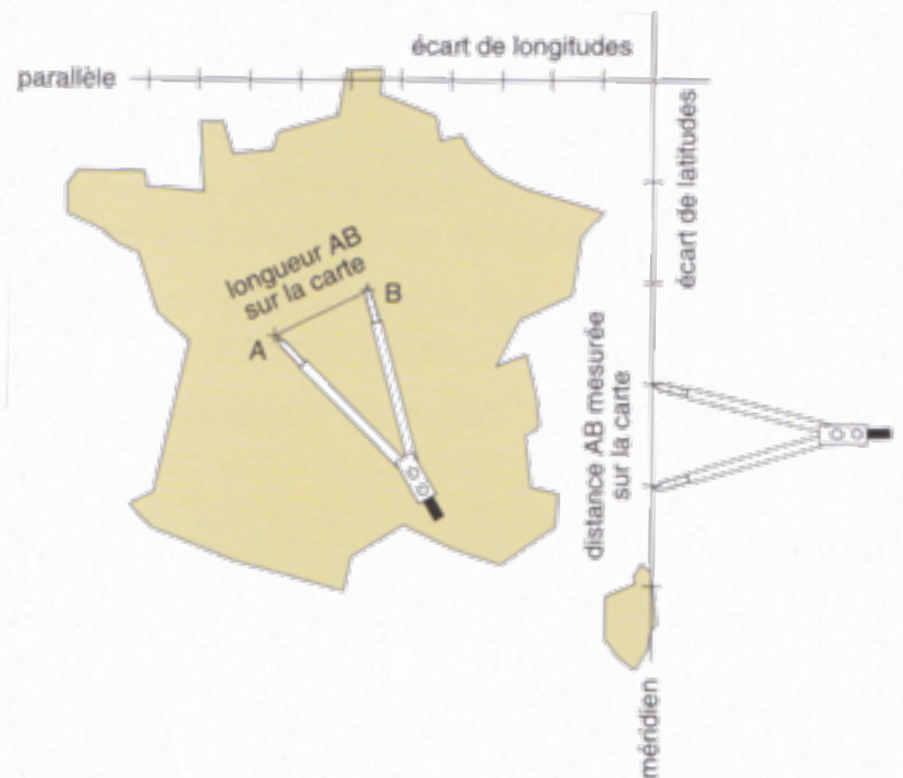
3.3. Mesure d'une distance entre deux points.

Pour mesurer une distance entre de points à la surface du globe, à partir d'une carte, il y a 2 méthodes.

a. Mesurer cette distance sur la carte et la multiplier par l'échelle

b. Relever au compas à pointe sèche la longueur entre les deux points et la reporter sur un **méridien** (grand cercle) ou l'équateur. On regarde alors quelle est la valeur de l'angle l'interceptant (en ») et on obtient directement la distance en Nm. Avec bien sûr **$1' \text{ d'arc} = 1 \text{ Nm sur un grand cercle}$**

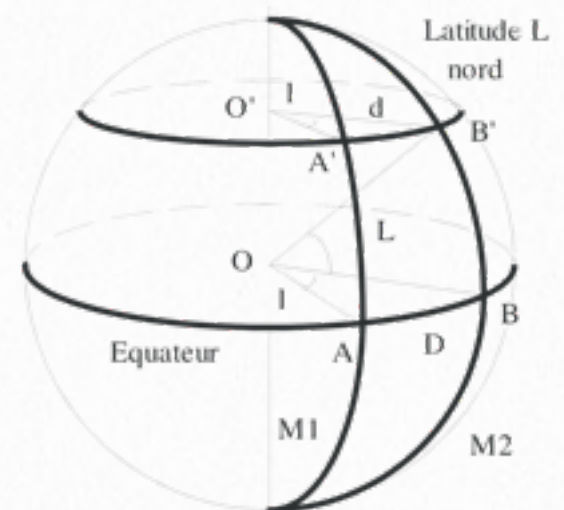
Attention, il ne faut pas utiliser la deuxième méthode sur les **parallèles**. En effet, ceux-ci ne sont pas des grands cercles.



Sur les parallèles, on mesure les écarts de longitude et sur les méridiens les écarts de latitude.

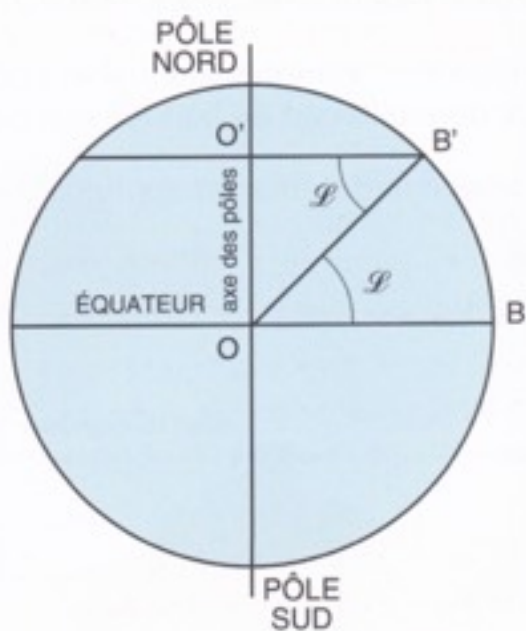
3.4. Différence d'un écart de longitude mesuré à l'équateur et sur un parallèle.

Soit les points A et B à l'intersection des méridiens M_1 et M_2 , et de l'équateur. Ils sont séparés d'un angle I . La distance D qui les sépare est donc de I (en ») Nm.



Soit les points A » et B » à l'intersection du parallèle de latitude nord L et des deux mêmes méridiens M_1 et M_2 . Ils sont séparés du même écart angulaire I sur les méridiens, mais il apparaît clairement sur la figure que la distance d qui les sépare est inférieure à la distance D qui sépare A et B.

Le calcul de cette distance se fait en considérant les triangles curvilignes (O,A,B) et (O',A',B »). Ces triangles sont semblables (mêmes angles). On a alors proportionnalité entre les longueurs des différents côtés dans les deux triangles :



On a également $OB' = OB$, car la terre est considérée comme sphérique. On en déduit donc que :

$$d = \Delta L \cdot \cos(L)$$

Avec $\Delta L =$ la différence de

longitude si ΔL en Nm et L en minutes »

Donc, sur un parallèle, la distance d'arc sera en NM, l'écart de longitude multiplié par le cosinus de la latitude du lieu.

Un exemple s'impose....

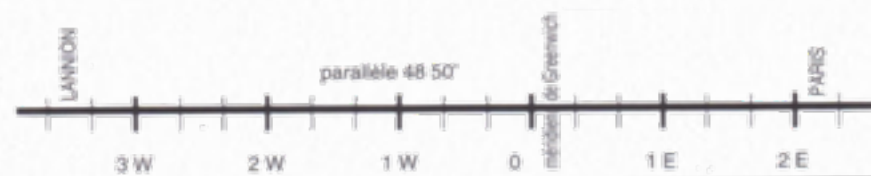
Paris et Lannion (Bretagne) sont à la même latitude $48^{\circ}50'N$. Paris est à la longitude $002^{\circ}10'E$ et Lannion est à la longitude $003^{\circ}30'W$.

Quelle est la distance séparant les deux villes?

Piège : Paris et Lannion sont de part et d'autre du méridien de Greenwich.

Écart de longitude : il faut additionner les longitudes, car elles sont de part et d'autre du zéro et les transformer en » pour pouvoir les convertir en NM puisque la seule relation

que l'on connaisse est que $1'$ d'arc = 1Nm sur un grand cercle



$$\begin{aligned} \Delta L &= 2^{\circ}10' + 3^{\circ}30' \\ &= 5^{\circ}40' \\ &= 5 \times 60' + 40' \\ &= \mathbf{340'} \end{aligned}$$

1 minute d'angle = 1NM sur un arc de cercle ayant pour centre le centre de la Terre.

Donc sur l'arc de parallèle passant par Paris et Lannion, la distance sera $d = \Delta L \cos(L)$

$$d = 340 \times \cos(48^{\circ}50')$$

il faut impérativement transformer les degrés, minutes en minutes.

Il faut donc convertir $50'$ en $^{\circ}$.

$$1^{\circ} \text{ vaut } 60' \text{ donc } 50' \text{ vaut } 50' \times 1^{\circ}/60' = 5/6$$

$$d = 340 \times \cos(48 + 5/6) = 223,8$$

La distance Paris Lannion est de **223,8 NM** ($223,8 \times 1,852 = 414,48$ kms)

Comment faisaient les marins?

Historiquement, lorsque les marins ont cherché à se positionner sur Terre leur seule référence était le Soleil. Un sextant permettait de mesurer la hauteur angulaire du Soleil à midi afin de déterminer la position sur un méridien : la latitude. Pour déterminer la deuxième coordonnée, la longitude, les marins utilisaient une horloge précise réglée sur le méridien de Greenwich. Le décalage entre « midi » ou l'on se trouve et midi Greenwich permet de déterminer la longitude. Par exemple, l'horloge du bateau indique qu'il est 14 h 30' à Greenwich lorsque

le soleil est au Zenith dans le bateau sur quelle longitude se trouve le bateau ?

Facile : la Terre fait un tour sur elle même (360°) en 24 h. En 2 h 30' (différence entre le midi Greenwich et midi bateau) la Terre aura effectuée X°.

$X = 360 \cdot 2,5 / 24$ 2,5 correspond à 2 h 30' exprimées en heure.

$X = 37,5^\circ$ soit en degrés, minutes $X = 37^\circ 30'$

Le bateau se trouve sur sur la longitude $37^\circ 30'$ W. W puisque le soleil « vient de l'est » et que le midi bateau est plus tardif que le midi Greenwich.

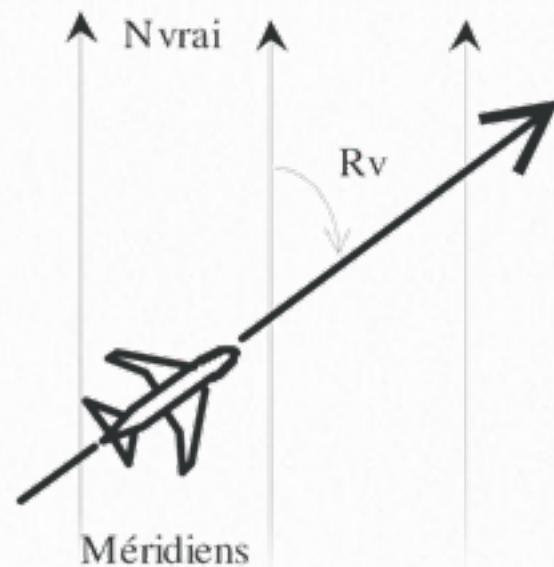
On peut retenir qu'une heure correspond à 15° de décalage... ou que la Terre tourne par rapport au Soleil de **15° en une heure.**

4. Une route.

Pour se rendre d'un point à un autre, il faut pouvoir donner une direction à suivre. Pour cela, on trace un trait sur la carte entre le point de départ et le point d'arrivée. On mesure ensuite à l'aide d'un rapporteur l'angle entre un méridien et « la route » tracée sur la carte en tournant dans le **sens horaire** et en prenant comme référence la direction du Nord géographique « **Nord vrai** ». **Cet angle est appelé route vraie (Rv).**

La direction du Nord représente une route vraie 0° , celle de l'Est une route vraie 90° , celle du Sud une route vraie 180° et celle de l'Ouest, une route vraie 270° . Sans vent, la route représente le cap vrai que l'avion doit suivre pour arriver au point voulu.

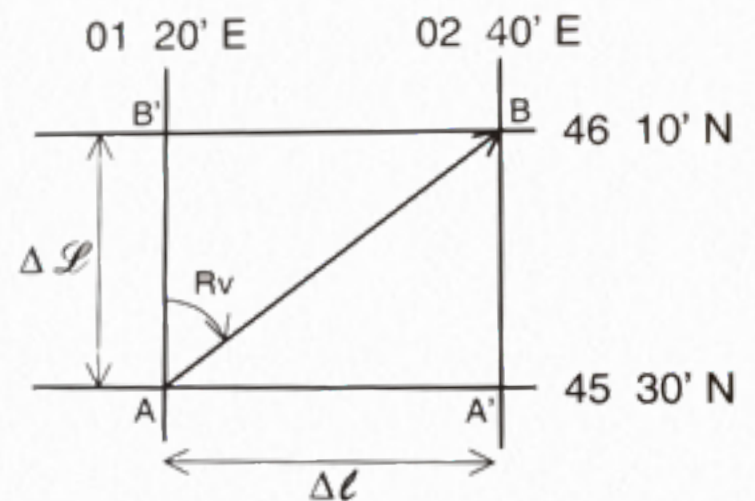
Et si l'on n'a pas de rapporteur? Il nous reste notre tête, les cours du Bia et Pythagore...



4.1. Calcul de distance et de route vrai.

Un pilote veut aller du point A $45^\circ 30'$ N $001^\circ 20'$ E vers le point B $46^\circ 10'$ N $002^\circ 40'$ E. Quelle distance sépare les 2 points, Quelle est la route?

Un petit schéma s'impose.



Sur une carte vous vous rendriez compte que les distances ne sont pas très importantes. On peut donc considérer le quadrilatère AB'BA comme un rectangle.

4.1.1. Calcul de la distance AB.

4.1.1.a. Longueur A'B qui est sur grand cercle (méridien).

$$\Delta \mathcal{L} = 46^{\circ}10' - 45^{\circ}30' = \frac{46^{\circ}10' - 45^{\circ}30'}{60} = 0^{\circ}40'$$

= 40' d'angle sur un grand cercle soit 40 NM. **A'B = 40**

4.1.1.b. Longueur AA' qui n'est pas sur grand cercle mais sur un parallèle.

$$d = \Delta \mathcal{L} \cdot \cos(\mathcal{L}) \text{ avec } \Delta \mathcal{L} \text{ en minutes}$$

a) DELTA L?

$$\Delta \mathcal{L} = 02^{\circ}40' - 01^{\circ}20'$$

$$\begin{array}{r} 02^{\circ} 40' \\ - 01^{\circ} 20' \\ \hline \end{array}$$

$$01^{\circ} 20' \Rightarrow \text{or } 1^{\circ} = 60' \text{ donc } 01^{\circ} 20' = 80'$$

$$\Delta \mathcal{L} = 80' \mathcal{L}$$

b) L?

