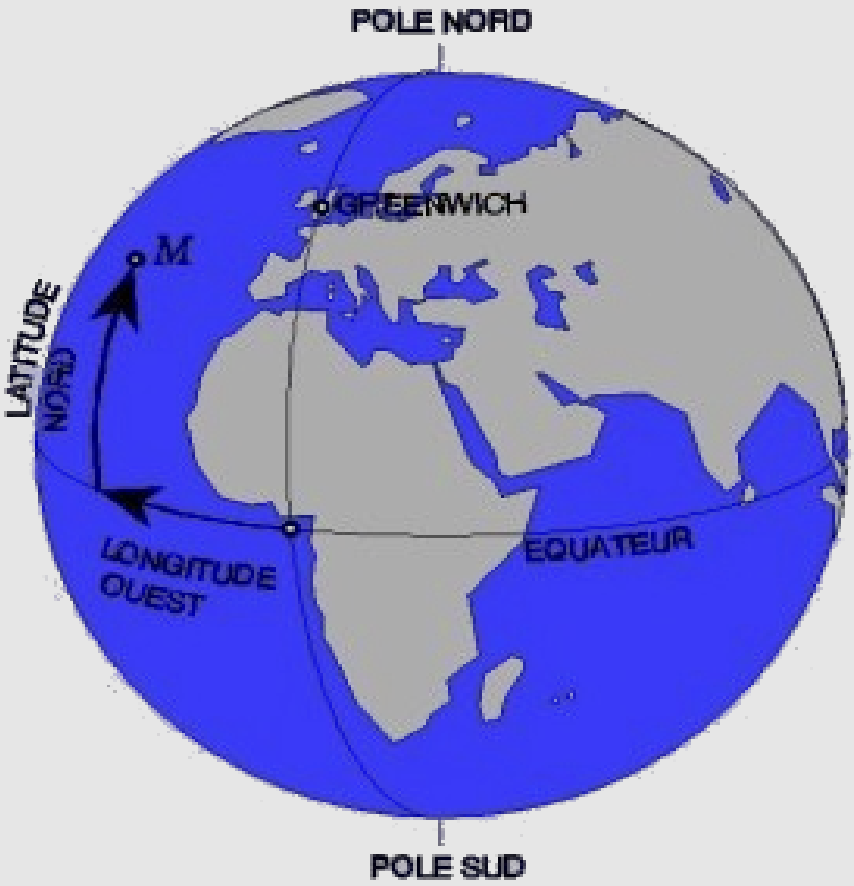
NAVIGATION



du B.I.A au C.A.E.A

Tome 3

TABLE DES MATIERES

NAVIGATION

1 – LES RÉFÉRENCES TERRESTRES

1.1 – Les coordonnées géographiques

1.1.1 – La longitude

1.1.2 – La latitude

2 – COMMENT SONT ÉVALUÉES LES DISTANCES TERRESTRES

2.1 – Orthodromie et loxodromie

2.2 – La mesure des distances

3 – LES CARTES

3.1 – Échelle d'une carte

3.2 – Cartes d'approche à vue et d'atterrissage

3.3 – La mesure du temps

3.3.1 – La nuit aéronautique

4 – CALCUL DE ROUTE ET DISTANCE

5 – L'ORIENTATION SUR LA TERRE

5.1 – Le magnétisme terrestre

5.2 – Nord magnétique (Nm), Nord vrai (Nv), déclinaison (Dm)

6 – MODES DE NAVIGATION

6.1 – Le cheminement

6.2 - L'estime

6.2.1 – Le Nord compas (Nc) , la déviation (d)

6.2.1.1 – La variation

6.2.1.2 – La compensation

6.2.1.3 – La régulation

6.2.2 – Le cap, la route

6.2.3 – Effet du vent
6.2.3.1 – Calcul de la vitesse propre (Vp)
6.2.3.2 – La dérive (X)
6.2.3.3 – Le triangle des vitesses
6.2.3.4 – Calcul du temps sans vent (TSV)

6.3 - La radionavigation
6.3.1 - Généralités
6.3.2 – Les aides-radio à l'atterrissage
6.3.3 – Les aides-radio à la navigation
6.3.4 – Le relèvement
6.3.5 – Le gisement
6.3.6 – L'axe station-avion
6.3.7 – L'orientation par rapport à la station
6.3.7.1 – La rose des QDM
6.3.7.2 – Calcul du QDM
6.3.8- La variation des QDM

7 - LES INSTRUMENTS DE NAVIGATION
7.1 – Le radio-compas
7.1.1 – Utilisation de l'ADF
7.2 – Le VOR
7.2.1 – Avantages et inconvénients
7.2.2 – Le récepteur
7.2.3 – Interprétation du VOR
7.2.4 – La navigation sur l'axe
7.2.4.1 – Sans vent
7.2.4.2 – Avec vent
7.3 – Le RMI
7.4 – Le DME
7.5 – Le FMS
7.6 – Le HSI
7.7 - L'ILS
7.7.1 – Les radiobornes
7.7.2 – Catégories d'ILS
7.8 – Le GPS
7.9 – Le Transpondeur

7.10 - L'EFIS

7.10.1 – Les EFIS

7.10.2 – Le PFD

7.10.3 – Le ND

7.10.4 – Les ECAM

ÉLÉMENTS DE CALCUL MENTAL

1/2/3/4. Relation vitesse / temps / distance

5. Calcul de la vitesse propre

6. Exemple

7/8. Effet du vent sur le vol de l'avion

9. Notion d'angle au vent

10. Vent secteur arrière

11. Règle générale pour la détermination de l'angle au vent α

12. Notion de vent effectif et vent traversier

13/14. Calcul rapide des lignes trigonométriques

15/16. Calcul de la dérive

17. Calcul rapide d'un cap

18. Le point équitemps

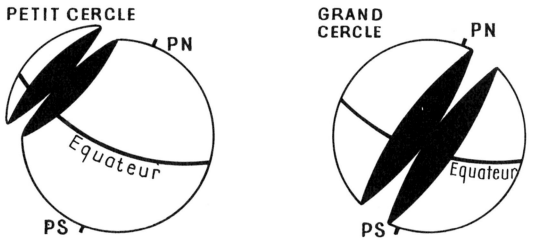
19. Formules pratiques

La pratique de la navigation consiste à partir d'un point A pour aller vers un point B, en connaissant toujours sa position sur la terre.
Le navigateur devra donc connaître la terre sur laquelle il va devoir se situer et se déplacer.

1 - LES RÉFÉRENCES TERRESTRES :

On appelle " **Grand cercle** ", tout cercle imaginé sur la surface terrestre,concentrique et de rayon égal à celui de la terre.

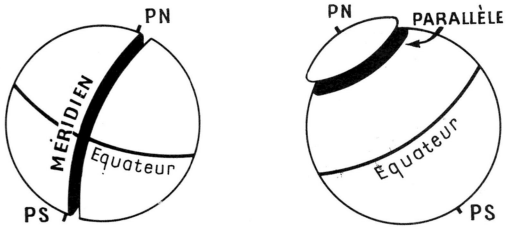
On appelle " **Petit cercle** ", tout cercle imaginé sur la surface de la terre et dont le plan est perpendiculaire à l'axe des pôles.



Équateur: c'est le grand cercle de la sphère terrestre dont le plan est perpendiculaire à la ligne des pôles.

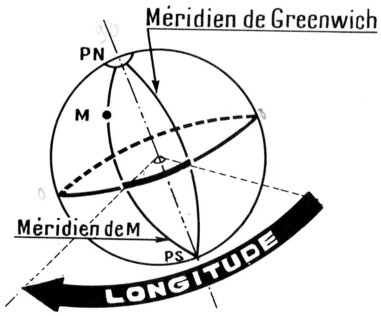
Parallèle : petit cercle parallèle à l'équateur

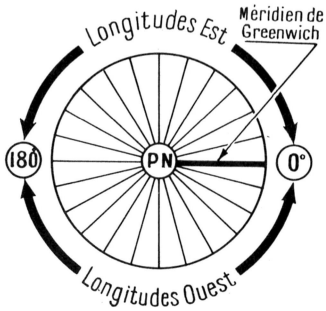
Méridien : grand cercle passant par les pôles. Le méridien de Greenwich est conventionnellement défini comme le méridien d'origine.



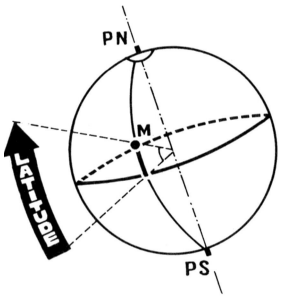
1.1 - Les coordonnées géographiques :

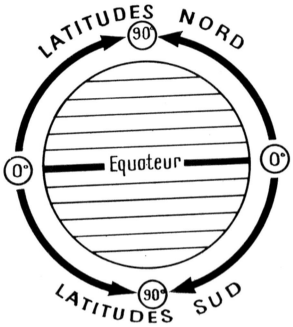
1.1.1 - La longitude : angle mesuré sur un parallèle et compris entre le méridien d'origine (Greenwich) et un point situé sur ce parallèle.**(elle s'exprime en degrés, minutes et secondes de longitude Est ou Ouest).**





1.1.2 - La latitude : angle mesuré sur un méridien et compris entre l'équateur et un point défini sur ce méridien **(elle s'exprime en degrés, minutes et secondes de latitude Nord ou Sud)**





Les coordonnées géographiques sont exprimées par 2 groupes de chiffres, le premier groupe de chiffre étant toujours la latitude . **Ex PARIS , 4851N 0221E**

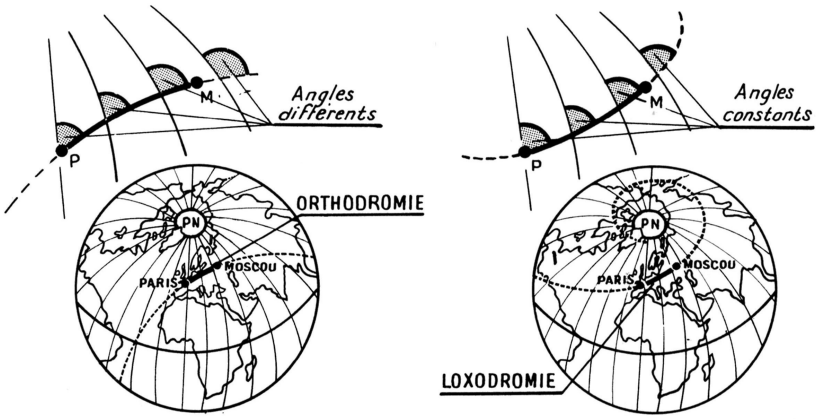
2 - COMMENT SONT ÉVALUÉES LES DISTANCES TERRESTRES

2.1 - Orthodromie et loxodromie

Le plus court chemin d'un point à un autre de la surface terrestre est la plus petite portion de grand cercle joignant ces deux points (*en effet, par deux points non diamétralement opposés de la surface d'une sphère, il ne passe qu'un seul grand cercle et la plus courte distance entre ces deux points est le plus petit arc du grand cercle qui passe par ces deux points*).

Si l'on cherche à mesurer la distance séparant ces deux points PARIS et MOSCOU par exemple, cela revient à mesurer la longueur du petit arc de grand cercle qui passe par PARIS et par MOSCOU. Ce petit arc de grand cercle s'appelle l'**orthodromie PARIS-MOSCOU.**

L'orthodromie étant la plus courte distance possible entre ces deux points du globe, il semblerait que la route orthodromique soit choisie de préférence à toute autre. En réalité, on l'utilise peu, sauf sur de grandes distances où elle permet une économie en réduisant la durée de vol.Coupant les différents méridiens sous des angles sans cesse différents, cela complique singulièrement la navigation.



Pour cette raison le pilote, surtout lorsqu'il navigue à l'estime, recherche généralement une route qui lui permette de conserver un angle de route constant. Une telle route suit à la surface de la terre une courbe appelée **Loxodromie**.

2.2 - La mesure des distances

Pour exprimer une distance, deux unités s'offre au pilote :

le MILLE MARIN (NM) et le KILOMÈTRE (Km)

On accorde la préférence à la première de ces unités parce que, les cartes de navigation sont toujours et partout en degrés et minutes sexagésimaux et que le mille marin représente la longueur d'un arc de méridien d'une minute sexagésimale.

Le rayon moyen de la terre étant de 6 370Km, la circonférence de l'équateur mesure :

6 370 x 2 x 3,14 = 40 003 Km

La longueur d'un arc compris dans un angle de 1° sur un grand cercle :

40 000 / 360 = 111,11 Km soit 60 NM

Par conséquent, pour une minute d'arc (1'), l'arc mesure : 1 NM soit 1,852 Km

3 - LES CARTES

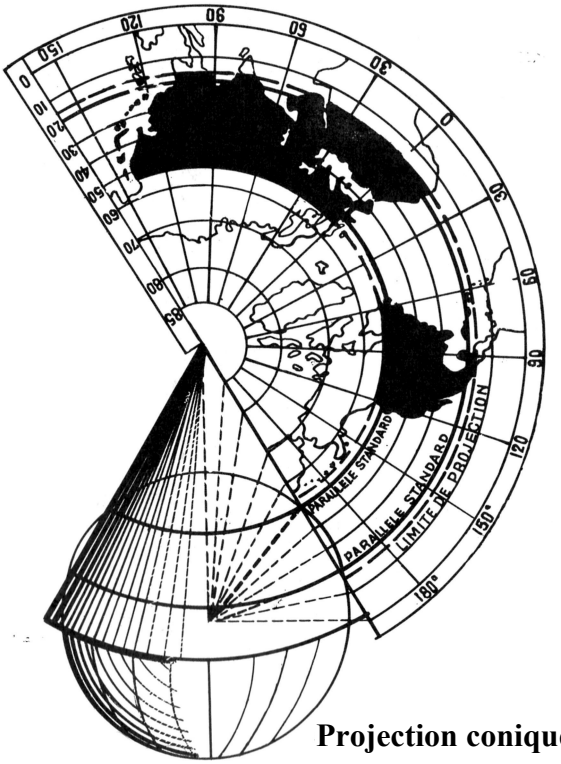
Une carte est une surface plane sur laquelle a été représenté par projection, une région de la surface sphérique de la terre. Les lignes et contours obtenus sur cette carte donnerons donc une image déformée de la surface représentée.

On appelle CANEVAS l'ensemble des lignes qui représentent, sur une carte, les méridiens et les parallèles du globe terrestre.

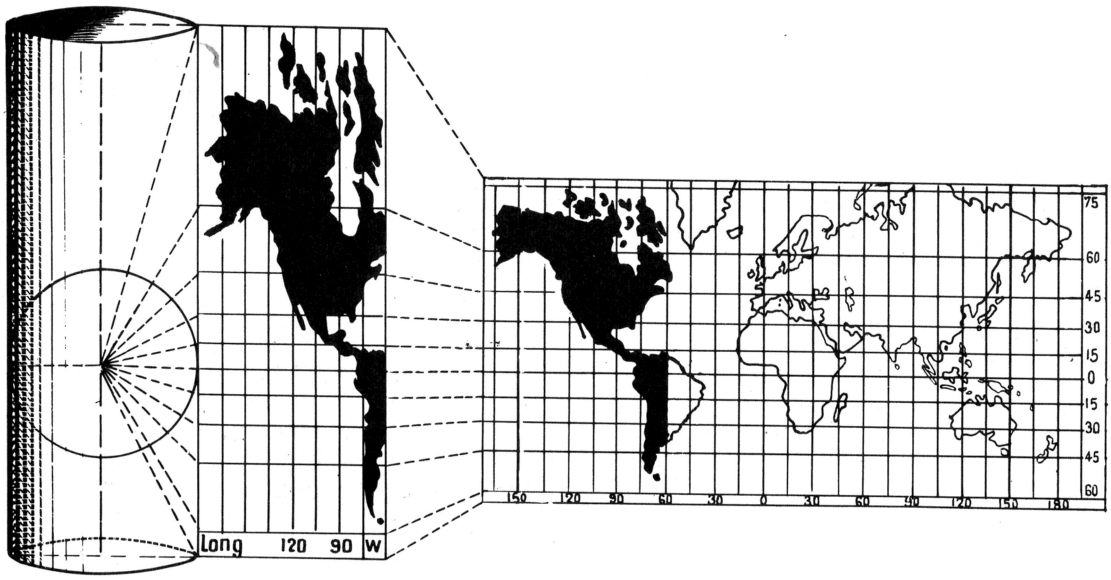
Projection conique Lambert :

Elle est utilisée pour les cartes aéronautiques de vol à vue et de radionavigation. Les méridiens sont représentés par des droites concourantes.

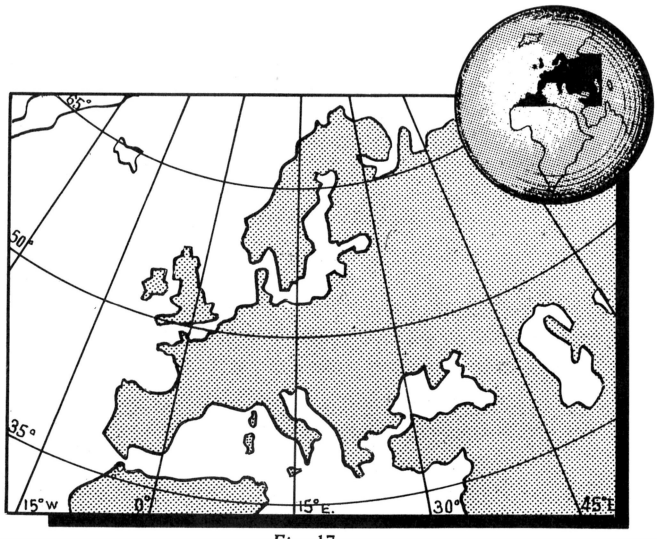
Les parallèles sont représentés par des arcs de cercle concentriques.



Projection conique Lambert



Projection cylindrique Mercator



Représentation d'un fragment de la surface terrestre à l'aide d'un canevas Lambert

3.1 - Échelle d'une carte :

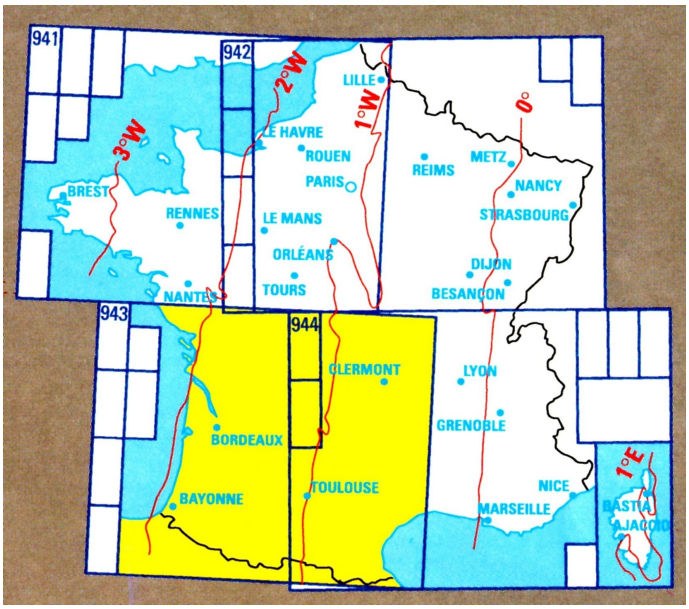
On appelle " échelle d'une carte ", le rapport :

$$\text{Échelle} = \frac{\text{Distance sur la carte}}{\text{Distance sur la surface de la terre}}$$

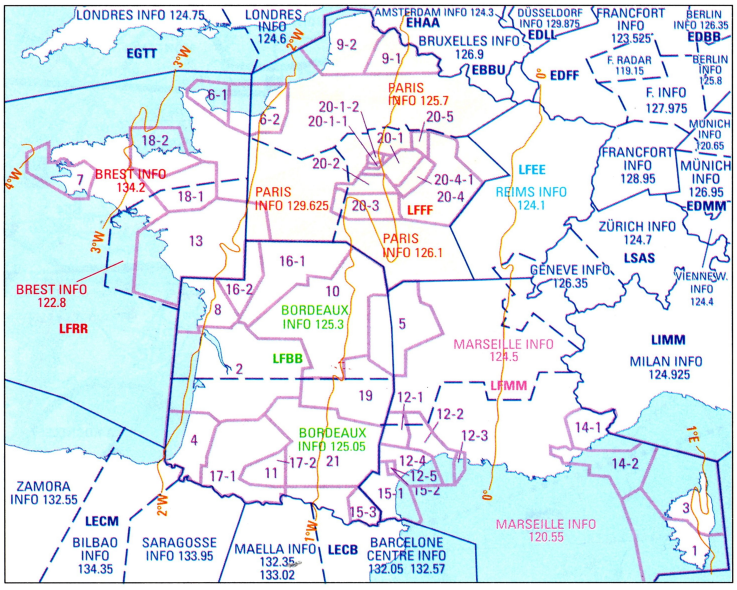
Ex : sur une carte au 1 / 500 000, un cm sur la carte représentera sur la terre 500 000 cm, soit 5 Km.