$\cos(\mathcal{L})$, il faudra prendre la latitude moyenne. Soit $45^{\circ}30' + 1/2$

$$\mathcal{L} = 45^{\circ}30' + 1/2 \cdot 40' = 45^{\circ}50'$$

Soit $45 + 5/6$ degrés

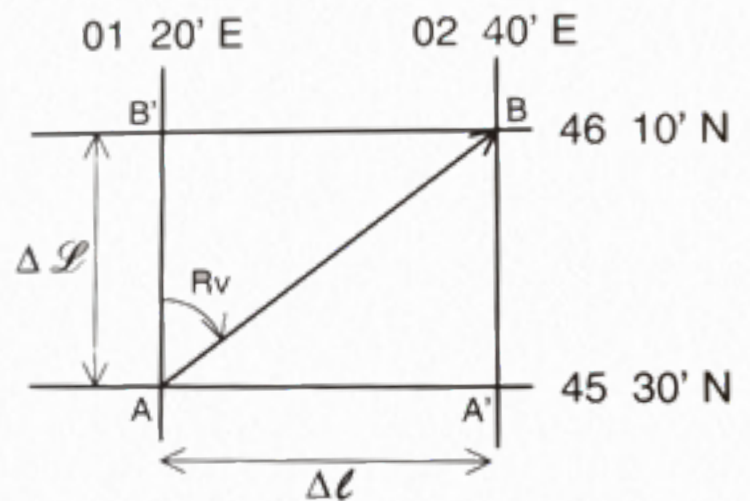
Résultat :

$$d = \Delta \mathcal{L} \cdot \cos(\mathcal{L})$$

$$= 80 \cdot \cos(45 + 5/6) = 55,73 \text{ NM}$$

$$\mathbf{AA' = 55,73}$$

Un petit coup de Pythagore pour trouver AB.... en effet, dans le triangle rectangle AA'B :



$$AB^2 = AB'^2 + AA'^2 = 40^2 + 55,73^2$$

$$AB = 68,59 \text{ NM}$$

La distance entre les points A et B est de 68,59 NM

4.1.2. Calcul de la route.

Rappel de quatrième.

Dans un triangle rectangle, le cosinus d'un angle est égal à la longueur du côté adjacent de cet angle divisé par la longueur de l'hypoténuse. Dans notre schéma

$$\cos(Rv) = AB'/AB$$

$$Rv = \arccos(40/68,59) = 54,32$$

La route vraie pour rejoindre le point B à partir du point A est de 54,32°

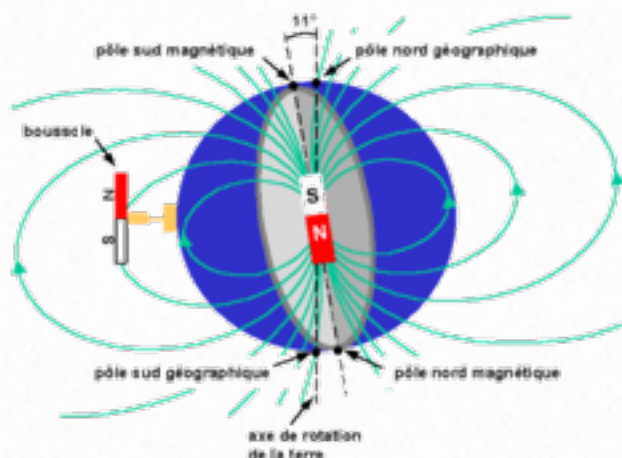
Les Nords

Vous savez maintenant trouver votre position. Vous savez également trouver la distance qui vous sépare d'un autre point et calculer la **route vraie** pour vous y rendre. Et cela aux moyens de parallèles et de méridiens qui sont des lignes passants ou perpendiculaires aux pôles géographiques. Malheureusement ce n'est pas si simple.

Seul un GPS est capable de «travailler» à partir de coordonnées bâties à partir du pôle Nord (dit pôle géographique) et ça, ce n'est que le début de nos désagréments...

1. Le pôle Nord magnétique.

Il règne autour du globe un champ magnétique terrestre de faible intensité. Tout se passe comme si la Terre contenait un aimant gigantesque passant par son centre dont l'axe serait voisin de l'axe des pôles



géographiques, **sans toutefois coïncider avec lui**, car le pôle Nord magnétique n'est

pas tout à fait confondu avec le pôle géographique.

La terre dispose donc d'un champ magnétique quasiment orienté sur l'axe Nord Sud.

Avec la boussole appelée aussi **compas magnétique**, dans son avion l'aviateur va

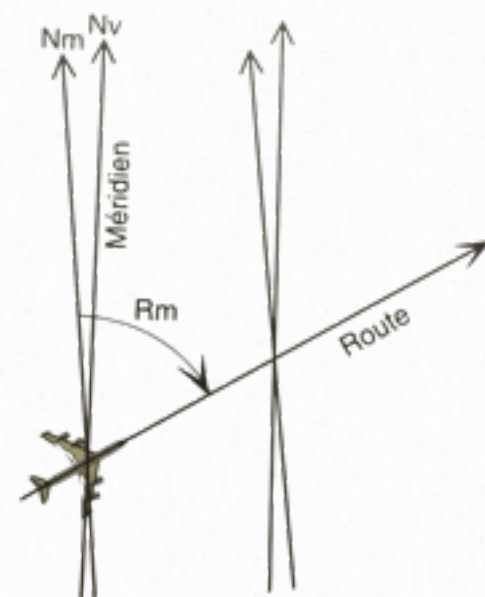
pouvoir orienter sa route en sélectionnant un angle à partir de Nord magnétique (Nm).

La Terre émet un champ magnétique dont la ligne des pôles est **distincte** de celle des pôles géographiques.

2. La déclinaison magnétique (Dm).

La déclinaison magnétique (Dm) est, par définition, l'angle que fait la direction du nord magnétique avec celle du nord géographique (ou nord vrai), compté Ouest ou Est.

La déclinaison magnétique (Dm) est donc la différence angulaire entre la direction du **Nord Magnétique** et celle du **Nord Vrai**. Elle est **négative (Ouest)** si le Nord magnétique tombe à gauche du Nord vrai. Inversement, la



Déclinaison Magnétique est **positive (Est)** quand le Nord magnétique tombe à droite de la direction du Nord vrai.

Elle est parfaitement connue et est représentée sur les cartes par une petite flèche ou une rose des vents qui indique sa valeur à **une date donnée** ainsi que **sa variation annuelle**.

Eh bien oui, ce serait trop simple sinon.

La Dm varie en fonction du lieu et elle varie également dans le temps, car l'axe du champ magnétique terrestre se modifie au cours du temps au gré des mouvements du noyau terrestre...

Elle diminue (c'est-à-dire se rapproche de zéro) tous les ans dans nos régions En France, la déclinaison magnétique est assez faible.

À l'immac le 01/01 2015 elle est de $0^{\circ} 15' W$ et dérivera de $0^{\circ} 7' E$ par an.

À Strasbourg à la même date elle est de $1^{\circ} 46' E$ et dérivera de $0^{\circ} 8' E$ par an.

Il est donc indispensable de tenir compte de la DM à la date de l'observation pour pouvoir calculer les routes.

La déclinaison magnétique est marquée sur les cartes ainsi que sa dérivation annuelle.

Exemple de calcul

Sur la rose des vents, nous lisons ceci: $4^{\circ}10' W$ 1995 (7'E).

En 1995, la déclinaison est égale à 4° et $10'$ vers l'ouest (W).

(7'E) = Elle diminue de $7'$ par année à cause de la direction E.

En 2002 la diminution est égale à $7 \times 7 = 49'$ (2002-1995=7).

Quelle est la valeur de D en 2002.

$4^{\circ}10' - 49'$. Moins par ce qu'elle varie dans l'autre sens que la déclinaison qui est W

Sous cette forme, il est impossible de soustraire $49'$ de $4^{\circ}10'$.

Si nous prenons $1^{\circ} = 60'$, nous transformons $4^{\circ}10'$ en $3^{\circ} 70'$ ($4^{\circ} - 1^{\circ} = 3^{\circ}$) et ($10' + 60' = 70'$).

Maintenant le calcul est possible $D = 3^{\circ} 70' - 49'$. $D = 3^{\circ} 21'$.

En 2002 $D = 3^{\circ} 21' W$ donc $Dm = -3^{\circ} 21'$ environ $Dm = -3^{\circ}$ pour les calculs.

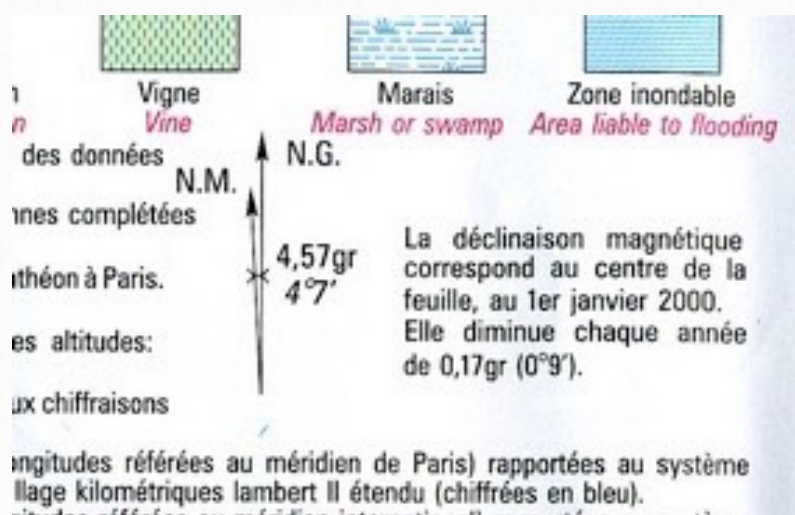
Autre exemple:

Prenons l'exemple de l'année 2007 et calculons la déclinaison.

Sur la rose des vents, nous lisons ceci: $4^{\circ}10' W$ 1995 (7'E).

En 1995, la déclinaison est égale à 4° et $10'$ vers l'ouest (W).

(7'E) = Elle diminue de $7'$ par année à cause de la direction E.



En 2007 la diminution est égale à $7 \times 12 = 84'$ (2007-1995=12).

Quelle est la valeur de D en 2007.

$4^{\circ}10' - 84'$. Sous cette forme, il est impossible de soustraire $84'$ de $4^{\circ}10'$.

Si nous prenons $1^{\circ} = 60'$

nous transformons $4^{\circ}10'$ en $3^{\circ} 70'$ ($4^{\circ} - 1^{\circ} = 3^{\circ}$) et ($10' + 60' = 70'$).

et nous transformons $84'$ en $1^{\circ} 24'$ ($84' - 60' = 24'$).

Maintenant le calcul est possible $D = 3^{\circ} 70' - 1^{\circ} 24'$. $D = 2^{\circ} 46'$.

En 2002 $D_m = 2^{\circ} 46' W$ donc $D_m = -2^{\circ} 46'$ environ $D_m = -3^{\circ}$ pour les calculs.

3. Route Magnétique, Route vraie.

Il est facile de passer d'une Route Vraie calculée sur la carte à une Route magnétique. On passe du Nord magnétique au Nord vrai **en ajoutant avec son signe** la déclinaison magnétique (angle noté D_m)
Ainsi :

$$R_v = R_m + D_m$$

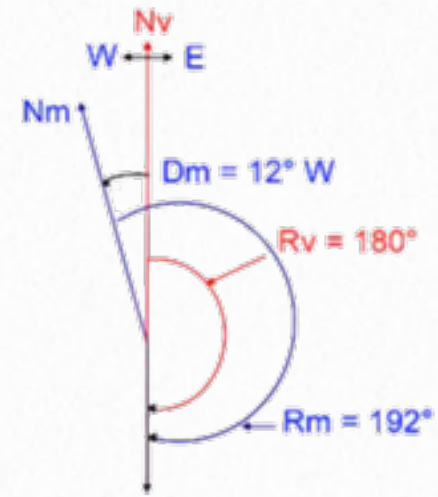
(moyen mnémotechnique le V d'un côté les M de l'autre).

3.1. Calculer la Route Magnétique à suivre.

sachant que : $R_v = 180^{\circ}$, $D_m = 12^{\circ} W$
On sait qu'une déclinaison magnétique W est comptée négativement ($12^{\circ} W = -12^{\circ}$).

La route magnétique R_m est donc :

$$R_m = 180 - (-12) = 192^{\circ}$$

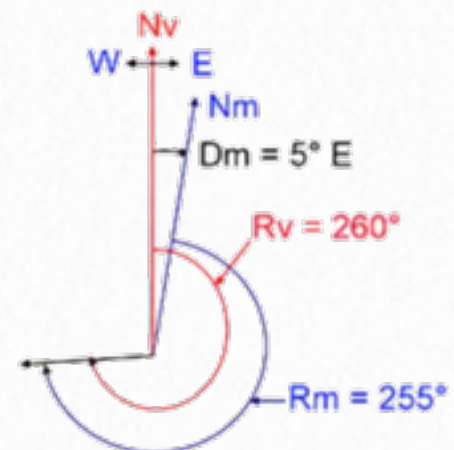


Calculer la route magnétique à suivre sachant que : $R_v = 260^{\circ}$, $D_m = 5^{\circ} E$

On sait qu'une déclinaison magnétique Est est comptée positivement ($5^{\circ} E = +5^{\circ}$).