Cartes de vol à vue :

Carte aéronautique au 1 / 500 000e
(normalisée OACI)
Canevas : LAMBERT
Échelle : 1 / 500 000 , 1 cm = **5 Km**
= **2,7 NM**
Couverture de l'espace aérien par **4** cartes



Carte de radionavigation à vue du S.I.A
Canevas : LAMBERT
Échelle : 1 / 1 000 000
Couverture de l'espace aérien par **4** cartes



3.2 - Cartes d'approche à vue et d'atterrissage :

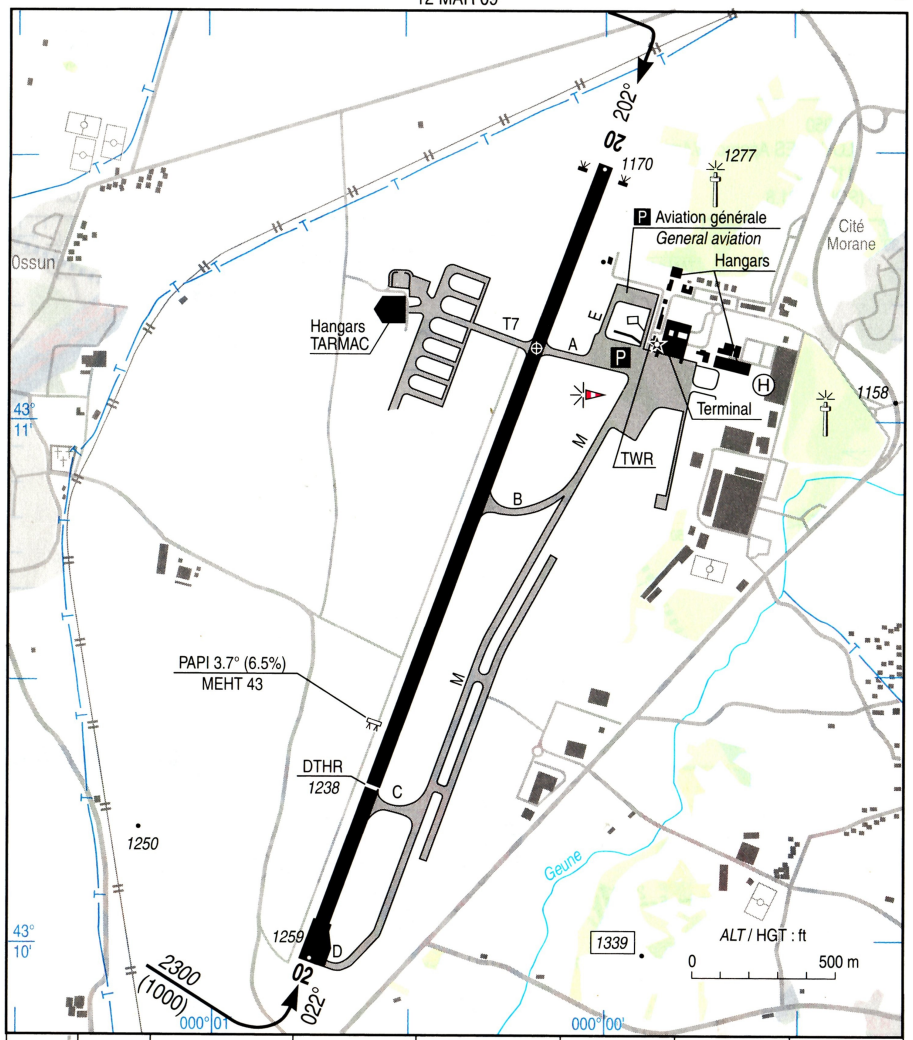
D'autres cartes sont également utiles au pilote privé pour voyager, ce sont les cartes d'approche à vue et d'atterrissage sur les différents aérodromes.
On y trouve de nombreux renseignements concernant l'aérodrome lui-même et son environnement.
Parmi eux on peut citer :

- les coordonnées géographiques de l'aérodrome et sa situation par rapport à l'agglomération urbaine voisine
- le tracé du circuit d'aérodrome et les limites des espaces aériens contrôlés, éventuellement les points de survol obligatoires
- les consignes particuliéres d'utilisation, éventuellement les restrictions à cette utilisation
- les fréquences de radiotéléphonie utilisées par les organismes de contrôleur
- ..... / .....

TARBES **LOURDES** PYRENEES
AD2 LFBT ATT 01

ATTERRISSAGE A VUE
Visual landing

12 MAR 09



RWY	QFU	Dimensions *Dimension*	Nature *Surface*	Résistance *Strength*	TODA	ASDA	LDA
02 20	022 202	3000 x 45	Revêtue *Paved*	28/40/72	3000 3000	3000 3000	2330 3000

Aides lumineuses :

RWY 20 : HI ligne d'APCH

RWY 02/20 :
Franchissement des obstacles non assuré par le PAPI au-delà du sud de la ville de Lourdes, ou au-delà de 7 NM DME OS.

Lighting aids :

RWY 20 : LIH APCH line

RWY 02/20 :
Obstructions clearance not secured by the PAPI beyond the south of Lourdes city, or beyond 7 NM DME OS.

SERVICE DE L'INFORMATION AERONAUTIQUE

AMDT 03/09 **CHG :** Infrastructures.

©SIA

APPROCHE A VUE
Visual approach

Ouvert à la CAP
Public air traffic

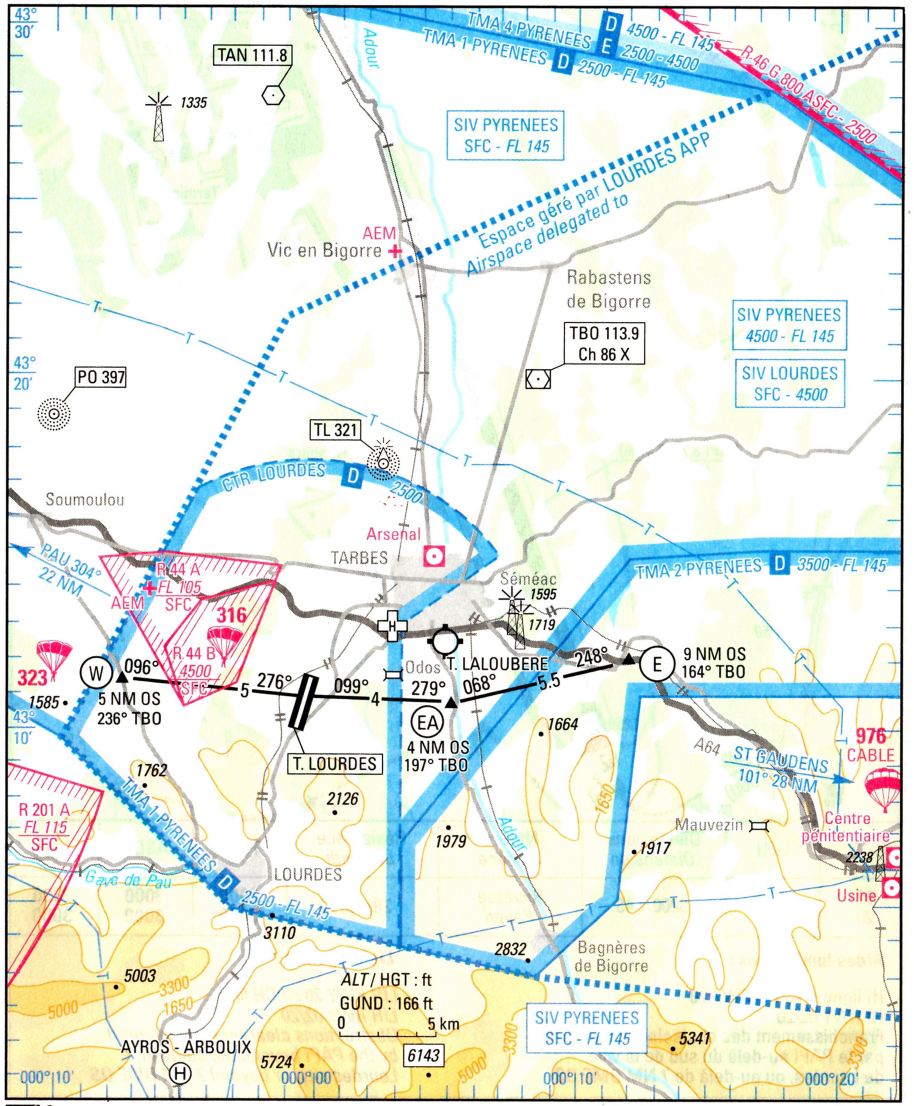
13 MAR 08

TARBES **LOURDES** PYRENEES
AD2 LFBT APP 01

	ALT AD : 1260 (46 hPa) LAT : 43 11 08 N LONG : 000 00 10 W	**LFBT** VAR : 1°W (05)

ATIS : 125.950
APP : LOURDES Approche/*Approach* 120.3 (*2500-4500*)
TWR : 119.050
GND (SOL) : 121.8

VDF : 120.3 - 119.050
ILS/DME : RWY 20 - OS 109.5



SERVICE DE L'INFORMATION AERONAUTIQUE

AMDT 04/08 **CHG :** VOR/DME TBO, espaces.

© SIA

3.3 - La mesure du temps :

- Heure UTC (Universel Time Coordonne) ou GMT (Greenwich Mean Time):

En tout point de la terre, il sera 12 heures (midi) lorsque le soleil est au **zénith**, c'est à dire lorsqu'il passera à la **verticale** du méridien.

- Heure locale:

L'heure locale d'un méridien sera fonction de sa longitude. La terre effectuant une rotation complète en 24 heures, soit 360° sue elle-même, lorsqu'elle a effectué un degré de rotation, il s'est écoulé : 360° / 24 h = 15° / h => 60' / 15° = 4' / 1°

1° = 4 mn

3.3.1 - La nuit aéronautique :

Elle commence **30 minutes après** le coucher du soleil et se termine **30 minutes avant** son lever.

4 - CALCUL DE ROUTE ET DISTANCE

Chaque point à la surface du globe est caractérisé par ses coordonnées géographiques latitude et longitude, que nous pouvons repérer sur une carte .

A partir des coordonnées géographiques de deux points, nous allons calculer leur distance et la route à suivre entre ces points .

Exercice N° 1:

Paris et Lannion sont à la même latitude : 48° 50' N

Paris est à la longitude : 002° 10' E et Lannion est à la longitude 003° 30'W.

Distance en NM en Lannion et Paris.

Écart de longitude : il faut additionner les longitudes, car l'une est à l'ouest et l'autre à l'est, donc $\Delta l = 2° 10' + 3° 30' = 5° 40'$ soit 340'

1' d'angle = 1 NM sur un arc de cercle ayant le centre de la terre pour centre, sur l'arc de parallèle passant par Paris et Lannion, la distance sera donc de :

340 x cos (48° 50') = **223 NM**

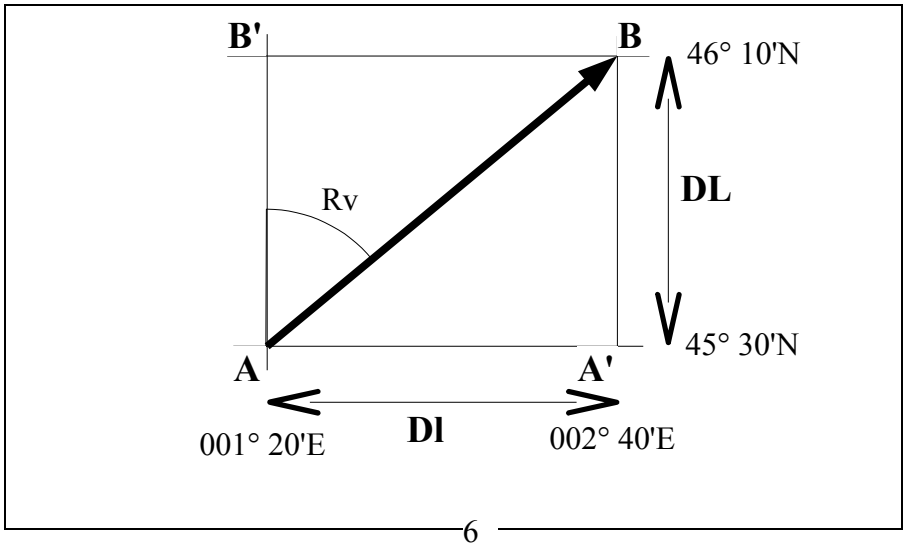
Exercice N° 2:

Un aéronef décolle de Toulouse pour aller à Perpignan. Sur la carte on relève une **Rv de 120°**. Dans cette région la **Dm** est de **4° ouest**. On peut alors calculer la **Rm** à suivre :