La route R_m est donc :

$$R_m = 260 - (+5) = 255^{\circ}$$

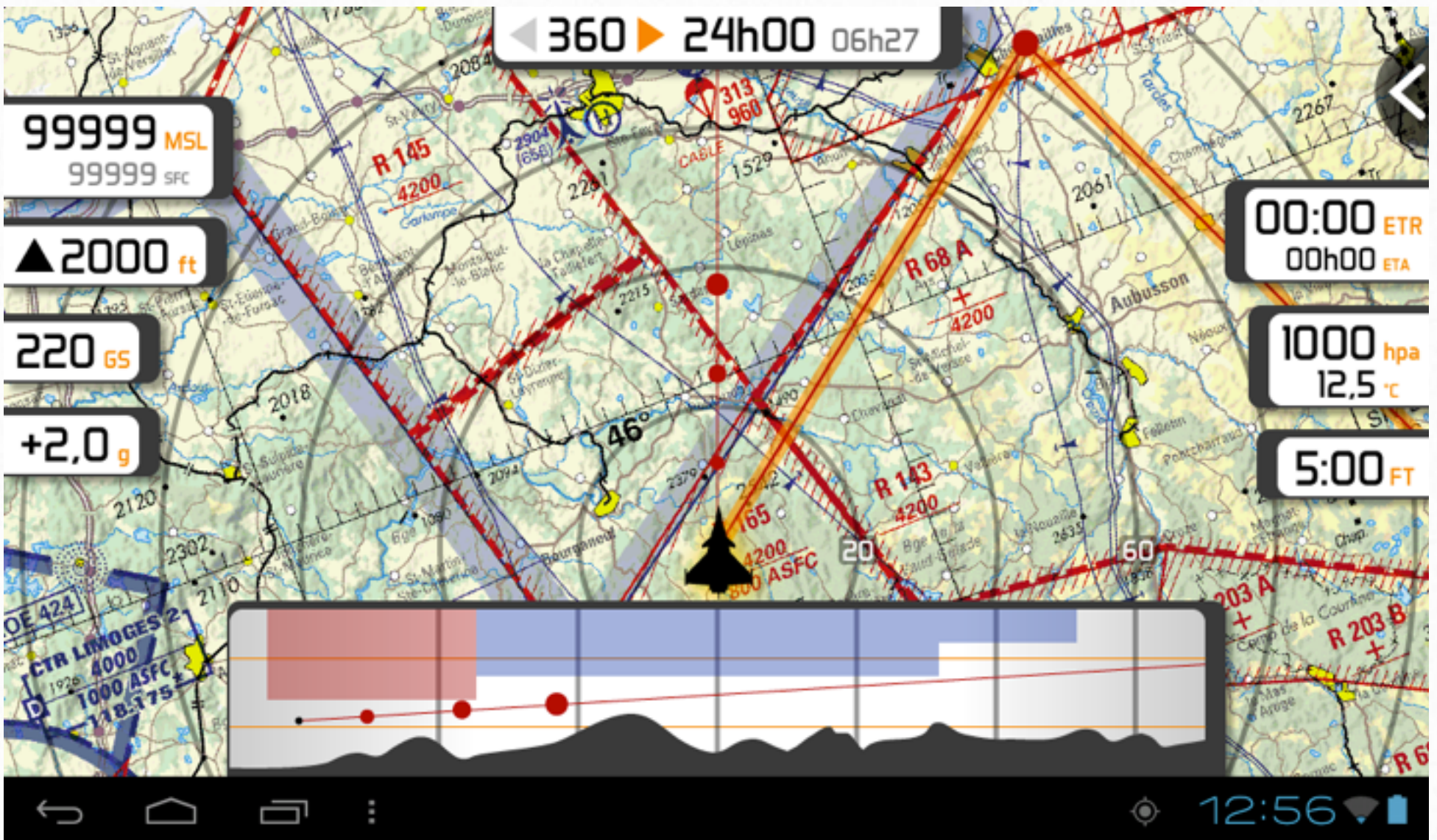


2

Éléments de navigation

“ Un jour la navigation aérienne servie par les airnavires que nous nommons, par manie du grec, aéroscaques ...”

– V. Hugo (1869) –



Le temps et la vitesse

1. La mesure du temps.

La Terre tourne autour du Soleil (en 1 an ou 365,25 jours) et elle tourne sur elle-même autour de son axe Nord-Sud qui est incliné de 23° par rapport à la normale au plan de l'orbite Terre-Soleil.

L'alternance jour-nuit découle de la rotation propre de la Terre, l'alternance des saisons résulte du mouvement de la Terre autour du Soleil qui du fait de l'inclinaison permanente de l'axe N/S de 23° va voir l'inclinaison des rayons solaires à midi varier en un an. On sait que le Soleil est très bas sur l'horizon à Midi en Hiver et très haut en été.

La terre tourne sur elle-même d'ouest en est, de 15° par heure.

La Terre tourne autour d'un axe passant par les deux pôles Nord et Sud en **23 h 56 min et 4 s.**

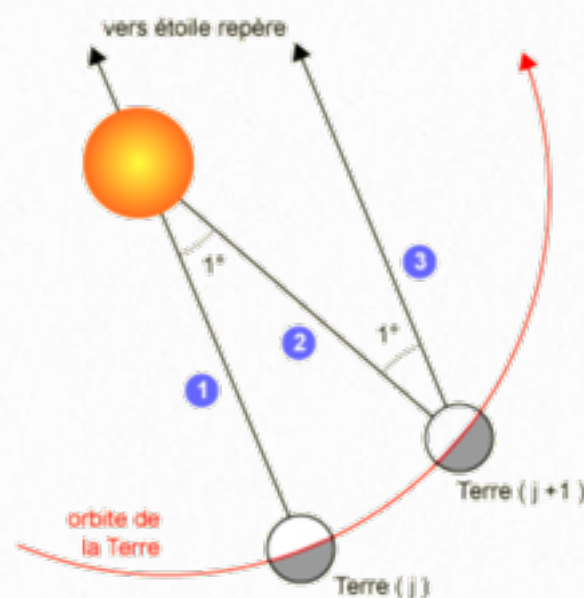
En pratique, on connaît la durée d'un jour (durée 24 heures) qui correspond, pour un observateur terrestre, à la durée séparant deux passages successifs du Soleil au Zénith...

Mais, en 24 heures, la Terre a effectué un petit peu plus que 1 tour!!!

La Terre ayant « avancé » sur son orbite elle doit effectuer 1 tour PLUS $1/365^{\text{ème}}$ de tour

(quasiment 1° comme sur le schéma ci-contre) pour retrouver une même position du Soleil c'est ce qui explique les 3' 56 s d'écart entre UN jour et UN tour.

L'écart de 236,5 s correspondant à : $24 \times 3600 / 365,25 = 236,55$ s



1.1. Le temps universel (TU) et temps universel coordonné (UTC).

Le Temps universel (**TU** ou UT) est une échelle de temps basée sur la rotation de la Terre.

Sa mesure peut être effectuée en observant le passage d'objets célestes au méridien du lieu d'observation. Les astronomes ont privilégié l'observation d'étoiles hors du système solaire par rapport à celle du Soleil, car ces observations sont plus précises.

La rotation de la Terre n'est pas régulière, à cause des effets de marée de la Lune et du Soleil, des tremblements de terre, ainsi que d'autres phénomènes internes imprévisibles et irréguliers.

Les hommes modernes ont besoin d'avoir un temps stable et précis. Ils ont introduit le Temps atomique international (TAI), établi à partir d'un ensemble d'horloges atomiques réparties sur Terre.

TU étant synchrone avec la rotation terrestre, il s'écarte progressivement de TAI. Nous avons donc inventé un temps basé sur la rotation de la Terre, mais avec la précision du TAI : **le temps UTC.**

1.2. UTC.

UTC est une échelle de temps comprise entre le « Temps atomique international » ou TAI qui est stable, mais déconnecté de la rotation de la Terre et le Temps universel (TU), directement lié à la rotation de la Terre et donc lentement variable. Le terme « coordonné » indique que le Temps Universel Coordonné est en fait identique au temps atomique international dont il a la stabilité et l'exactitude à un nombre entier de secondes près, ce qui lui permet de coller au temps universel à moins de 0,9 s près.

Ou que l'on se trouve, on considérera qu'il est 12 h UTC lorsque le soleil passe au zénith sur le méridien de Greenwich.

1.3. Midi local.

De même, en un point quelconque, il est 12 h locale lorsque le soleil passe au méridien de ce point.

1.4. Heure locale légale ou heure du fuseau.

L'heure du fuseau a été créée 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 (par définition !) 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.

Exemple.

À l'heure où j'écris ces lignes, il est 18 h 47 à ma montre, je suis à Pau, nous sommes en hiver et je bois un thé.

Je suis à 30 km du méridien de Greenwich.

Donc grosso modo à midi, j'ai le soleil au-dessus de la tête et il est 12 h UTC. À Londres aussi d'ailleurs.

Mais l'État français a décidé qu'en hiver l'heure local serait égale à UTC +1 et en été UTC +2.

En hiver à 18 h 47 local à Pau, il est 17 h 47 UTC.

<http://www.fuseau-horaire.com>

1.5. La nuit aéronautique.

On a tous remarqué qu'il fait jour après que le Soleil ait disparu sous l'horizon. On a donc considéré pouvoir « voler » dans ces conditions et on a défini une nuit aéronautique correspondant à la véritable perte de visibilité.

La nuit aéronautique commence 30 min après le coucher du soleil et se termine 30 min avant le lever du soleil.

2.La vitesse.

Connaître sa vitesse par rapport au sol est important. C'est le résultat d'un calcul basé sur les dernières informations (position et date) portées sur le « log de nav ». La vitesse est alors calculée simplement **$V = \text{Distance parcourue}/\text{temps mis pour la parcourir}$** .

Cette vitesse est différente de celle qui est donnée par les instruments de bord spécialisés (anémomètre) qui eux donne la **vitesse par rapport à la masse d'air**.

Notons que le GPS donne lui une bonne valeur de la vitesse/sol.

2.1. Les unités de vitesse.

En France, on aurait tendance à privilégier le km/h ou km.h-1.

Mais en navigation aérienne et maritime, les distances sont exprimées en Nm. La vitesse devra donc exprimée en Nm/h. La vitesse s'appelle **le nœud** (knots ayant pour abréviation kt).

Un nœud est la vitesse qui correspond un mille marin par heure soit 1,852 km/h ou encore à 0,514 mètre par seconde.

Mais pourquoi un nœud?

À la naissance de la marine, les marins étaient incapables de calculer une distance sur l'eau, et le kilomètre n'existait pas. Ils étaient donc incapables de déterminer la vitesse de leur navire.

Les marins eurent alors l'idée d'attacher à la poupe une corde pourvue de nœuds à intervalles réguliers (tous les cinquante pieds).

Cet instrument de mesure est un « loch ».

Quand le bateau est à l'arrêt, la corde tombe verticalement, et ne laisse voir aucun nœud hors de l'eau.

Plus le navire accélère, plus la corde s'élève à l'horizontale sous l'effet de la vitesse.

Donc, plus le bateau allait vite, plus on voyait de nœuds hors de l'eau que l'on comptait pour indiquer une vitesse théorique.

2.2. Les différentes vitesses.

2.2.1.Vitesse conventionnelle V_c et vitesse indiquée V_i .

L'anémomètre détermine la vitesse de l'avion, de manière approchée, en déterminant la pression dynamique à partir de la pression totale P_t (correspondant à l'air en mouvement) et de la pression statique P_s (correspondant à ce même air au repos).

Mais l'air a des caractéristiques (pression, température) variables dans le temps. Pour donner malgré tout une valeur de vitesse se rapprochant de la vitesse air, on a fixé une convention de graduation des anémomètres :

La vitesse donnée par un anémomètre est la vitesse air de l'avion lorsque la pression statique P_s vaut 1013,25 hPa, et la température 15 °C.

Cette vitesse, issue d'une convention de graduation, s'appelle tout naturellement « **vitesse conventionnelle** »; elle est notée **Vc**.

En outre, les capteurs de pression, statique et dynamique, disposés sur la cellule de l'avion ne sont pas toujours dans une position optimum, c'est pourquoi on fait une distinction entre la vitesse conventionnelle, que donnerait l'anémomètre si la pression statique mesurée était correcte, et la vitesse réellement indiquée, appelée « **vitesse indiquée** », et notée **Vi**.

DONC

2.2.2.Vitesse indiquée Vi.

Vi ou IAS (indicated air speed) : c'est simplement la vitesse lue sur l'anémomètre... Celle qui est utilisée pour piloter.

2.2.3.Vitesse indiquée Vic.

VIC ou CIAS (corrected indicated air speed) : C'est la vitesse qui serait lue sur le cadran si l'instrument était parfait.

En aviation légère, on confondra la vitesse indiquée et la vitesse conventionnelle, car la différence entre ces deux vitesses est d'ordinaire négligeable (de l'ordre du nœud).

2.2.4.Vitesse indiquée Vc.

VC ou CAS (calibrated air speed) : Vitesse qui serait égale à VIC si l'installation de l'antenne anémométrique (sondes des pressions) était parfaite.

2.2.5.Équivalent vitesse EV.

EV ou EAS (équivalent air speed) : vitesse qui serait égale à VC si l'air était incompressible (cas où la vitesse de l'avion est faible).

2.2.6.La vitesse vraie Vv.

Vv ou TAS (true air speed) : **Vitesse de l'aéronef par rapport à la masse d'air**, elle serait égale à EV si la masse volumique de l'air ne dépendait pas de l'altitude.

2.2.7.Vitesse propre Vp.

Vp vitesse propre : c'est la composante horizontale de la vitesse vraie VV... C'est une simple correction « montée/descente » liée à la projection de la trajectoire dans un plan horizontal. **Si la pente est faible $V_p = V_V$.**

En l'absence de vent, on parle de vitesse propre pour caractériser le déplacement de l'avion par rapport à l'air.

2.2.8.Relation vitesse propre V_p – Vitesse sol V_s V_s ou G_s (ground speed).

La vitesse sol, sera égale à V_p si le vent est nul.

L'air étant très souvent en mouvement par rapport au sol (vent!), la vitesse de l'avion par rapport à l'air est ainsi très souvent différente de celle de l'avion par rapport au sol. Comme la vitesse propre V_p est la vitesse de l'avion par rapport à l'air, on appellera vitesse sol V_s la vitesse de l'avion par rapport au sol. La différence entre ces deux vitesses est intimement liée au vent qui, rappelons-le, est le déplacement de l'air par rapport au sol.

Le vent, les routes, les caps

En vol, le vent est connu puisqu'il est donné par les météorologues, ou visible sur des cartes qui lui sont dédiées. Nous connaissons son orientation (par rapport au Nord géographique) et son intensité en Nœuds.