Rv = Rm + D donc Rm = Rv - D

Avec Rv = 120° et D = - 4° On a alors : **Rm = 124°**

Exercice N°3 :



Un pilote d'avion veut se rendre du point A au point B. Les coordonnées géographiques de ces points sont : **A** : 45° 30'N et 001° 20'E et **B** : 46° 10'N et 002° 40'E

La première chose à faire est de représenter les points sur un petit schéma pour les situer:
On peut ensuite déterminer les écarts de latitude DL et de longitude Dl entre les 2 points:

DL = 46° 10' – 45° 30' = 40' et Dl = 002° 40' – 001° 20' = 1° 20' (80')

On convertit les écarts angulaires (en ') en distances (Nm) en utilisant la latitude moyenne pour convertir Dl:

DL = 40 Nm

Dl = 80 . cos ((46° 10' + 45° 30') / 2) = 55,7 Nm

On peut alors calculer la distance entre les 2 points A et B ainsi que la Rv à suivre pour aller de A à B :

(triangle rectangle : $a^2 = b^2 + c^2$)

soit AB = $\sqrt{AA'^2 + A'b^2} = \sqrt{55,7^2 + 40^2}$ = **68,57 Nm**

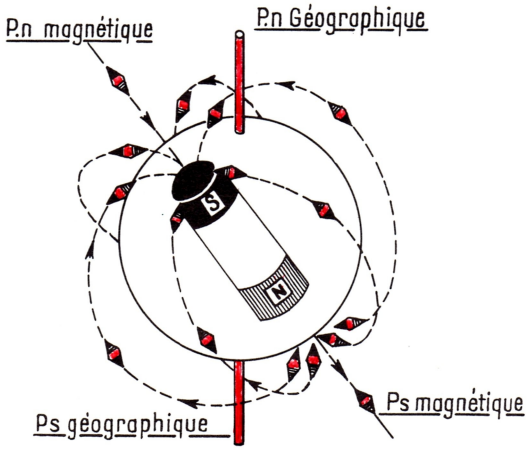
soit cos (Rv) = $\frac{AB'}{AB} = \frac{40}{68,57}$ soit **Rv = 54°** (53,84°)

5 - L'ORIENTATION SUR LA TERRE

5.1 - Le magnétisme terrestre

Une aiguille aimantée que l'on suspend librement par son centre de gravité indique toujours une direction fixe sensiblement nord-sud ; cette propriété est utilisée dans les boussoles et comme nous le verrons plus loin dans le **compas magnétique.** L'aiguille est donc influencée par une force magnétique qui, indépendamment de toute action perturbatrice, semble due à la terre.

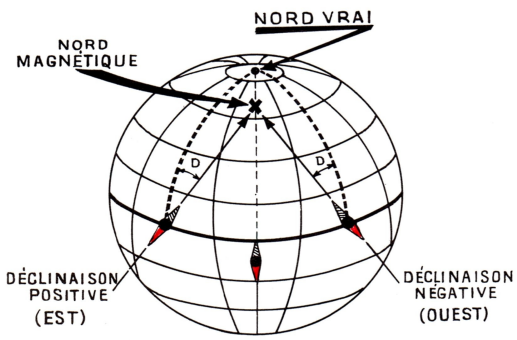
Autour du globe, toute une région de l'espace, appelée " **champ magnétique terrestre** " est le siège de forces magnétiques qui influencent les aimants.



5.2 - Nord magnétique, Nord vrai, déclinaison

Sous l'influence du champ magnétique terrestre, l'aiguille aimantée prend l'orientation Nord- Sud magnétique et son extrémité Nord indique la direction du **Nord magnétique** (**Nm**). En un point de la surface terrestre, cette direction forme, avec celle du Nord géographique ou **Nord vrai (Nv)** donnée par le méridien du lieu, un angle appelé " **déclinaison magnétique** " (**Dm**).

Nord magnétique et déclinaison

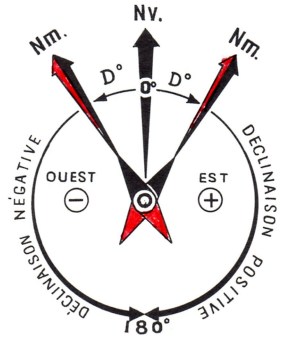


La déclinaison est comptée de 0 à 180° du Nord vrai (Nv) vers le Nord magnétique (Nm). Elle est dite Est et positive (+) si le Nm est à l'Est du Nv et Ouest et négative (-) si le Nm se trouve à l'Ouest du Nv.

Exemples :

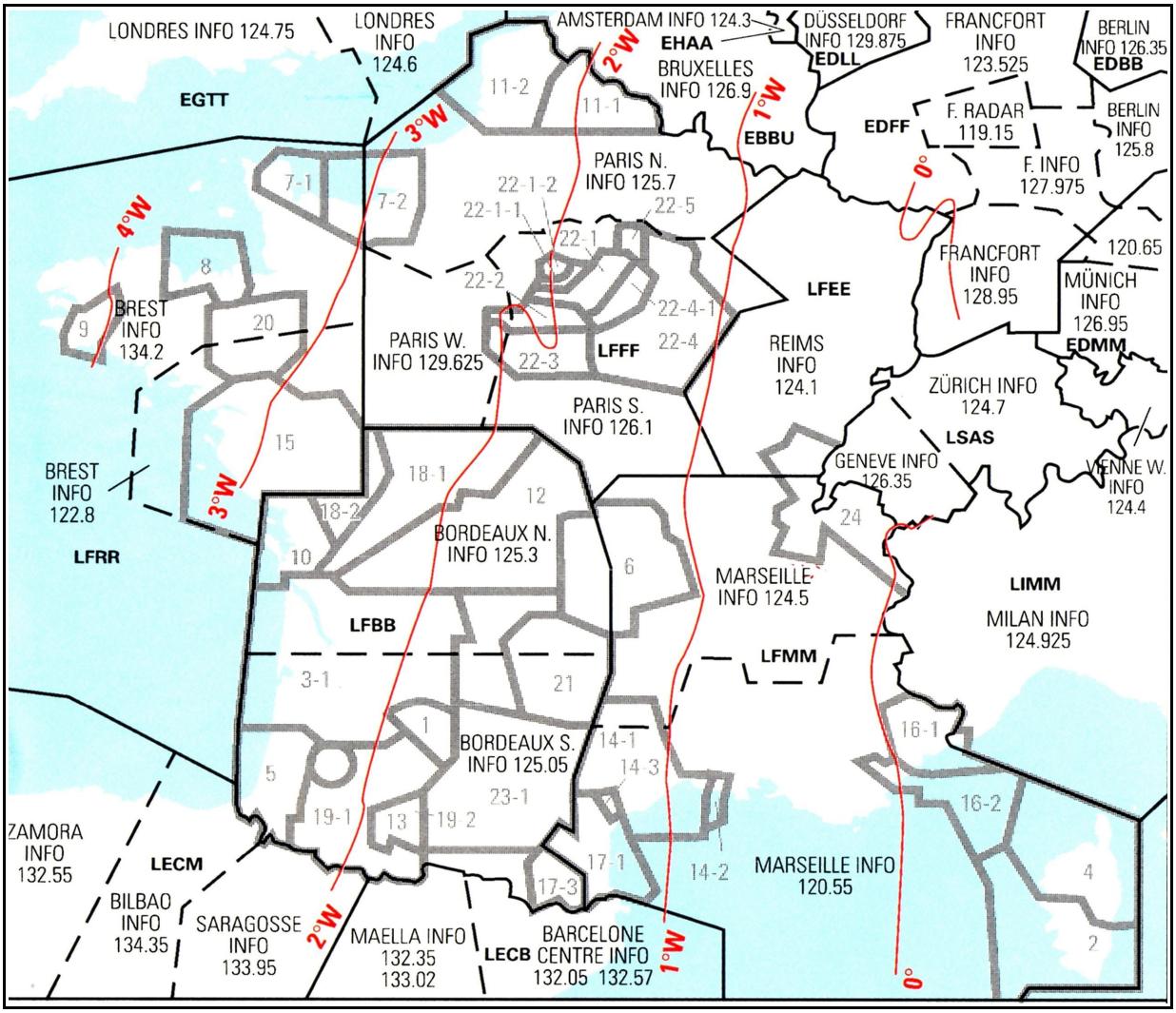
Une déclinaison de 12° Ouest peut s'écrire : Dm = 12° W ou Dm = -12°

Une déclinaison de 15° Est peut s'écrire : Dm = 15° E ou Dm = +15°



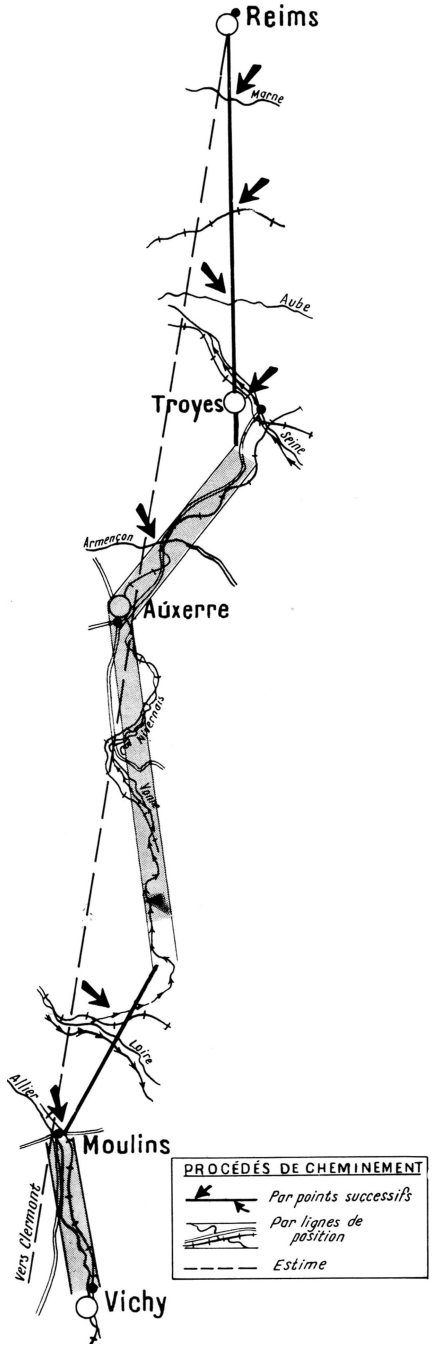
La déclinaison varie avec le lieu et avec le temps. Comme elle n'a pas la même valeur en tous les points du globe, les cartes de navigation indiquent souvent les ***lignes isogones*** qui sont des courbes d'égale déclinaison.Le long de l'une de ces courbes, la déclinaison est la même pour une époque donnée.

Elle diminue d'environ 10' par an (1° en 6 ans). Se reporter sur les cartes en cours pour obtenir les valeurs du moment .



6 - MODES DE NAVIGATION

6.1 - Le cheminement



Qui consiste à suivre les lignes naturelles caractéristiques.Pour suivre l'itinéraire choisi, tracé préalablement sur la carte, le pilote oriente donc l'avion à vue.

Cette méthode d'une pratique aisée lorsque le temps est beau et les repères au sol nombreux, le devient beaucoup moins par mauvais temps ou lorsque les minima du vol VFR ne sont plus respectés.

Le problème posé par ce genre de navigation se résume à aller de la verticale d'un point à la verticale d'un autre point en maintenant l'avion par des variations de caps appropriés le long d'une voie balisée par des repères terrestres.