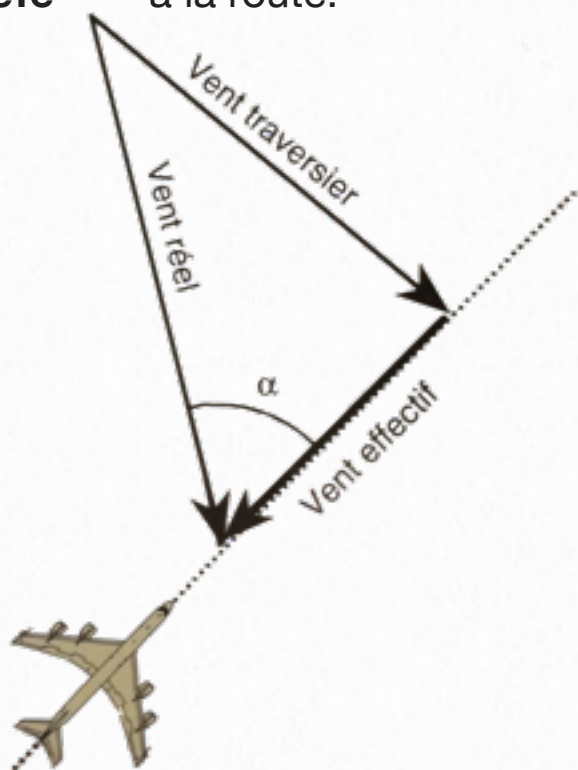
Exemple : $V_w = 315^\circ/25\text{Kt}$

Le vent vient du cap $315^\circ/\text{Ng}$ avec une force de 25 Kt (w pour wind).

Comme nous l'avons déjà fait pour la force aérodynamique que nous avons décomposée en deux forces (Portance et Trainée), nous pouvons décomposer le vecteur vent en deux vecteurs, **Vt** et **Ve**.

Vt pour « **vent traversier** ». Composante **perpendiculaire** à la route.

Ve pour « **vent effectif** ». Composante **parallèle** à la route.



Soit (α) l'angle entre le vent et la trajectoire de l'avion. (α) est appelé l'**angle au vent**.

Et nous avons :

$$V_t = V_w \cdot \sin(\alpha)$$

$$V_e = V_w \cdot \cos(\alpha)$$

Exemple :

Un avion suit la route vraie 255° et subit un vent du $315^\circ/25\text{Kt}$.

l'angle au vent est de 60° droite.

$$V_t = 25 \cdot \sin 60^\circ = 21,6 \text{ Kt}$$

$$V_e = 25 \cdot \cos 60^\circ = 12,5 \text{ Kt}$$

1. Effet du vent.

Nous avons décomposé le vent en deux composantes, le vent effectif et le vent traversier. Cette décomposition permet de comprendre et de calculer son influence sur 2 éléments de navigation : la vitesse de l'aéronef et sa dérive.

1.1. Effet sur la vitesse propre.

Il est aisé de comprendre que si l'avion subit du vent de face, sa vitesse par rapport au sol **Vs** sera plus faible que s'il n'y avait pas de vent. Nous appliquons le même raisonnement avec du vent arrière et nous obtenons que vent arrière la Vs est supérieure à la VS sans vent.

Le V_e étant orienté suivant la trajectoire de l'avion, nous obtenons :

$$V_s = V_p + V_e$$

La Vitesse sol = La Vitesse par rapport à la masse d'air + le Vent effectif.

Avec V_e négatif s'il est de face (on dit également vent debout), il fait aller moins vite. V_e positif s'il est de dos (arrière), il fait aller plus vite.

Exemple :

Un avion vole suivant une route vraie 095° à la V_p 250 Kt, le V_w est du $065^\circ/40$ Kt

- 1) Quelle est la vitesse de l'avion par rapport à l'air?
- 2) Quelle est la vitesse par rapport au sol?

1) Vitesse par rapport à l'air : **c'est la V_p** . Elle est donnée dans l'énoncé : $V_p = 250$ Kt

2) Vitesse par rapport au sol : $V_s = V_p + V_e$

Détermination de V_e : Il faut connaître l'angle au vent. $\alpha = 095^\circ - 65^\circ = 30^\circ$. le vent « attaque » l'avion par l'avant gauche.

$$V_e = 40 \cdot \cos 30^\circ = 34,6 \text{ Kt.}$$

Le Vent effectif venant de l'avant, il freine l'avion :

$$V_s = V_p - V_e = 250 - 34,6 = 215,35 \text{ Kt}$$

1.2. Effet sur la route. Introduction de la notion de cap.

Imaginons un avion qui part de Pau vers Mont de marsan Le vent est nulle. pour préparer son vol le pilote au moyen de sa

carte et de son compas, le pilote a trouvé que sa route vraie pour rejoindre Mont de marsan est une route au 360° . En vol, la « trace » laissée par l'avion sur le sol devra être identique à celle tracée sur la carte. Le pilote prendra donc un cap au 360° .



Le cap c'est l'angle entre le Nord et l'axe de l'avion.

On trouvera donc un **cap magnétique** si l'on prend le Nord magnétique ou un **cap géographique** si l'on prend le Nord géographique.

Donc, de la même manière que pour la route, le cap vrai, noté **C_v** , est l'angle formé entre l'axe longitudinal de l'avion et le **Nord vrai**.

Le cap magnétique, noté **C_m** , est l'angle formé entre l'axe longitudinal de l'avion et le **Nord magnétique**.

Et nous avons la relation :

$$C_v = C_m + D_m$$

Imaginons maintenant que le vent est très fort et qu'il vient « attaquer » l'avion par la gauche 330°/50Kt.

Si le pilote prend un cap au 360°, il n'arrivera jamais à Mont de marsan mais arrivera plutôt à Aire sur adour. Cela fera désordre...

Le vent vient de la gauche, il pousse l'avion à droite. L'avion dérive à droite. **La dérive est droite.**

Le vent de travers provoque une dérive, notée **X**, **angle entre le cap et la route.**

En effet si le V_w n'est pas parallèle à la route de l'avion, pour garder sa « trace sol » identique à la route mesurée sur la carte, le pilote devra augmenter ou retrancher l'angle de dérive à sa route initiale (en fonction du côté de l'attaque du vent.)

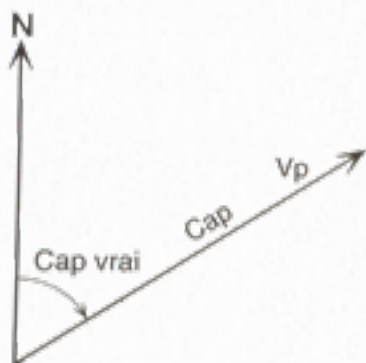


Pour trouver la valeur de la dérive, on peut la calculer (nous le verrons plus loin) ou construire le triangle des vitesses.

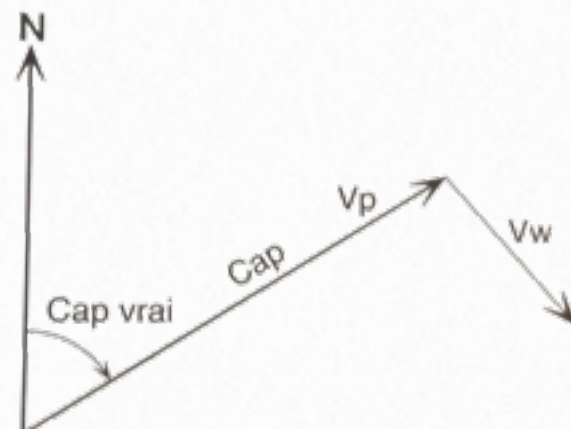
2. Le triangle des vitesses.

On doit construire le triangle à l'échelle.

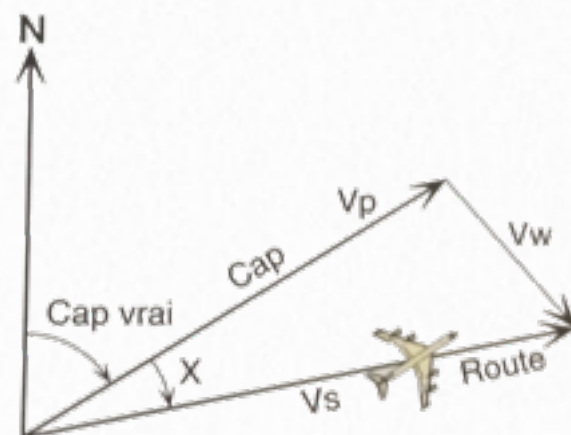
- On trace le vecteur Vitesse propre ou cap, orienté en degrés par rapport au nord.



- A l'extrémité de la vitesse propre, toujours à l'échelle, on porte le vecteur vent (orienté par rapport au nord).



- Le vecteur résultant est le vecteur Vitesse sol V_s (à l'échelle). On mesure V_s et X .



Il faut noter que le vent souffle toujours du cap vers la route.

La dérive lie le cap et la route par les relations

$$Rv = Cv + X$$

$$Rm = Cm + X$$

Par convention, la dérive est droite, lorsque l'avion dérive à droite et elle notée positivement.

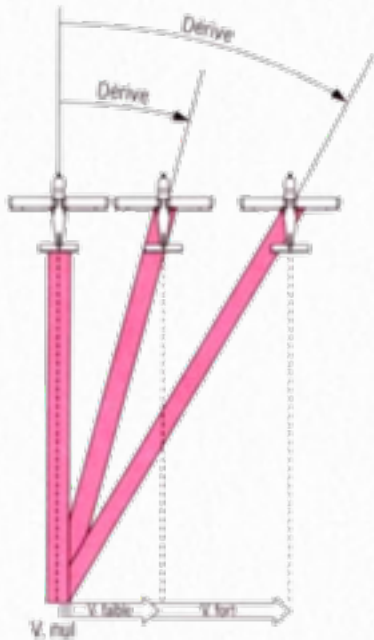
Exemple :

$X = + 7^\circ$. De même, on dit que la dérive est gauche lorsque l'avion dérive vers la

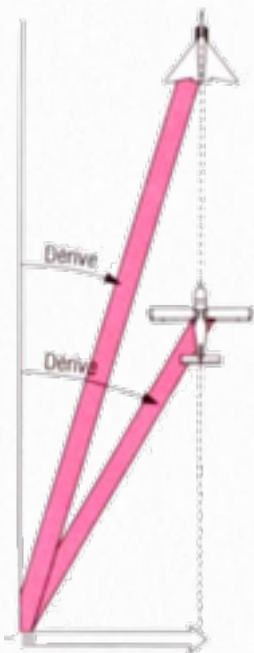
gauche, elle est alors notée négativement :
Exemple : $X = - 7^\circ$.

La dérive est d'autant plus importante que :

- à vitesse égale, le vent traversier est fort



- à vent traversier égal, la vitesse de l'avion est faible.

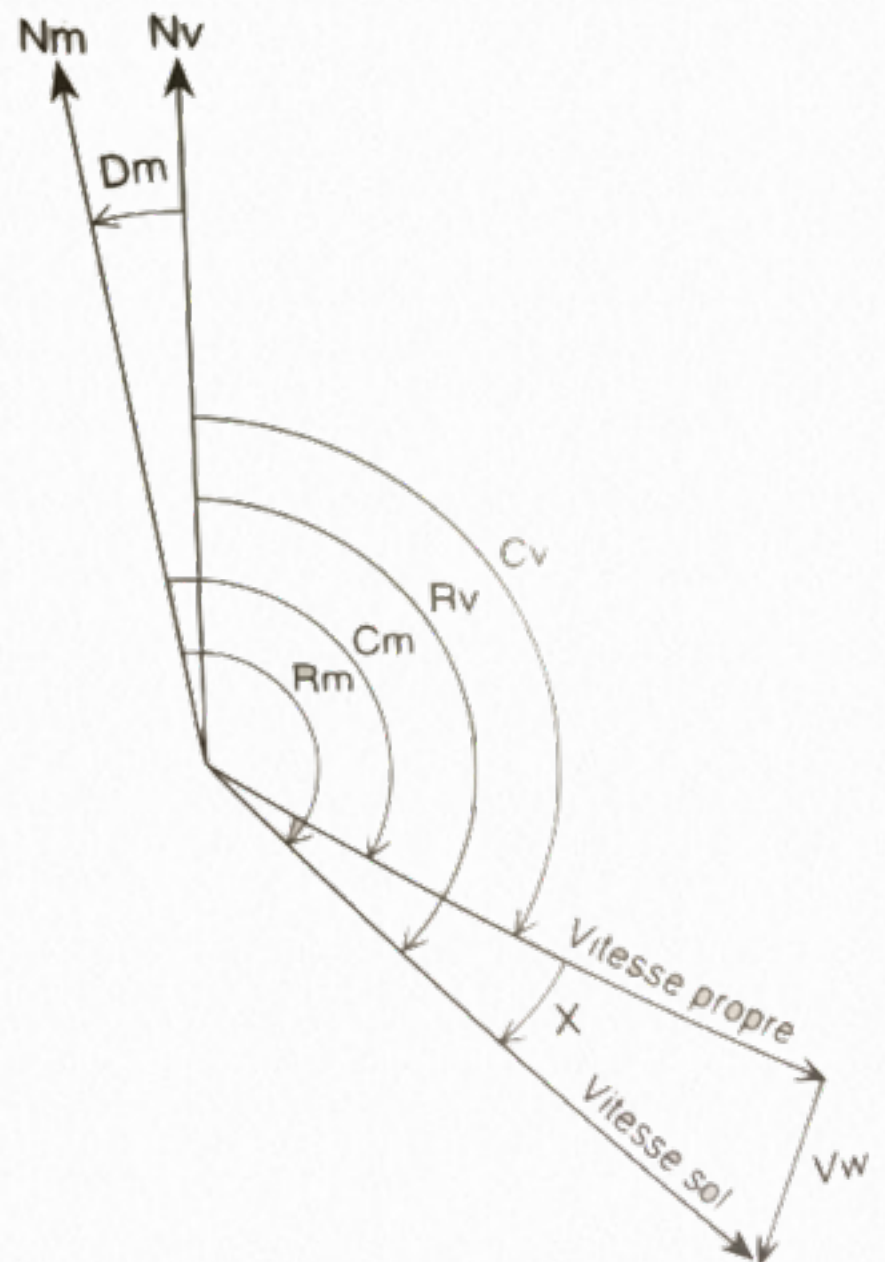


On rappelle que le cap correspond à l'angle entre **un** Nord et l'**axe longitudinal** de l'avion et que la route **est** la trajectoire réelle de l'avion.