6.2 - L'estime

La **navigation à l'estime** est une méthode de navigation qui consiste à déduire la position d'un avion de sa route et de la distance parcourue depuis sa dernière position connue. Traditionnellement, cette méthode repose sur les instruments mesurant son cap (compas), sa vitesse (badin) et le temps (montre ou chronomètre) ainsi qu'avec l'estimation éventuelle (ou le calcul) de l'influence de l'environnement (courant, vent) sur sa marche.

Les deux problémes clés de ce genre de navigation sont réciproques. Ils peuvent s'énoncer comme suit :

- 1er problème : *étant donné une route à suivre, déterminer l'orientation à donner à l'avion et la vitesse sol correspondante.*
- 2éme problème : *étant donné une orientation de l'avion, déterminer la route suivie et la vitesse sol correspondante.*

La résolution de ces deux problémes implique la connaissance de :

- la vitesse propre de l'avion
- le vent, en grandeur et en direction

Les repères terrestres perdent ici le rôle prépondérant qu'ils jouent dans le cheminement. Le pilote estime à priori les éléments du vol tels que routes, distance, caps, en s'aidant de tracés sur la carte et conduit ensuite sa navigation en s'appuyant sur les instruments de navigation.

6.2.1 - Le Nord compas et la déviation

En dehors de toute action perturbatrice, le barreau aimanté du compas indique la direction du Nm. Cela cesse généralement d'être vrai lorsque le compas est placé à bord de l'avion car le barreau aimanté est soumis à des influences magnétiques parasites. La direction indiquée devient différente de celle du Nm, c'est la direction du " **Nord compas** " (**Nc**).

L'angle formé entre la direction du Nm et la direction du Nc, pour une orientation donnée de l'avion, est connu sous le nom de " **déviation** ".

La perturbation du compas qui occasionne la déviation est due à la présence à bord de masses métalliques possédant une aimantation propre ou aimantées par influence .

La déviation est comptée de 0 à 180° du Nm vers le Nc. Elle set dite positive et affectée du signe + si le Nc est à droite (Est) du Nm, négative et affectée du signe – si le Nc est à gauche (Ouest) du Nm.

6.2.1.1 - La variation :

La variation (**W**) est la somme de la déclinaison magnétique et de la déviation compas.

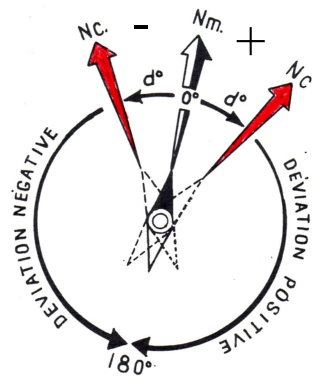
$$W = D + d$$

La variation est donc en définitive l'angle formé entre le Nv et le Nc.

Exemples :

Une déviation positive de 4° à droite s'écrit : d = + 4°

Une déviation négative de 5° à gauche s'écrit : d = - 5°



La valeur de la déviation varie avec l'orientation de l'avion sur l'horizon . L'effet résultant du champ magnétique terrestre et du champ magnétique dû aux masses métalliques du bord agit sur le barreau aimanté d'une façon qui n'est pas constante ni en direction ni en intensité.

6.2.1.2 - La " compensation "

est une opération permettant de réduire considérablement sinon d'annuler les déviations d'un compas qui, lorsqu'elles deviennent trop importantes, peuvent amener des erreurs grossières de navigation.

La compensation est donc l'opération qui consiste à corriger la déviation.

Une expression théorique de la déviation est donnée par la formule d'Archibald Smith :

$$d = A + B \sin Cc + C \cos Cc + D \sin 2\,Cc + E \cos 2\,Cc$$

- Cc = Cap compas
- A = Déviation constante

B sin Cc + C cos Cc = Déviation semi-circulaire

D sin 2 Cc + E cos 2 Cc = Déviation quadrantale

Compenser un compas est donc réduire le plus possible la déviation.

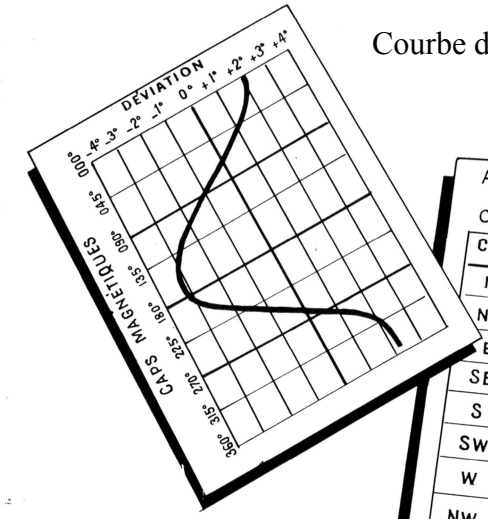
Aussi, en vue de réduire la déviation du compas on lui adjoint un dispositif de compensation.

Ainsi, le constructeur livre avec chaque compas la notice de compensation correspondante.

6.2.1.3 - La " régulation " consiste à relever à différents caps la déviation du compas magnétique.

A la suite de cette opération, on peut soit:

- Établir une courbe de régulation sous forme de courbe ou sous forme de tableau
- Essayer d'annuler dans la mesure du possible les déviations.



Courbe de régulation

Avion : F. B. 111 E
Date : 12/4/53
Compas : type et N° : Vion

CAP	Cm	- Cc	= d
N	360	358	+ 2
NE	045	044	+ 1
E	090	091	- 1
SE	135	137,5	- 2 ½
S	180	183	- 3
SW	225	227	- 2
W	270	269,5	+ ½
NW	315	313	+ 2

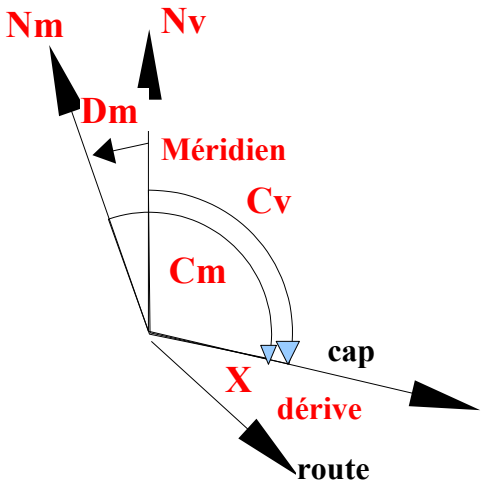
Tableau de régulation

6.2.2 - Le cap , la route :

La **route** est la trajectoire suivie par l'aéronef sur la terre, alors que le **cap** est l'angle entre le nord et l'axe longitudinal de l'avion.
Le cap pourra être **magnétique**, s'il est mesuré par rapport au nord **magnétique**, ou géographique, s'il est mesuré par rapport au nord géographique.(ou nord vrai)

<u>Sans vent, le cap et la route sont confondus.</u>

Le vent souffle toujours du cap vers la route



Cm = Cv + (± Dm) et Rm = Cm + X où Rv = Cv + X et Cv = Rv - X

6.2.3 - Effet du vent

L'air est toujours en mouvement. C'est ainsi que nous avons appris en météorologie que l'atmosphère était le siège de mouvements très divers quant à leur nature et à leur origine.
De ce fait, le vent joue en navigation le rôle le plus important et le pilote doit en tenir compte dans la préparation de son vol et dans la conduite de celui-ci.

La vitesse d'un aéronef par rapport à la masse d'air dans laquelle il évolue est nommée " **Vitesse propre " (Vp).**
Le vent est le déplacement horizontal de cette masse d'air par rapport au sol.

6.2.3.1 - Calcul de la vitesse propre :

Les anémomètres sont calibrés en fonction des critères de l'atmosphère standard.
La vitesse indiquée n'est pas représentative de la vitesse par rapport à la masse d'air.
Il faudra apporter 2 corrections à cette Vi :

1. Une correction de densité
2. Une correction de température

Correction de densité : Vp = Vi + 1% (par 600 ft) d'altitude pression
Correction de température : Vp = Vi ± 1% (par 5° d'écart) par rapport à la T° standard

Exemple :

Vous volez au Fl65, votre Vi est de 100 Kt et la T° extérieure est de 22°C. Quelle est votre Vp ?

Correction de densité : + 11% (6500 / 600)
Correction de T° : à 6500 ft la T° ext devrait être de +2°, je suis en ISA + 20° j'ajoute 4% (20° / 5° = 4)

Cela fait une correction totale de + 15%.
Ma Vp est de 100 + 15 = **115 Kt**

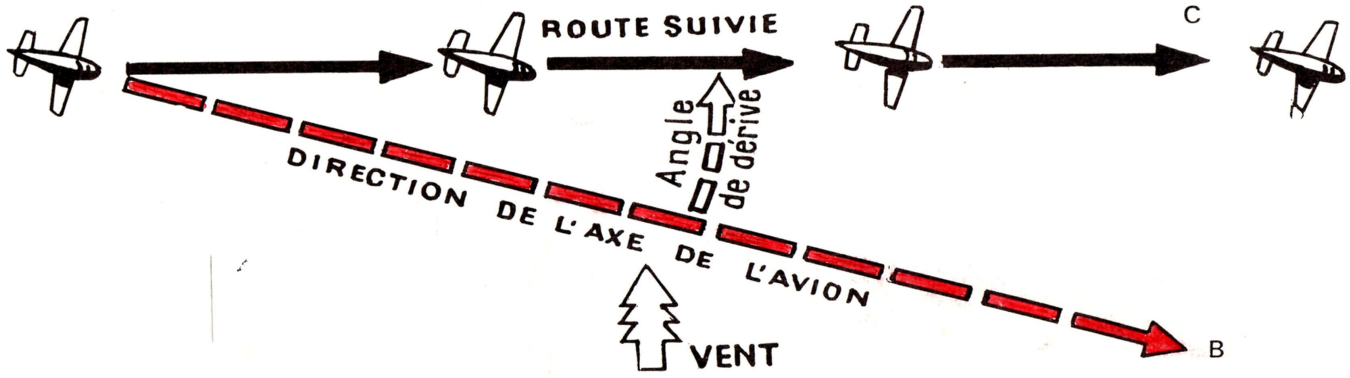
(Se souvenir : + chaud, + haut, + vite)

Nous devons donc appliquer la correction du vent pour connaître la vitesse par rapport au sol, nommée **" Vitesse sol " (Vs).**
Le vent est connu , fourni par la météo, en orientation, par rapport au nord géographique, et intensité.
L'intensité du vent est notée **Vw**

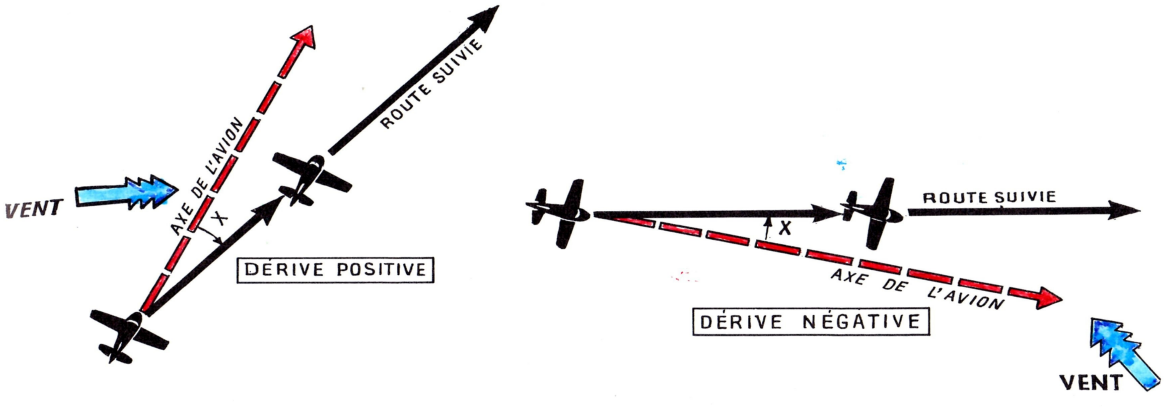
Exemple : **Vw = 315°/25Kt est un vent qui souffle du nord-ouest et à une vitesse de 25 Kt (noté 315/25)**

6.2.4 - La dérive :

L'avion placé dans la direction AB suit en réalité la route AC qui fait un angle X avec AB.
Cet angle est appelé angle de dérive ou plus simplement " **dérive** ".



La dérive se compte toujours à partir de l'axe longitudinal de l'avion. Si la route suivie est à droite de l'axe, la dérive est dite **droite** et **positive**. Si la route suivie est à gauche de l'axe, la dérive est dite **gauche** et **négative.**



6.2.5 - Le triangle des vitesses

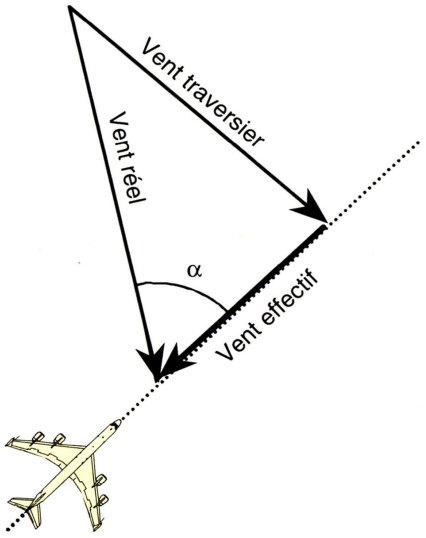
Nous pouvons projeter le vent sur la route et le décomposer suivant deux composantes

- la composante perpendiculaire à la route nommée " **vent traversier** ", **(Vt)**
- la composante sur la route (vent de face ou vent arrière) que nous appellerons, " **vent effectif** ",**(Ve)**

Soit α l'angle entre le vent et la trajectoire de l'avion, α est nommé l'angle au vent.

Nous aurons :

Ve = Vw . Cos α **et** **Vt = Vw . Sin α**



Exemple :

Un avion suit la route vraie au 255 et subit un vent du 315/25, nous aurons : **Ve** = 25 . cos (315 – 255) = 12,5 Kt

et **Vt** = 25 . sin (315 – 255) = 21,6 Kt

Nota :

- Si le vent est de face (ou debout), on le considère comme négatif
- Si le vent de dos (ou arrière), on le considère comme positif

La dérive maximale est celle qui serait obtenue par un vent perpendiculaire à la ligne de foi de l'avion.

X max = Fb x W

On appelle **" facteur de base " (Fb)** le rapport :

Fb = 60 / Vp (ou vitesse sol sans vent)

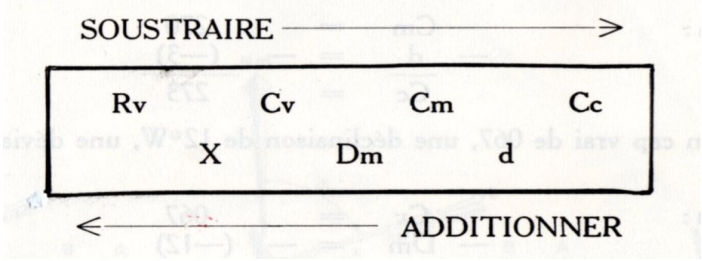
L'intérêt du facteur de base est de pouvoir, en vol, effectuer des calculs rapides de temps de vol.

6.2.6 - Calcul du temps sans vent (TSV)

On appelle temps sans vent, le temps nécessaire à un aéronef pour parcourir une distance sans vent :

$$TSV \text{ en minutes} = \frac{Distance}{Vp} \times 60 = distance \times Fb$$

En résumé, les différents caps établis aux paragraphes précédents nous amène à une relation fondamentale qui résume toutes les précédentes et permet de passer rapidement de la route vraie au cap compas et inversement.



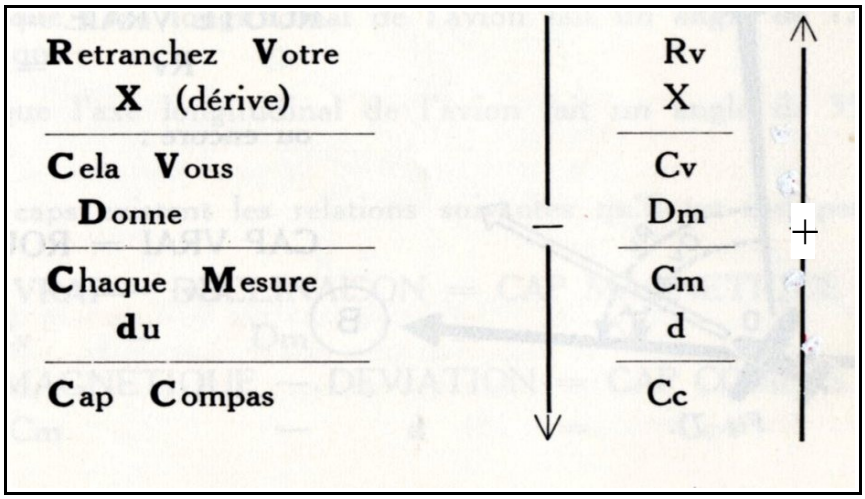
La règle des signes est simple, elle consiste à :

- soustraire les valeurs algébriques de X, Dm et d en allant de la Rv au Cc
- additionner ces mêmes valeurs en allant du Cc à la Rv

Vérification :

d'une part :	**Rv – X = Cv**	d'autre part :	**Cc + d = Cm**
	Cv – Dm = Cm		**Cm + Dm = Cv**
	Cm – d = Cc		**Cv + X = Rv**

Voici à titre indicatif une formule mnémonique permettant de se rappeler cette relation :



Exemple :

Quelle est la valeur du Cc lorsque la Rv étant de 060, on mesure une dérive de +6° ? Prendre une Dm de 6°W et une d de -2°.

Solution :

Route vraie	**060**
- dérive (X)	**- (+ 6)**
Cap vrai	**054**
- Déclinaison	**- (- 6)**
Cap magnétique	**060**
- déviation	**- (- 2)**
Cap compas	**062**

Une notion utile à connaître, est celle de **rayon d'action**.

Ce rayon d'action désigne la distance maximum dont peu s'éloigner un avion de son point de départ, sur une route déterminée, de telle façon que la réserve de carburant dont il dispose lui permette d'y revenir par la même route en respectant les marges de sécurité imposées.

La distance dépend de la force du vent et de son orientation par rapport à la route. Le point déterminé sur la route à partir duquel le retour au point de départ est possible s'appelle le " **point équitemps** " (*voir éléments de calcul mental*), lorsque le retour devient impossible s'appelle le " **point de non retour** ".

6.3 - La radionavigation

6.3.1 - Généralités :

La manière la plus directe de déterminer la position d'un avion est de le situer à la verticale d'un point identifié de la carte à un instant donné. Cette position dite observée peut se référer à un repère visible du sol aussi bien qu'à une balise radio-électrique ou station.

Un alignement peut être constitué par un faisceau hertzien émis par un radiophare capté par le récepteur de bord qui permet, au voisinage de la station, de situer l'avion sur une droite passant par celle-ci.

L'émission d'ondes radioélectriques produites par des balises au sol et réceptées par des appareils embarqués à bord des aéronefs.

Les aides radioélectriques sont classés en fonction de leur utilisation . Celle-ci détermine leur implantation et leur portée.

Il existe deux types d'aides-radio :
- Les aides-radio à l'**atterrissage**
- Les aides-radio à la **navigation**

6.3.2 - Les aides -radio à l'atterrissage :

Destinées à la navigation aux abords de l'aérodrome, et à l'alignement dans l'axe de la piste, elles sont implantées sur l'aérodrome, ou dans ses environs immédiats, de portée relativement réduite.

6.3.3 - Les aides-radio à la navigation :

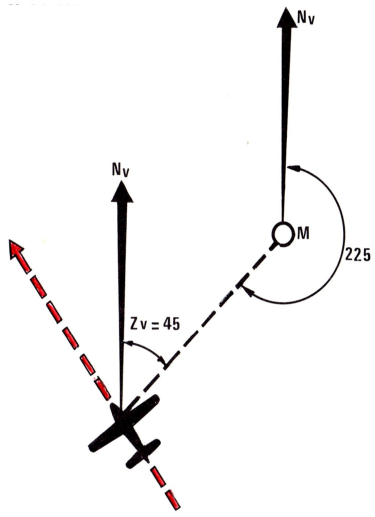
Ce sont pour leur presque totalité, les radio-balises qui jalonnent les voies aériennes, situées le plus souvent en des points remarquables des espaces contrôlés (airways, carrefour de régions de contrôle).

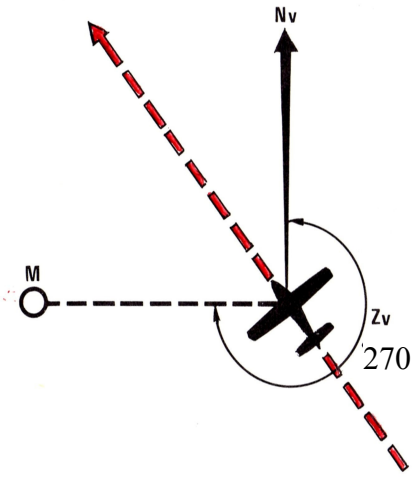
Leur portée est plus grande que les précédentes, puisque destinées à la navigation à grande distance.

6.3.4 - Le relèvement :

Considérons un repère M qui se situe dans l'alignement d'un autre point connu. On observe que la direction, dans laquelle ce repère est, fait un certain angle avec la direction du Nord. Cet angle est appelé " **relèvement** " (**Zv**).

Ce relèvement permet de déterminer un lieu de position. Supposons en effet que la direction de M fasse un angle de 45° avec le Nord, un observateur placé en M verrait l'avion sous un angle de 225° par rapport au Nord, soit 45° plus 180°. Le repère M étant identifié sur la carte,il suffit de tracer une droite ayant M pour origine et faisant avec la direction du Nord un angle de 225° pour obtenir la droite sur laquelle l'observateur verrait l'avion de ce point et par conséquent sur laquelle l'avion se trouve.



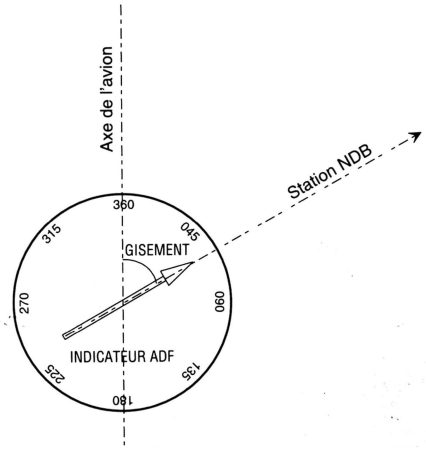


Se trouvant simultanément sur deux lignes de position distinctes, la position cherchée se trouve obligatoirement à leur intersection. En pratique ce cas se trouve réalisé :
- par les relèvements simultanés de l'avion eb cours d'émission par plusieurs stations fixes.
- Par le relèvement par l'avion de deux ou plusieurs stations fixes émettant simultanément.