Le cap et la route seront magnétiques s'ils sont mesurés par rapport au Nord

magnétique et ils seront vrais/géographiques s'ils sont mesurés par rapport au Nord Vrai/géographique.

- Nv** : Nord Vrai
- Nm** : Nord Magnétique
- Dm** : déclinaison magnétique
- Cv** : Cap Vrai
- Cm** : Cap Magnétique
- Rv** : Route Vraie
- Rm** : Route Magnétique
- Vw** : Vent
- X** : dérive



Avant d'attaquer les calculs de base de la navigation, il nous faut voir une dernière information sur les caps : la déviation du compas.

3.La déviation du compas.

Le barreau aimanté du compas magnétique indique la direction locale du champ magnétique terrestre lorsque celui-ci n'est pas perturbé par la présence d'une masse métallique proche du compas.

Mais, dans l'avion, le compas subit l'influence des matériaux ferreux ainsi que des circuits électriques (résistance chauffante du pitot, phares, etc.), ce qui entraîne une erreur appelée **déviatiion** ou « **déviatiion du compas** », elle est notée **d**.

Pour minimiser cette erreur, on place le compas magnétique le plus à l'écart possible des masses métalliques ferreuses et des instruments de bord.

C'est pourquoi il est souvent placé au-dessus du tableau de bord.

De plus, on minimise la déviation en **compensant** le compas lorsqu'on l'installe dans l'avion.

Après compensation, on mesure l'influence résiduelle des masses métalliques ferreuses et des circuits électriques.

Ces mesures, représentées sous la forme d'une courbe appelée « courbe de déviation » ou à l'aide d'un tableau, sont placées à côté du compas magnétique. Dans la pratique, la déviation ne doit pas dépasser 3°.



Calculs des éléments de navigation

1. Le facteur de base

Le facteur de base est une variable que l'on utilise couramment en navigation aérienne. Il permet de calculer rapidement des temps de vol, dérives, etc.

Il est spécifique à chaque type d'avion suivant sa vitesse donc de ses performances.

Le facteur de base est directement lié à la V_p (vitesse propre de l'avion) et **représente le nombre de minutes pour parcourir 1NM.**

Si le facteur de base (F_b) a pour valeur 0,5 ceci, indique que vous parcourrez 1NM en 0,5 minute, c'est-à-dire en 30 secondes.

Il se calcule ainsi :

$$F_b = 60/V_p$$

VP (Kt ou km)	Fb	
100	60/100	0,6
120	60/120	0,5
150	60/150	0,4

Quelques conseils pratiques...

Ce facteur de base, très pratique à exploiter mentalement peut aussi être calculé avec une vitesse exprimée en km/h. Lorsqu'il sera utilisé pour des calculs de temps, il faudra alors utiliser des kilomètres comme unité de mesure des distances. Au sol, sur la route en voiture par exemple,

entraînez-vous à faire des estimations de temps de trajet en calculant de tête votre facteur de base et donc votre temps de trajet (en minutes) pour rejoindre la prochaine étape.

2. Le temps de vol sans vent (T_{sv})

En utilisant le facteur de base (F_b) le temps de vol sur un trajet peut se calculer ainsi

$$T_{sv} \text{ (min)} = F_b \times D$$

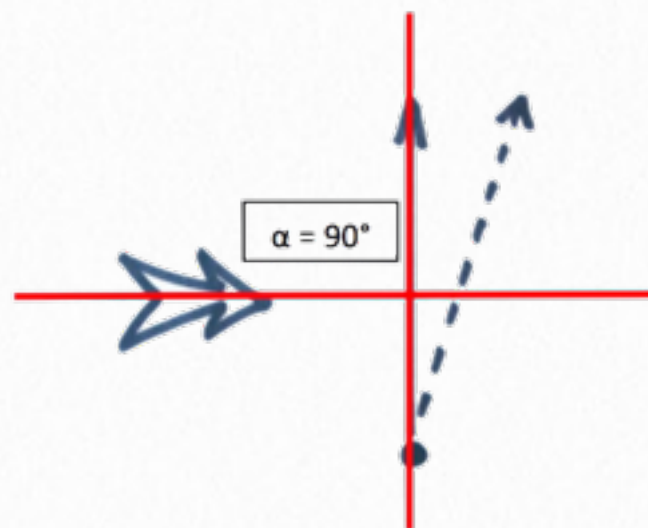
où T est le temps de vol en minutes, F_b = Facteur de base et D = distance en Nm.

T_{sv} pour un avion croisant à 150 Kt sur 37,4 Nm?

$$T_{sv} = 0,4 \times 37,4 = 14,96 \text{ minutes} = 14'58''$$

3. La dérive Max

La dérive sera maximale lorsque l'angle alpha (α) sera de 90° . Cette dérive sera donc moins importante si cet angle l'est d'autant moins.



Pour calculer notre dérive sur une route, il faut tout d'abord calculer la dérive Max **Xm** qui est fonction de la vitesse de notre avion ($Fb = 60/Vp$) et de la vitesse du vent en nœuds (notée Vw)

La formule à utiliser est la suivante :

$$Xm = Fb \times Vw$$

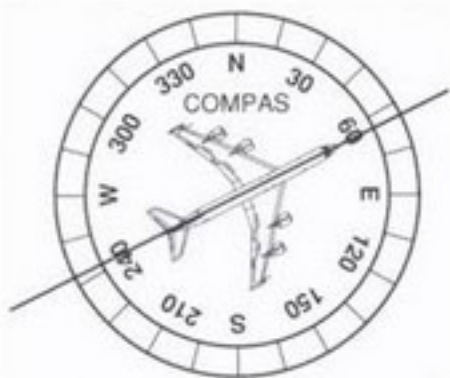
où Xm est la dérive max en degrés, Fb est notre facteur de base et Vw est la vitesse du vent en nœuds.

Un avion croisant à 120 Kt avec un vent de 24 Kt à une Xm de 12° ($1/2 \times 24 = 12$).

4.L'angle au vent

Avant de calculer l'angle au vent, faisons un petit détour sur la rose des caps.

Le but est d'être capable très rapidement de trouver pour un cap donné, les caps à $+90^\circ$, $+180^\circ$ et $+270^\circ$.



On remarque que si l'on « tourne » à droite, dans le sens des aiguilles d'une montre, les caps augmentent. Un avion qui vole au cap 210° vole en direction du sud-ouest. Quel sera son cap s'il vire par la droite de 90° ?

Ajouter 90° c'est ajouter $100^\circ - 10^\circ$ donc $210^\circ + 100^\circ - 10^\circ = 300^\circ$

Un avion au 227° vire à gauche de 180° ($2 \times 90^\circ$)

$$227^\circ - 200^\circ + 20^\circ = 47^\circ$$

Autre méthode que je préfère :

4.1. Pour les caps $< 20^\circ$ des points cardinaux (0° 90° 180° 270° 360°).

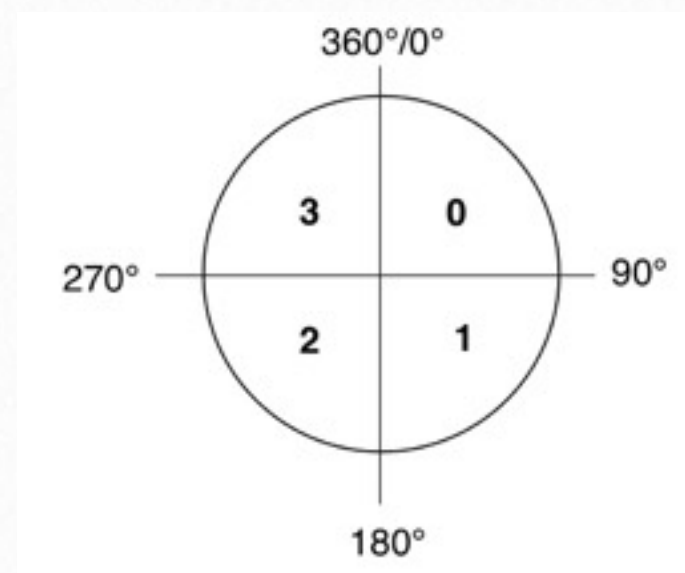
192° c'est 12° de plus que le cardinal 180° . Un 90° gauche donnera 12° de plus que le cardinal 090° soit 102° .

260° c'est 10 de moins que le cardinal 270° donc un 90° droite donnera 10° de moins que le 360 soit 350°

4.2. Pour les autres caps.

Je divise la rose des caps en 4 secteurs 0,1, 2 et 3.

Dans le secteur 0, les caps commencent par 0. Dans le secteur 2 par un deux (sauf 190°) et par un 3 dans secteur 3 (sauf 280 et 290)



Si je suis dans le secteur 0, avec un virage à $+90^\circ$ (droite) je me retrouverai dans le

secteur 1 ; un virage de 90° à gauche -90° (gauche) dans le secteur 3.

La somme des 2 premiers chiffres doit être identique et le dernier nombre identique.

je m'explique :

Je suis au cap 310° (secteur 3 avec 3+1 = 4 et le dernier nombre un 0), je souhaite faire un virage à 90 gauche.

Je me retrouverai dans le secteur 2, avec un cap qui commence par un 2, qui fini par un 0 et dont la somme des 2 premiers nombres donne 4.

2+? = 4 donne ? = 2

90° à gauche du 310° donne 220°

Je suis au cap 162° (secteur 1 ; dernier chiffre 2, somme des 2 premiers 7) un virage 180° gauche me fera passer dans le secteur 3 puis un 4 pour faire 7 puis un 2 soit 342°

Revenons à notre angle au vent.

Le vent vient de l'AVD, ArD, ArG, AVG. (AV : avant Ar : Arrière)

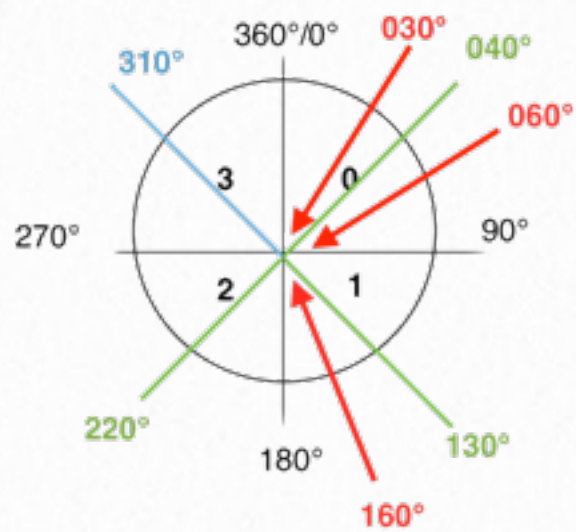
Le cap de l'avion est au 310°, je définis les 3 routes à 90° (310°, 040°, 130°, 220°). Je positionne mon vent et j'en déduis l'angle au vent.

Cap au 310°

vent du 030° (α) = AVD 80

vent du 160° (α) = ArG 30° et non pas AVG 150°

Vent du 060° (α) = ArD 70°



5. La dérive X.

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

où X = dérive en degrés, X_m = dérive max en degrés et sin (α) = sin de l'angle au vent.

Avion à la route 310° croisant 150Kt vent du 060°/20Kt

$$F_b = 60/V_p = 60/150 = 0,4$$

$$X_m = F_b \times V_w = 0,4 \times 20 = 8$$

$$(\alpha) = 70 \text{ ArD}$$

$$X = X_m \times \sin(\alpha) = 8 \times \sin 30^\circ = 8 \times 0,5 = 4$$

Pour suivre une route « sol » au 310° le vent venant de la droite, le pilote devra prendre un cap au 310° + 4° = 314°

6. Le vent effectif (V_e).

Le vent effectif est la composante de vitesse de vent parallèle à votre route. Elle vous fera gagner en vitesse sol (composante de vent « arrière ») ou vous en fera perdre (composante de vent « de face »)

Elle s'exprime en nœuds et se calcul de la façon suivante :

$$V_e = V_w \times \cos(\alpha)$$

Dans l'exemple précédent le $V_e = 20 \times \cos 30^\circ = 17 \text{ Kt}$.

Le vent étant arrière l'avion vol à 150 Kt par rapport à la masse d'air (V_p) mais à 167 Kt par rapport au sol.

7. Retranchez votre dérive (X) Ceci vous Donnera Chaque mesure du Cap compas

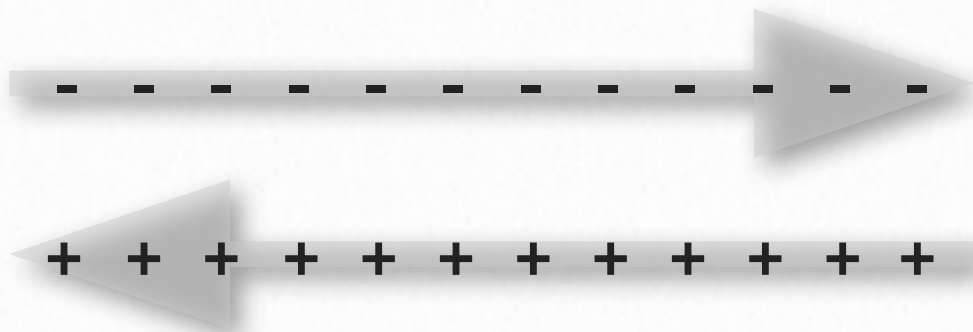
Il est nécessaire de connaître cette phrase par cœur.

Retranchez votre dérive (X) : Ceci vous Donnera Chaque mesure du Cap compas.

$$R_v - X = C_v - D = C_m - d = C_c$$

La formule s'appliquait de telle sorte que de gauche à droite on retranche AVEC SON SIGNE conventionnel chaque paramètre du résultat qui le précède.

R_v	x	C_v	D	C_m	d	C_c



Quelle est la valeur du Cap compas (C_c) lorsque la Route vraie (R_v) étant de 60° , on estime la dérive (X) à 6° , la déclinaison (D_m) est de $6^\circ W$ et la déviation compas de -2° ?

R_v	x	C_v	D	C_m	d	C_c
60	6		-6		-2	

R_v	x	C_v	D	C_m	d	C_c
60	- 6	54	- 6	60	- 2	62

Le pilote devra afficher un Cap compas de **62°** pour tenir une route vraie au **060°**

Radionavigation

La radio navigation consiste pour le pilote à situer son avion par rapport à une balise ou station.

Les aides radio à la navigation nécessitent un émetteur, un récepteur et des antennes.

La plupart du temps, l'aide est donc une station au sol (balise) qui émet des signaux radioélectriques transformés en indications de positions par des récepteurs installés à bord de l'avion.

Ces ondes se déplacent donc très vite (300 000 km/s comme la lumière) et en ligne droite ! ... Même si certains phénomènes comme la diffraction sur des obstacles, dont la dimension, est du même ordre de grandeur que la longueur d'onde ou la réflexion sur les couches ionisées de la haute atmosphère peuvent leur faire suivre des cheminements non rectilignes.

On considérera en aéronautique une propagation directe et donc la nécessité d'une « portée optique » (l'émetteur et le récepteur se voient !). La distance de réception dépend de la puissance du signal émis. Cette dernière résulte d'un choix technique lié à l'émetteur : une balise VOR pourra être reçue à 100 NM... alors que le signal ILS d'un VOR ILS sera limité à 20 Nm

1.Principes de base pour la radionavigation

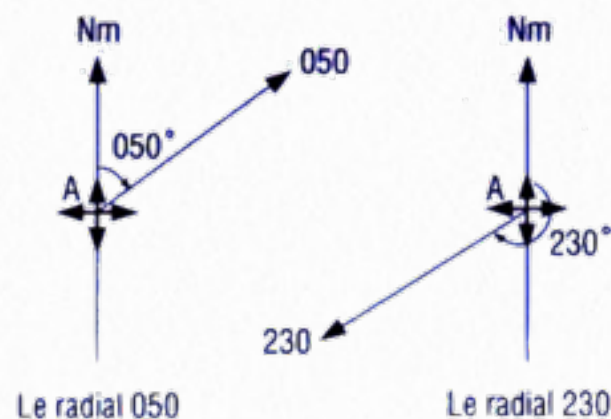
1.1. Les radials

Les radials sont des axes radioélectriques qui sont repérés par leur mesure angulaire à partir du **Nord magnétique**.

Ils sont générés par une balise radioélectrique. Celle-ci permet de définir 360 radials de 0° à 360° de 1 en 1 degré.

On observe alors que le radial pointé vers le Nord est le 0 ou le 360, vers l'Est le 090, vers le Sud le 180 et vers l'Ouest le 270.

Notons que chaque radial est une demi-droite et qu'il ne faut pas confondre, par exemple, le radial 230 avec le radial 050.



1.2. Note sur les QDR et QDM

Selon que l'on relève la position de la station (par l'avion) ou la position de l'avion (par la station)

on distingue respectivement les deux types de radials suivants : les QDM et les QDR

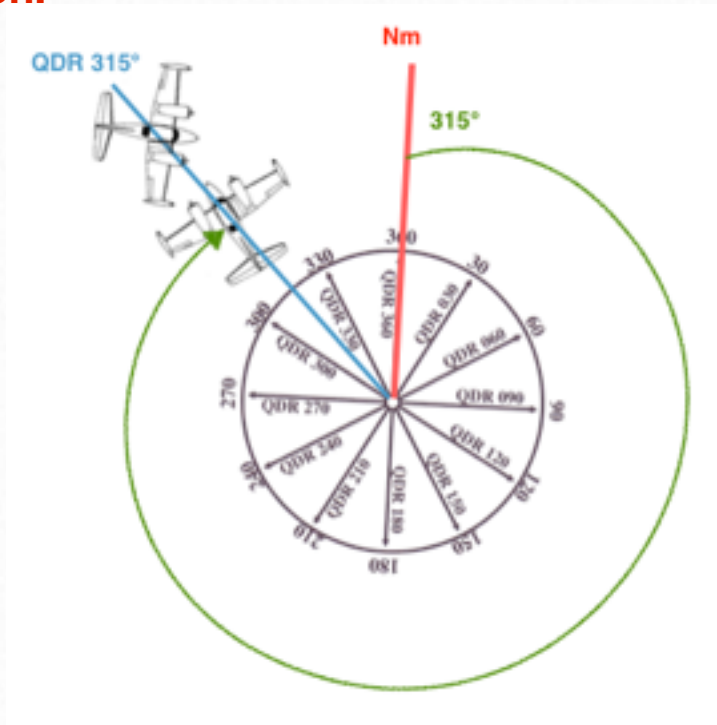
QDM = Relèvement magnétique de la station par l'avion

QDR = Relèvement magnétique de l'avion par une station.

1.2.1.QDR

Le QDR est un relèvement magnétique mesuré entre une station (tour de contrôle, balise radio) et un aéronef.

C'est l'angle entre le Nord magnétique « posé » sur la station et la position de l'avion.

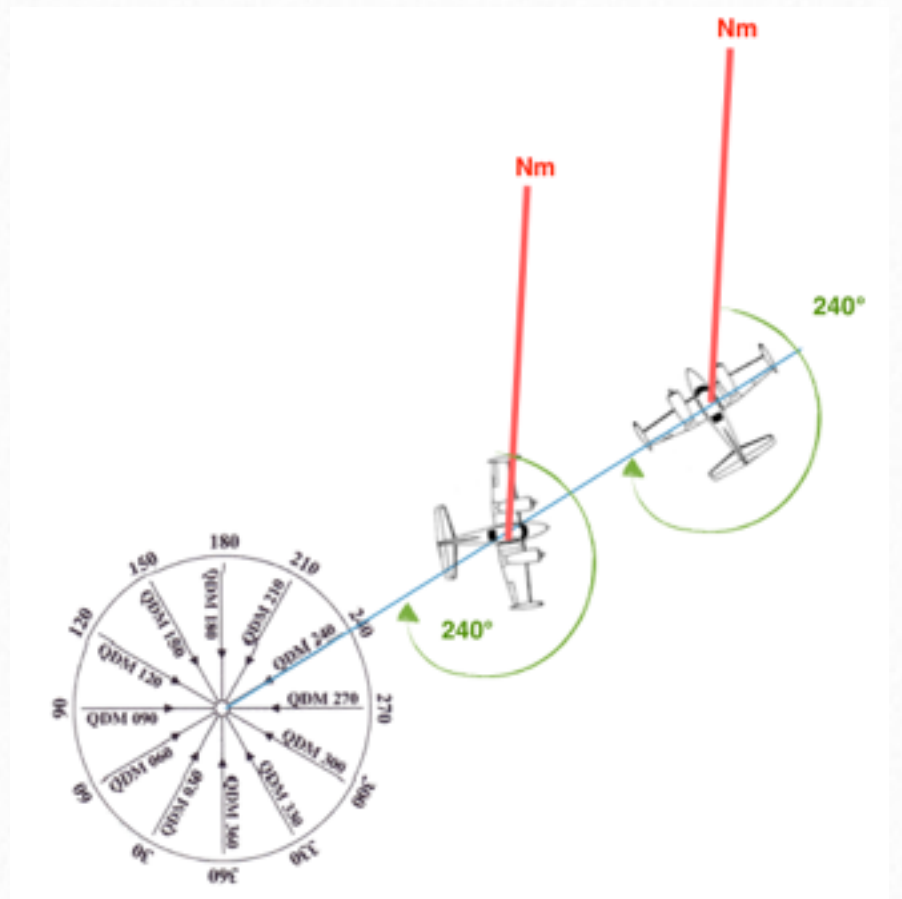


Les deux avions sont sur le QDR 315° de la station. Ils sont dans le NW de la station. Ils ont des caps différents ! Les QDR sont indépendants des caps des avions.

1.2.2.QDM

Le QDM est un relèvement magnétique mesuré entre un aéronef et une station. C'est

l'angle entre le Nord magnétique « posé » sur l'avion et la position de la station.

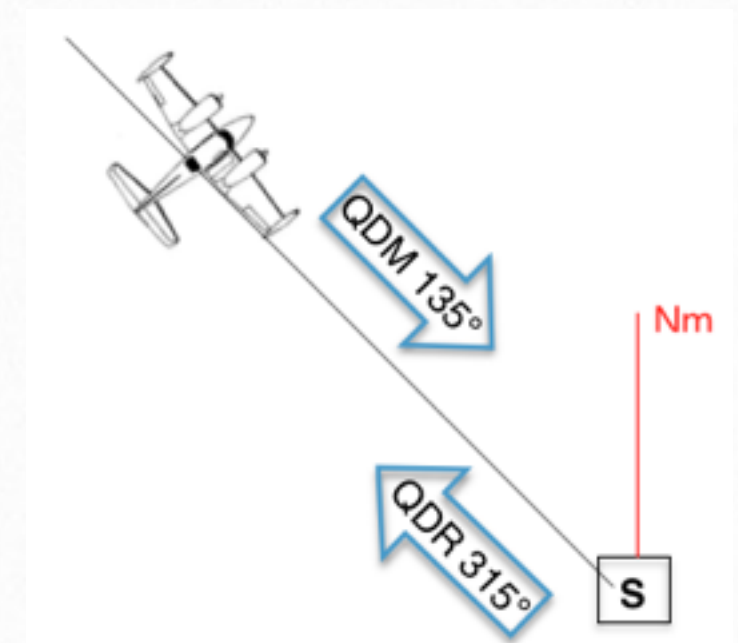


Le QDM est le cap magnétique sans vent que doit prendre l'avion pour rejoindre la station. Elle correspond à la rose des caps.

Les QDM sont indépendants des caps des avions.

La relation qui relie les QDM et les QDR est extrêmement simple

$$\text{QDM} = \text{QDR} + \text{ou} - 180^\circ$$

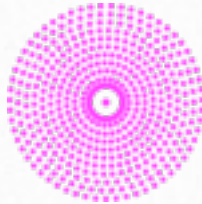


2. l'ADF Automatic Direction Finder

C'est un récepteur de bord qui donne en permanence le **gisement** d'une station émettrice au sol.

Le gisement est l'angle relevé entre l'axe longitudinal de l'appareil et la station.

La station émettrice est notée NDB.



Le pilote sélectionne sur la carte une station NDB sur sa route. Il affiche sa fréquence, elle émet un indicatif morse qu'il faut identifier et il suit une route telle que le gisement du NDB soit égal à zéro. C'est-à-dire que le nez de l'appareil est en face de la balise.



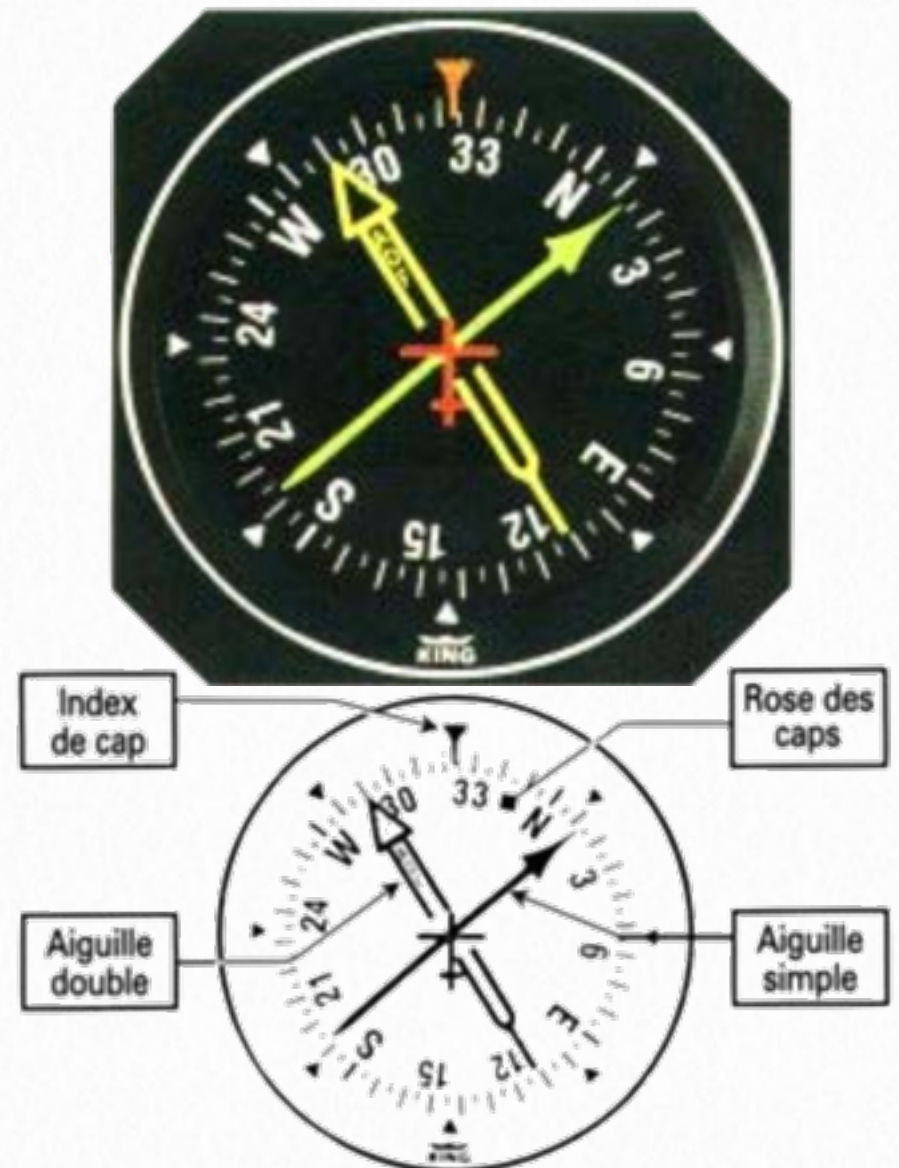
Dans cet exemple l'ADF de l'avion montre qu'il est au Cm au 341° , qu'il se trouve sur le QDM 360 de la station. Le gisement est de 19° , la balise étant à droite. Si le pilote veut rejoindre la vertical de la balise il prendra le cap (QDM) = Cm actuel + Gisement soit $341 + 19 = 360^\circ$.