Un relèvement peut-être " **vrai** " ou " **magnétique** " suivant qu'il est déterminé par rapport au Nord vrai (Nv) ou au Nord magnétique (Nm) et de la même manière par rapport au Nord compas (Nc). Un Zv se mesure par l'angle compté de 0 à 360° dans le sens des aiguilles d'une montre entre la direction du Nv et la direction du repère ou de la station.

6.3.5 - Le gisement :

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



La station émettrice est nommée NDB (Non Directionnal Beacon), émetteur dans la gamme MF (moyenne fréquence)

Les moyens de radionavigation sont des aides à la navigation estimée. Ils permettent de contrôler la navigation à l'estime et sont particulièrement appropriés en vol **VFR (Visual Flight Rules ou vol à vue).**

La radionavigation consiste pour le pilote à situer son avion par rapport à une balise ou station. Il travaillera en **QDM** ou **QDR** .

6.3.6 - L'axe station-avion :

L'axe station-avion étant défini, nous pouvons l'utiliser pour effectuer des navigations, ou des positionnements précis.

En effet, cet axe est indépendant du cap de l'avion.

C'est finalement une route, un tracé sol.

Cette route peut donc être orientée, et son angle avec le Nord pris comme référence déterminé.

a) <u>Référence Nv</u>

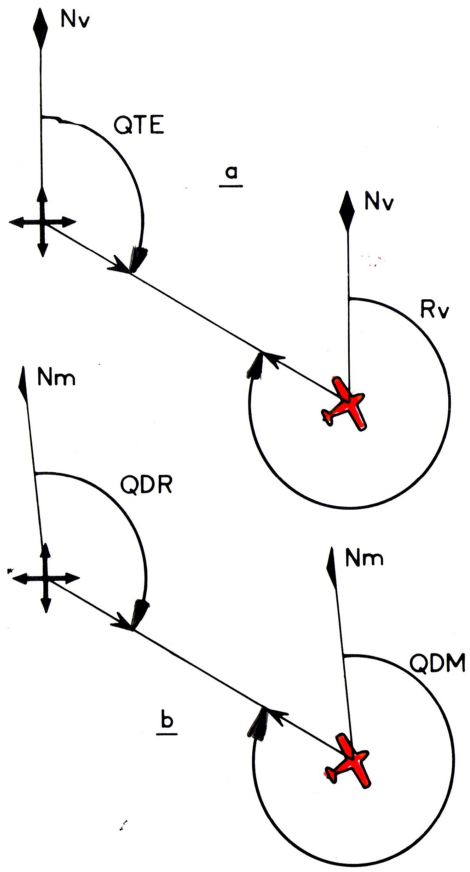
QTE : relèvement vrai de l'avion par la station
(droite orientée station ⟶ avion)

Rv : QTE ± 180°
(route orientée avion ⟶ station)

b) <u>Référence Nm</u>

QDR : relèvement magnétique de l'avion par la station
(droite orientée station ⟶ avion)

QDM : route magnétique pour aller vers la station
QDR ± 180° (route orientée avion ⟶ station)



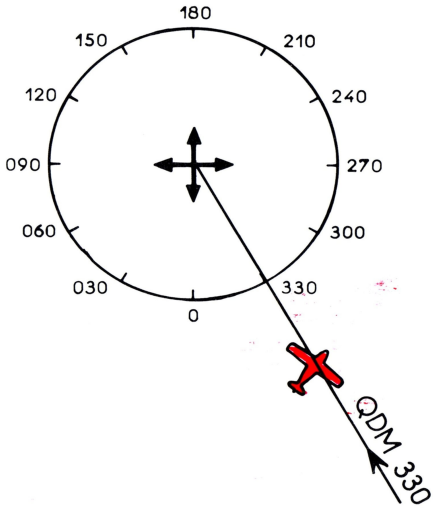
6.3.7 - L'orientation par rapport à la station :

6.3.7.1 - La rose des QDM :

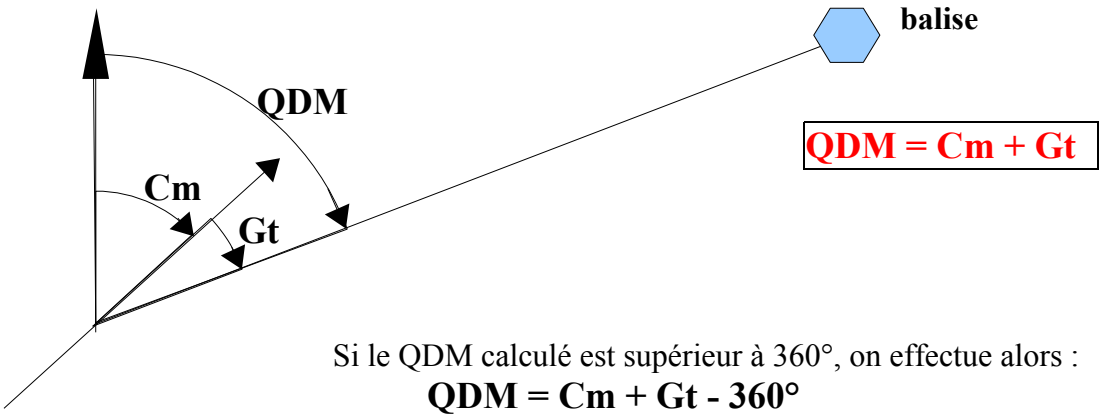
C'est notre rapporteur, mais pivoté d'environ 180°, de telle sorte que le 180 se trouve au Nm de la station .

Bien que la lecture de cette rose nous semble plus difficile, a priori, , puisque calée d'une manière inhabituelle, elle procède cependant d'une logique indiscutable puisque la lecture du QDM se fait sur l'axe même station-avion.

Ainsi recevant le QDM 330,nous saurons dire que nous sommes au sud-est de la station.



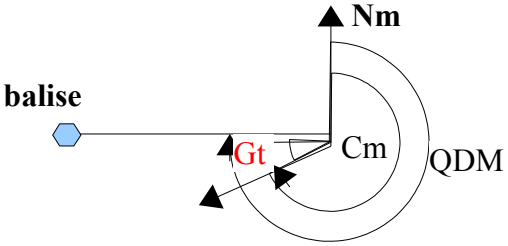
6.3.7.2 - Calcul du QDM :



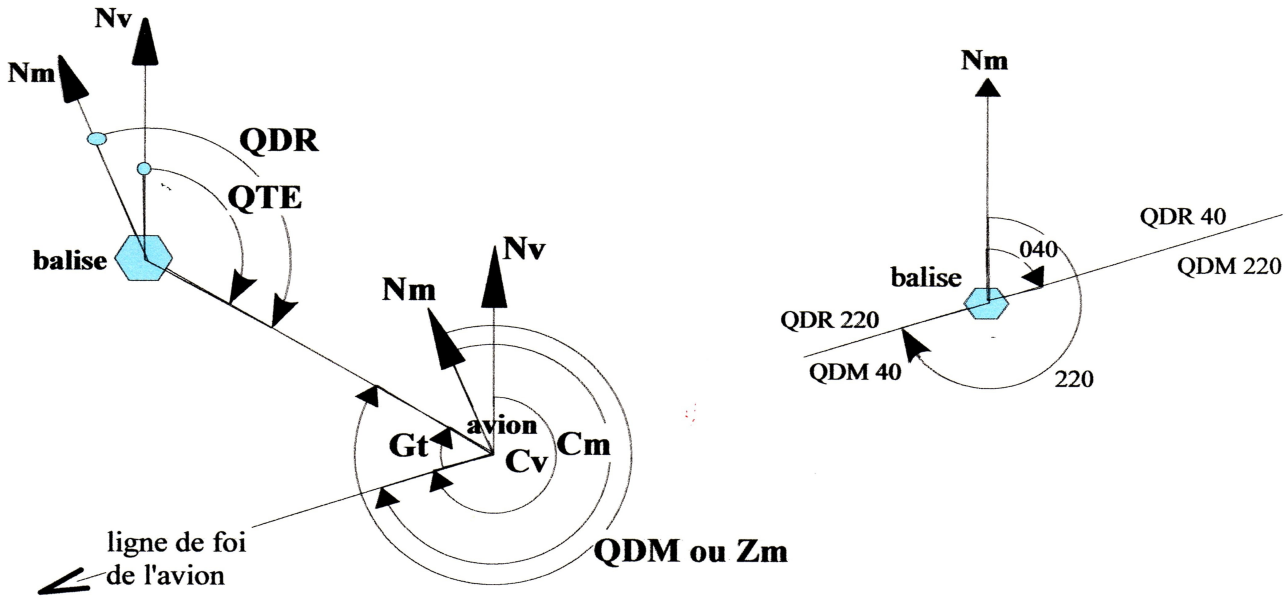
Si le QDM calculé est supérieur à 360°, on effectue alors :

QDM = Cm + Gt - 360°

Lecture directe du QDM :



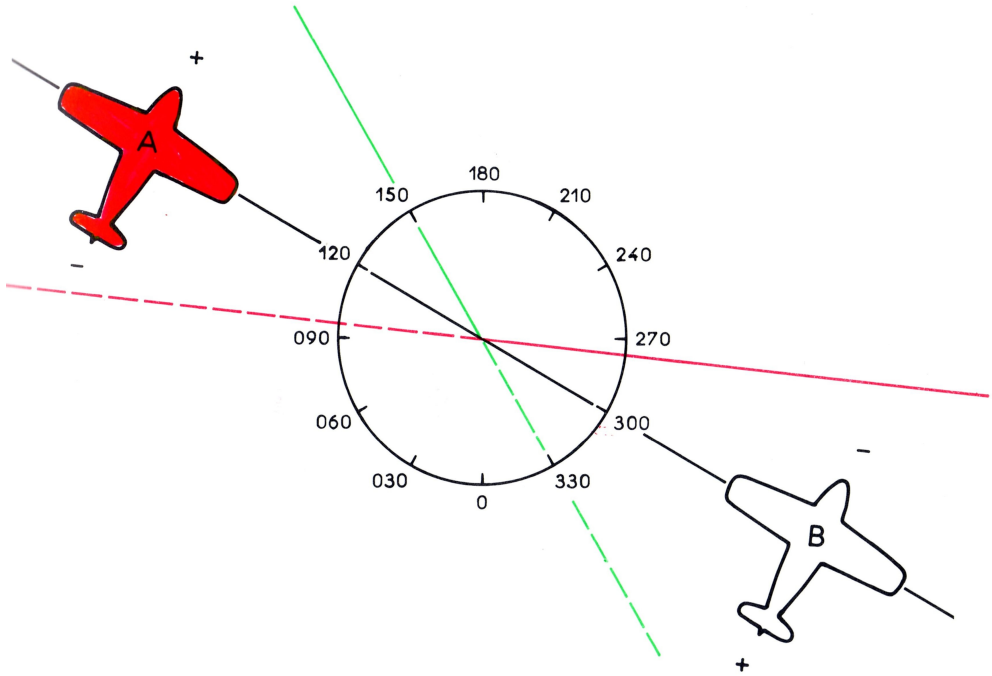
Récapitulons :



6.3.8 - La variation des QDM :

Les QDM , comme tous les angles en navigation, **augmentent dans le sens des aiguilles d'une montre** et diminuent par conséquent en sens inverse.