Les avantages de l'ADF : facile à utiliser, portée élevée, implantation aisée.

Inconvénients de l'ADF : très sensible aux éléments météorologiques, inutilisable en temps d'orage, brouillage de nuit (personnellement jamais vu ce phénomène).

3. Le RMI « Radio Magnetic Indicator »

Le RMI est un indicateur sophistiqué. Il résulte de la combinaison d'un conservateur de cap et d'une information VOR et/ou ADF.

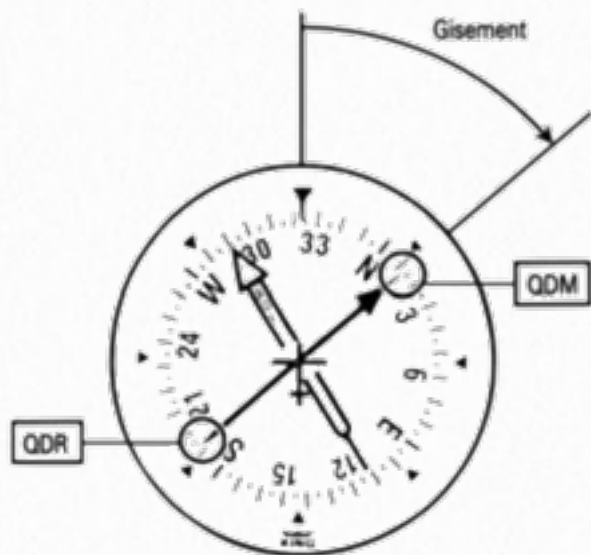


Les informations directement lues sont le cap, le QDM, le QDR et le Gisement. Il ne nécessite donc pas de calcul de la part du pilote.

Exemple :

Sur l'illustration ci-contre, le VOR est sur l'aiguille simple du RMI, (l'aiguille double étant celle de l'ADF).

On est ici au cap 324° , sur le QDR 193° ou QDM 013° et le gisement à la station est de 049° .



4. Le VOR (VHF Omni Range)

Il s'agit d'un système de positionnement radioélectrique utilisant les fréquences VHF, d'où son nom : « VHF Omnidirectional Range » (alignement omnidirectionnel VHF), ou VOR.

Un émetteur E est au sol, un récepteur R est dans l'avion. Le signal reçu par le récepteur dépend de la direction (E-R) suivant laquelle il est reçu, et est traduit sur l'afficheur par un angle lu par le pilote.

Cette direction est mesurée par rapport au **Nord magnétique**.



4.1. Les émetteurs VOR

Ils sont implantés sur les aérodromes ou aux points clés des régions de contrôle. L'émission VOR se fait dans la plage VHF de 108,00 à 117,95 MHz.

Les positions des VOR figurent sur les cartes de radionavigation.

Pour chaque VOR on trouve les renseignements suivants :

- Son emplacement avec le symbole approprié
- Son indicatif (transmis au récepteur en code Morse que le pilote identifiera), sa fréquence,
- Une rose centrée sur la balise et orientée suivant le Nord magnétique facilitant la lecture directe des QDR et QDM.

La distance de réception des VOR dépend de l'altitude de vol.

En gros, elle varie de 30 à 70 NM.

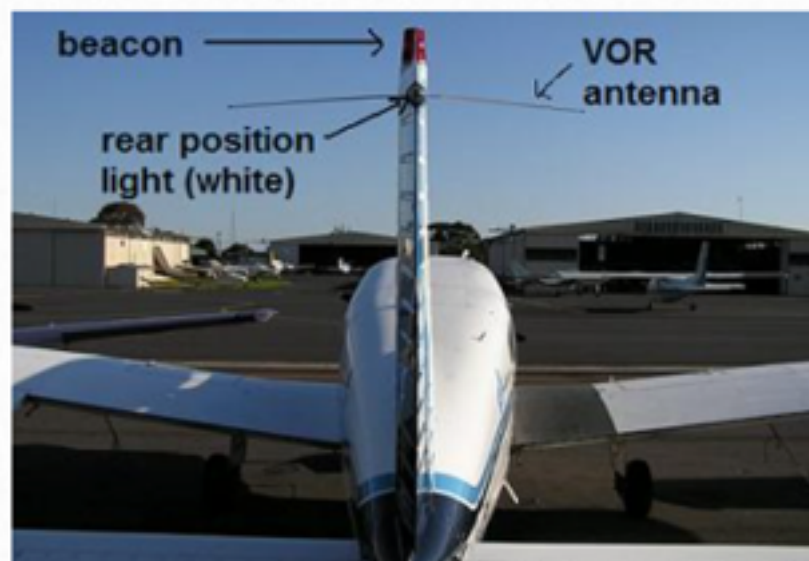
La portée étant sensiblement optique, une bonne réception implique qu'entre émetteur et récepteur il n'y ait pas d'obstacle important.

4.1. Le récepteur

Il est composé de trois parties :

L'antenne de réception, le boîtier de bord et un indicateur (ou afficheur).

a. L'antenne de réception a la forme d'un V horizontal, généralement fixé sur le haut du fuselage ou de part et d'autre de la dérive.



b. Le boîtier de bord permet la mise en marche du système, la sélection de la balise VOR et son identification.

c. L'indicateur. Il a différentes présentations. Les plus courants comprennent :

- Un petit rond central fixe représentant l'avion
- Un trait vertical (appelé aiguille) mobile suivant l'horizontale (droite-gauche), représentant la route sélectionnée
- Un bouton OBS (Omni Bearing Selector), ou sélecteur de route, qui permet la sélection d'un radial, en faisant tourner une couronne graduée
- Un voyant mobile (souvent triangulaire) donnant les trois indications possibles : TO – FROM – OFF

OFF : le système ne fonctionne pas

TO : l'indicateur donne un QDM

FROM : l'indicateur donne un QDR.

3.1.1 Utilisation du récepteur

À partir du boîtier de bord, on affiche la fréquence du VOR choisi. Il est alors indispensable d'identifier la station, grâce à l'indicatif morse émis, avant d'utiliser les informations du VOR.

Dès la mise en fonctionnement en vol et si les conditions de réception sont correctes, le voyant OFF disparaît de l'indicateur et laisse place au voyant TO ou FROM. Généralement l'aiguille est déviée.

En tournant lentement le bouton OBS, le pilote sélectionne un radial. Si l'aiguille est centrée et traverse le petit rond central fixe, l'avion est sur le radial sélectionné. Si le voyant TO est allumé le radial est un QDM, si c'est le FROM c'est un QDR.

Regardez la présentation suivante pour comprendre l'utilisation d'un VOR.

Interactive 2.1 Vor



La déviation maximale de l'aiguille correspond à un écart angulaire de 10 degrés. La précision du VOR est de l'ordre de plus ou moins 5 degrés.

Avantages du VOR : grande précision, très peu sensible aux éléments météorologiques.

Inconvénient du VOR : portée limitée à faible altitude.

4. Le VOR – ILS. Instrument Landing System

Utilisation d'un ILS

Le VOR ILS (Instrument Landing System) comporte une deuxième aiguille horizontale qui donne la position du plan de descente.

Atterrissage ILS : il suffit de tenir la croix centrée pour :

- être aligné sur la piste

- être sur le plan de descente (le Glide).

Le pilote « va chercher l'aiguille » en clair si l'aiguille est en bas on pousse le manche, si elle est à droite on pousse le manche à droite. 2 ou 3 markers (voyant + son) marquent différents points de la descente.



L'Instrument Landing System (ILS) ou Système d'atterrissage aux instruments est le moyen de radionavigation le plus précis utilisé pour l'atterrissage IFR. Il comprend deux éléments :

- un localizer qui donne l'axe de la piste
- un glide path (ou slope) qui donne un plan de descente (entre 2,5° et 3,5°).

Le VOR ILS affiche ces deux informations grâce à deux aiguilles.

En plus des deux faisceaux (plans croisés) des balises à émission verticale (cônes) appelées markers permettent de se repérer dans la procédure d'approche. Un voyant lumineux et un signal sonore se déclenchent

au passage de chacun des 3 markers (**Outer** bleu, **Middle** orange et **Inner** blanc).

5. Le DME

Cet instrument mesure la distance oblique (en NM) entre l'avion et une station au sol (souvent co-implantée avec un VOR).

Le principe repose sur un émetteur de bord, qui envoie des impulsions d'interrogation à la station sol.

La station sol retransmet ces impulsions avec un retard de 50 microsecondes. Le récepteur calcule le retard donc la distance. De plus, grâce à un calculateur, il fournit aussi les informations de vitesse sol (en kt) et de temps pour rejoindre la station.

Sa portée est de 200 NM et sa précision de 0,2 NM.



Affichage du DME ci-dessus :

Fréquence 114,9

Distance oblique jusqu'à la balise 63,8 NM

Vitesse 168 kt

Temps de vol jusqu'à la balise 23 min

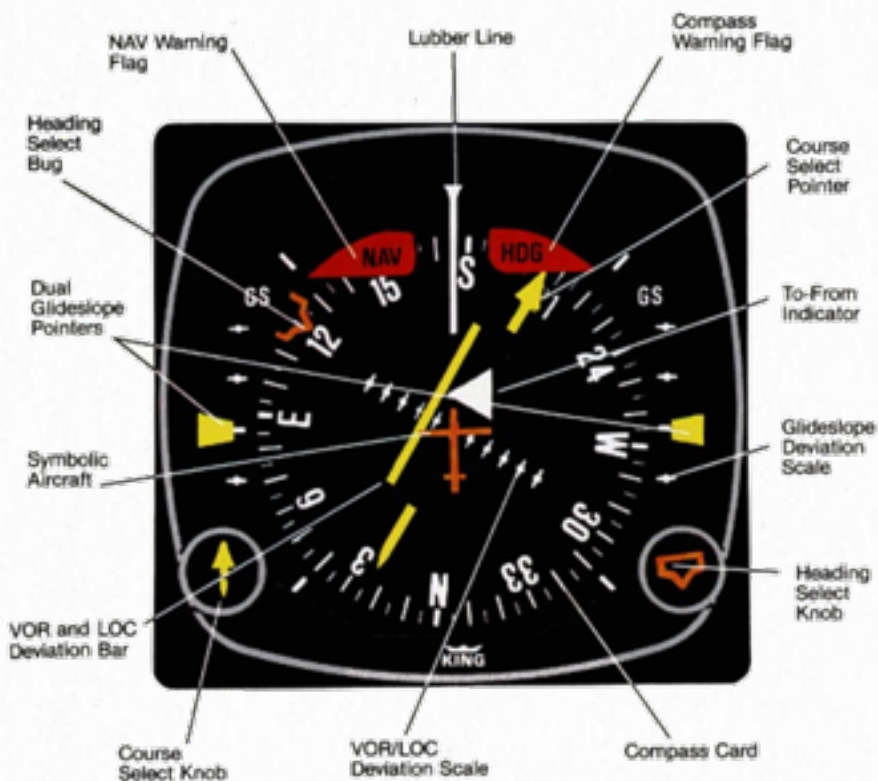
6.HSI Indicator

Le HSI ou Horizontal Situation Indicator (indicateur de situation horizontale) regroupe, sur un même instrument, un maximum d'information permettant au pilote de connaître tous ses paramètres de navigation.

Le HSI fournit les informations suivantes :

- Une référence de cap
- Une indication d'écart latéral par rapport à un radial ou à l'axe d'un localizer et une indication d'écart, dans le plan vertical, par rapport à un plan de descente (glide). (VOR ILS)
- Une distance DME
- Une vitesse sol
- La dérive

L'HSI peut être relié au pilote automatique pour permettre le maintien d'un radial ou d'un QDM ou d'un cap.



Galerie 2.1 Instruments de navigation



Compas et son tableau de déviation



Systeme d'aide à la navigation

Les systèmes que nous allons voir dans ce chapitre ne sont pas des systèmes utilisés par les pilotes pour assurer leurs navigations. Elles leur apportent une aide.

1.Le radar (au sol!)

1.1.Le radar primaire

C'est un système dont disposent les contrôleurs aériens pour détecter un avion et déterminer sa position par rapport à une station au sol.

Ce système n'implique aucun dispositif particulier à bord de l'avion.

Au sol, une antenne parabolique au sol tourne sur elle-même en émettant des impulsions radioélectriques. Lorsqu'une impulsion atteint les surfaces de l'aéronef, elle revient en écho à l'émetteur.

Le temps d'aller-retour ainsi que l'orientation de l'antenne lors de sa réception permettent de situer l'écho, visualisé sur un écran radar.

Le radar primaire est utilisé essentiellement pour les **approches**, le but étant de repérer tous les mouvements dans un espace où il y a beaucoup de monde. De plus, celui-ci tourne assez vite pour avoir un temps de rafraîchissement des positions le plus court possible.

1.2.Radar secondaire

C'est un système généralement associé au radar primaire qui facilite l'identification des différents aéronefs.

Il envoie à l'avion une interrogation à laquelle le transpondeur de bord fournit une réponse.

Cette réponse apparaît sur le scope radar sous la forme d'un écho, auquel est associée une étiquette qui retranscrit les 4 chiffres que le pilote a affichés sur son transpondeur à la demande du contrôleur. Le radar secondaire est destiné au contrôle « en route » et a une portée typique de 250NM.

2.Le transpondeur

Galerie 2.2 Radar primaire. et scope Radar



Un dôme radar militaire



Le transpondeur est un appareil radioélectrique embarqué servant à faire identifier l'appareil par un organisme de contrôle au sol (par exemple un contrôleur aérien).

Ce dernier demande au pilote d'afficher sur le boîtier de son transpondeur un code à quatre chiffres, ceux-ci apparaîtront alors sur l'écran radar du contrôleur qui identifiera alors clairement l'appareil parmi d'autres en vol et figurant sur son écran.

Le transpondeur n'est pas un appareil de radionavigation il est par contre très utile pour le contrôle aérien.

Les codes transpondeur.

Le contrôleur demande à ce que le pilote affiche le code qu'il lui propose. Ce code peut donner des indications sur le type de vol et l'altitude (5430 peut signifier VFR(54) et 3000 ft (30)).

Le pilote peut aussi afficher des codes particuliers :



7700 détresse,
7600 panne radio,
7500 détournement

3.Le GPS

Le Global Positioning System (GPS ou, en français : « système de localisation mondial ») est un système de géolocalisation par satellites accessible au grand public... même

si dans ce cas l'information est aléatoirement dégradée (précision de 15 m... au mieux!).

Pour les cartes le GPS utilise le système géodésique WGS 84. Ce « détail » est important car la surface géodésique ne colle pas nécessairement à l'altitude ZÉRO/niv mer !

C'est pour cela que j'estime PERSONNELLEMENT que le GPS est une aide à la navigation et non pas un moyen de navigation.

Le système utilise 24 satellites tournant à 20 200 km d'altitude émettant des informations datées par une horloge ultra précise (horloge atomique).

L'écran peut afficher les différents types de cartes y compris l'approche.

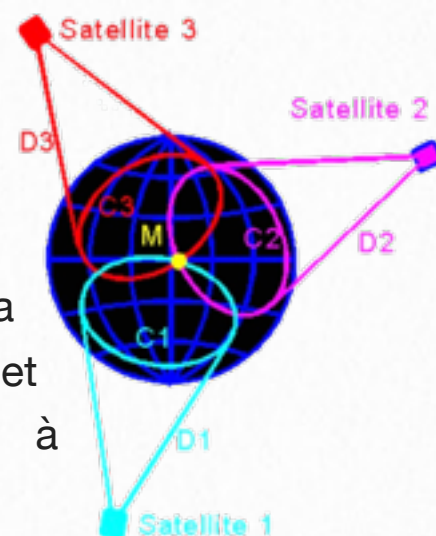
Les informations disponibles sont multiples et précises... au point que certains oublient déjà les bonnes habitudes de navigation.

Pour fonctionner, le récepteur GPS doit capter les signaux d'au moins quatre satellites.

Si l'on n'en avait que 2, on aurait, sur le sol deux intersections... et donc 2 points possibles.

Un troisième satellite permet de lever le doute.

Un quatrième affine la précision sur le **géoïde** et permet d'accéder à l'altitude.



Les différentes cartes

Il existe différentes cartes aéronautiques. Elles se différencient par l'échelle utilisée, mais aussi par les objectifs visés. Il vous faudra plus de détails au sol si vous faites du vol à vue (VFR) alors que pour un vol aux instruments (IFR) il faudra privilégier la localisation et la facilité d'utilisation des instruments de radionavigations.

Pour les aérodromes des cartes beaucoup plus détaillées seront utiles aussi bien pour les circuits en vol que pour le roulage au sol.

1. La carte au 1/500 000^{ème} OACI

Échelle 1/500 000^{ème}

1 cm sur la carte représente 5 km réels ou 2,7 NM.

Carte très détaillée pour les repères au sol (reliefs, antennes, voies ferrées, routes et surtout autoroutes, fleuves, forêts, etc.) elle est adaptée à la préparation et à la réalisation d'un vol à vue.

Comme elle ne peut concerner qu'un quart de la France à la fois il en faut donc 4 (NE, NO, SE et SO) pour parcourir la France. Constitué par 7 feuilles, le relief y est représenté au moyen de différentes couleurs (appelées teintes hypsométriques).

Elle précise toutes les



constructions humaines visibles, les diverses zones à statut particulier et certains espaces aériens contrôlés, la topographie, l'hydrographie, etc. Les méridiens et les parallèles sont tracés de demi-degré en demi-degré. Les renseignements aéronautiques vont du sol au FL 115 mais les Airways ne sont pas représentées.

2. La carte radionavigation à vue au 1/1 000 000^{ème}

1 cm sur la carte

représente 10 km réels ou 5,4 NM.

Très détaillée pour toutes les aides radioélectriques (VOR, DME, ADF, ILS, etc.) elle est adaptée à la préparation et à la réalisation d'un vol aux instruments.

Il existe deux cartes : France Nord et France Sud.

On y trouve les renseignements indispensables sur les VOR et NDB, les espaces aériens réglementés (rouge ou bleu : zones interdites/réglementées/dangereuses/réservées, vert : espaces aériens contrôlés).



3. La carte radionavigation à vue au 1/250 000ème

Échelle 1/250 000ème

1 cm sur la carte représente 2,5 km réels... ou 1,3 NM.

Carte très détaillée ici pour la région parisienne très chargée en espaces aériens. (Il existe d'autres zones traitées à cette échelle : Bale Mulhouse; Delta du Rhone...)

Utilité pratique pour ne pas survoler une zone Dangereuse, réglementée, interdite ou un espace aérien interdit de type Classe A.



4. Les cartes d'aérodrome VAC

Les cartes publiées dans l'atlas des cartes VAC (Visual Approach Chart) des aérodromes font parties des documents que le pilote doit avoir à bord.

La documentation utilisée doit être impérativement à jour et donc conforme à la documentation officielle.

La « carte d'approche à vue » ou VAC (Visual Approach Chart) fournit au pilote les informations dont il a besoin en phase d'approche d'un aérodrome.

Elle comporte notamment :

- le nom de cet aérodrome



(Montpellier Candillargues)

- sa localisation géographique (lat et long)
- son altitude (ici 5 m soit 1 hPa)
- son code OACI. (Ici LFMG = Montpellier Candillargues.)

Elle indique les diverses fréquences radio nécessaires au bon déroulement de l'approche et de l'atterrissage. Elle mentionne également les différentes catégories d'espaces aériens présentes à proximité du terrain et signale les zones interdites. En France, les cartes VAC sont éditées par le Service de l'Information Aéronautique (SIA).

Détails de la carte VAC de l'aérodrome d'Annemasse LFLI.

On y découvre énormément d'informations utiles au pilote. Les activités principales se déroulant sur l'aérodrome sont rappelées sous forme de symbole en haut de la carte. Sur l'en-tête on voit :

- ALTAD:1620 : C'est l'ALTitude en pieds de l'aérodrome (AD)
- A/A : 125.875 : C'est la fréquence COM pour l'autoinformation.

Sur la carte principale (toujours orientée au nord), on voit entre autres :

- La piste (traitillé épais noir) avec ses deux directions (12 et 30) ainsi que les caps réels (117° et 297°)
- Les circuits des pistes (trait noir continu). Ici, ces deux circuits superposés ce qui fait que le circuit de la 30 est un circuit

standard (main gauche) alors que celui de la 12 ne l'est pas (main droite).

- Les trajectoires de départ des deux pistes (flèches violettes)
- Les approches et circuits hélicos (traits verts continus)
- Les altitudes des circuits : 2600 pieds (1000 pieds de plus que la piste) pour les avions
- La zone hélicos (H entouré d'un cercle à côté de la piste)
- Des repères au sol très précieux pour respecter le circuit (rivières, autoroute, péage, gare SCNF)...

En dessous de la carte figure un petit plan du taxiway et du parking. Il montre aussi l'emplacement du « C » (ACB)... pour aller payer la taxe d'atterrissage...

Plus bas se trouvent les données des pistes elles-mêmes avec entre autres :

- Le numéro (RWY)
- Le cap (QFU)
- Les dimensions 1300 X 30 mètres (bien que l'unité ne soit pas indiquée)
- Le type de surface (herbe, béton, etc.)

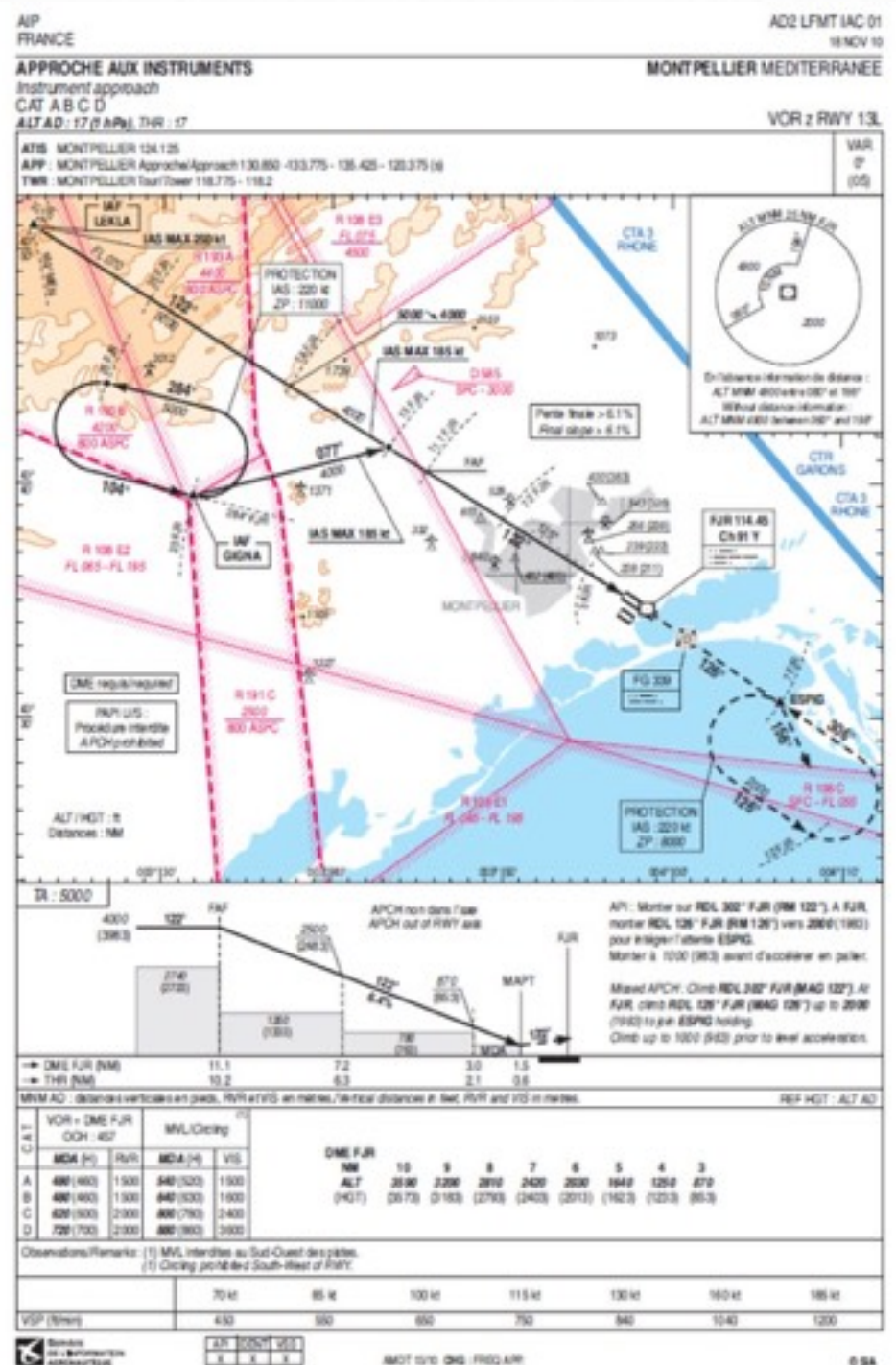
Les cartes VAC sont toujours accompagnées d'une ou plusieurs pages comportant notamment le règlement de l'aérodrome (limitations, heures d'ouverture, etc.), parfois les cartes d'approche à moyenne distance, etc.



Une carte APP est diffusée pour les aérodromes dotés d'une CTR (zone de contrôle terminale, ConTRol zone) ou situés dans un environnement complexe.

Les organismes de la circulation aérienne (organisme ATS, Air Traffic Services] avec leurs indicatifs d'appel et leurs fréquences sont indiqués en haut.

Les espaces aériens sont représentés sur les cartes APP.



5. Les cartes d'approche (APP)

4

Les différentes méthodes de navigation



1. La navigation à l'estime

Préparation d'une navigation :

- Première étape, il faut tracer le trait de la navigation sur la carte
- Ensuite il faut renseigner un « log de navigation » comme ci-dessous :

Vp =		Fb=			Conso					
Repère	Cm	Dist	Tsv	HEA	Conso	X	Δt	HRA	Remarques	RDO

- La première colonne permet d'identifier les points
- Dans la deuxième colonne, on note le cap magnétique à prendre pour atteindre le point suivant (sans vent)
- Dans la troisième on note la distance pour atteindre le point suivant.
- Dans la quatrième, le temps de parcours prévu sans vent
- Dans la cinquième l'heure à laquelle on prévoit d'arriver
- Dans la sixième, le carburant consommé
- Les trois colonnes suivantes sont renseignées en vol pour tenir compte du vent (estimation de la dérive, du temps perdu ou gagné et heure actualisée d'arrivée)
- Il est utile dans les remarques de noter les déroutements à envisager au cas où, ainsi qu'une altitude de sécurité (1500 ft au-dessus de l'obstacle le plus élevé dans une bande de 5 Nm autour de la route prévue)
- Dans la colonne RDO on peut indiquer les fréquences des balises RN à proximité, des terrains proches de la route et celles des organismes de contrôle gérant les zones environnantes.

2. La navigation par cheminement à vue

Cheminer consiste à suivre les lignes naturelles caractéristiques bien visibles depuis un avion. Cette méthode peut être utilisée chaque fois qu'une partie du parcours amène à longer un repère naturel ou artificiel (autoroute, rivière importante) pendant un certain temps.

Il est important de choisir de bons repères, facilement visibles et reconnaissables, comme les fleuves, les autoroutes, les côtes, les voies ferrées importantes.

On appelle aussi cheminement le fait de se diriger, à vue, d'un point connu à un repère identifié, puis de celui-ci à un autre repère identifié.

Ce type de Navigation est le plus long en temps et en route de tous, on le pratique chaque fois que pendant la navigation en cours les conditions météo se dégradent, le plafond devient bas et ne vous permet plus de voler suffisamment haut hors nuage.

3.La navigation par cheminement radionavigation

Il se pratique dans le même esprit que le cheminement à vue mais utilise des balises de RadioNav (ADF, VOR et radiocompas) comme points de repère.

On note la fréquence des balises et le radial (ou QDM) que l'on désire suivre et on passe ainsi de balise en balise jusqu'à la destination.

Il faut être très prudent, car les balises sont destinées à l'origine aux avions en IFR et il est donc très important de ne pas interférer avec eux (altitude ou FL de vol et contact radio dans les zones contrôlées).