Nous constatons aussi que, lorsque nous laissons dans notre navigation la **station à droite**, nous nous déplaçons comme l'aiguille de la montre et les **QDM augmentent**, lorsque nous laissons la **station à gauche**, les **QDM diminuent**.



Le QDM matérialise une route avion-station qui peut-être évidemment être utilisée dans les deux sens : vers la station ou pour s'en éloigner.

Facile sans vent, le problème se complique lorsque le vent nous éloigne de notre QDM à suivre, sur lequel il faudra revenir et se maintenir, dérive corrigée.

NB : Il est évident que le sujet sur la RADIONAVIGATION n'est pas traité dans son intégralité. Il sera donc nécessaire, pour les intéressés éventuels de consulter un ouvrage plus détaillé.

7 – LES INSTRUMENTS DE NAVIGATION

7.1 - LE RADIO-COMPAS :

Le radio-compas mesure le **gisement** entre la ligne de foi de l'avion et la direction d'une radio balise.
Ses fréquences étant sensibles aux perturbations atmosphériques, l'utilisation de l'**ADF** et contre indiquée en présence d'un **cumulonimbus**, l'aiguille pouvant alors indiquer la direction de ce nuage.

ADF => **A**utomatic **D**irection **F**inder
La station émettrice est nommée **NDB** (Non Directionnal Beacon).

Pour éviter de faire le calcul du QDM ou du QDR,l'indicateur ADF est muni d'un bouton à gauche ressemblant à celui de l 'OBS (Omni Bearing Selector). Ce bouton permet de faire tourner la rose de l'indicateur. On peut ainsi afficher sur l'indicateur ADF le cap lu sur le conservateur de cap. L'aiguille de l'ADF donne alors directement des QDM.

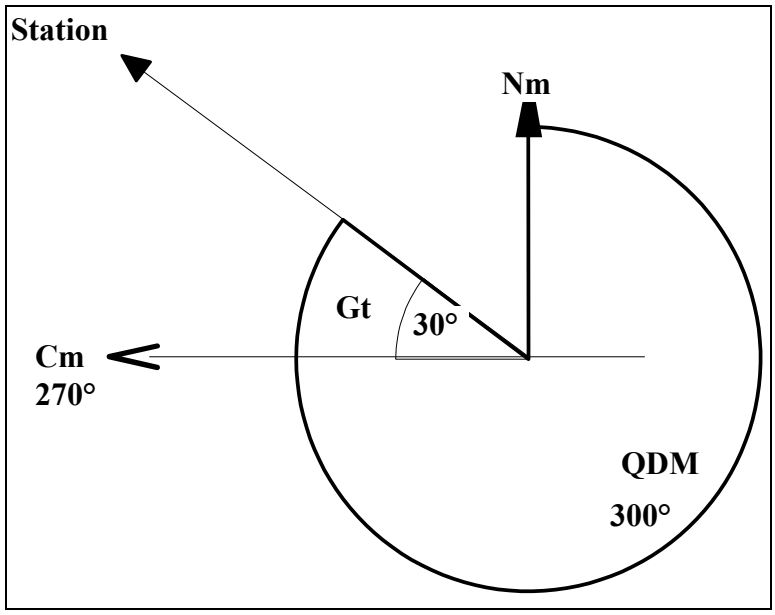
7.2.1 - Utilisation de l'ADF :

Le pilote sélectionne sur la carte une station NDB sur la route, il affiche sa fréquence, elle émet un indicatif morse et il suit une route telle que le gisement du NDB soit égal à zéro .

Exemple :

Un avion vole au cap magnétique (Cm) 270°.Il sélectionne une fréquence ADF et observe un gisement (Gt) de 30° à droite.

Le QDM ou cap pour rejoindre la station sera: QDM = 270° + 30° = 300°



7.2 - Le VOR : (Visual Omni Range)

Le VOR est un moyen de navigation parfois implanté sur un aérodrome, parfois implanté en campagne.. Son indicatif comporte 3 lettres et sa portée est optique (Réception à vue sans obstacle, plus l'avion est haut, meilleure est la réception).

L'émission VOR s'effectue dans la plage de fréquence VHF de 108 à 117,95 Mhz , et pour chaque émetteur, sur les cartes au 1/500000ème OACI et de radionavigation au 1/1000000ème sont indiqués :

- son emplacement
- son indicatif (en clair, transmis en morse)
- sa fréquence
- une rose orientée NORD Magnétique permettant la lecture directe d'un QDR.

La réception VOR utilise trois éléments : l'antenne généralement en forme de V, le boitier de commande comparable à un boitier radio (ne pas confondre, les fréquences ne sont pas les mêmes)

7.2.1 - Avantages et inconvénients :

Le VOR est une balise ; il peut donc servir une infinité de pilotes sans risques de saturation comme en radiotéléphonie, précision de l'information 2°.
Ses caractéristiques sont celles de émissions VHF, très peu sensibles aux éléments météorologiques.

La portée est optique, c'est donc un système de navigation à courte distance. Portée limitée à faible altitude. $portee(Nm) = 1,23 * \sqrt{hauteur(ft)}$ .ou : $portee(Km) = 4,1 * \sqrt{hauteur(m)}$.

7.2.2 - Le récepteur :

L'antenne de réception : de la forme d'un V horizontal, généralement fixée sur le fuselage de part et d'autre de la dérive

Le pilote affiche sur son boitier VOR la fréquence de la station choisie.

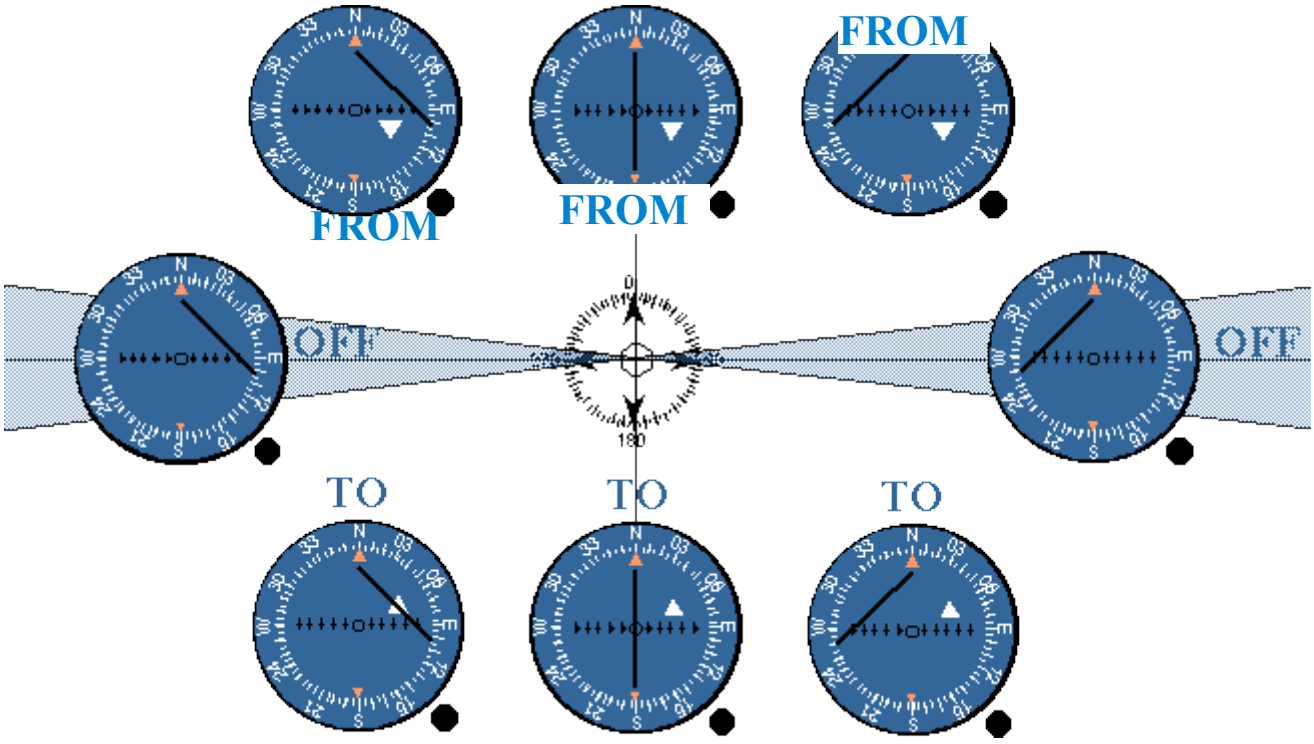
Sélectionne un QDM ou QDR (par la molette nommée OBS). Le récepteur indiquera au pilote si l'avion est aligné sur ce radial ou décalé à gauche ou à droite de ce même radial.

Une aiguille mobile qui représente la route, celle-ci peut varier de la gauche vers la droite (de -10° à +10° par rapport à l'orientation magnétique choisie).

Un voyant **TO** et un voyant **FROM** (**FR**), indiquant l'orientation de la route affichée par rapport à la station, soit :

- **TO** = vers la station = QDM
- **FROM** = venant de = QDR
- **OFF** = hors service = signal de non fonctionnement ou d'impossibilité de l'appareil à donner l'information (cône de silence)

7.2.3 - Interprétation du VOR :

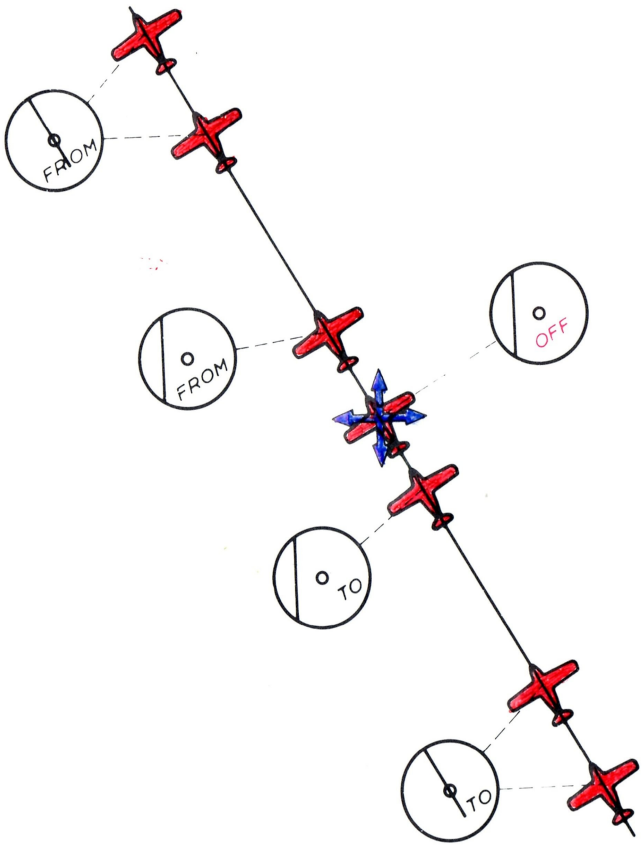


7.2.4 - La navigation sur l'axe :

7.2.4.1 - Sans vent :

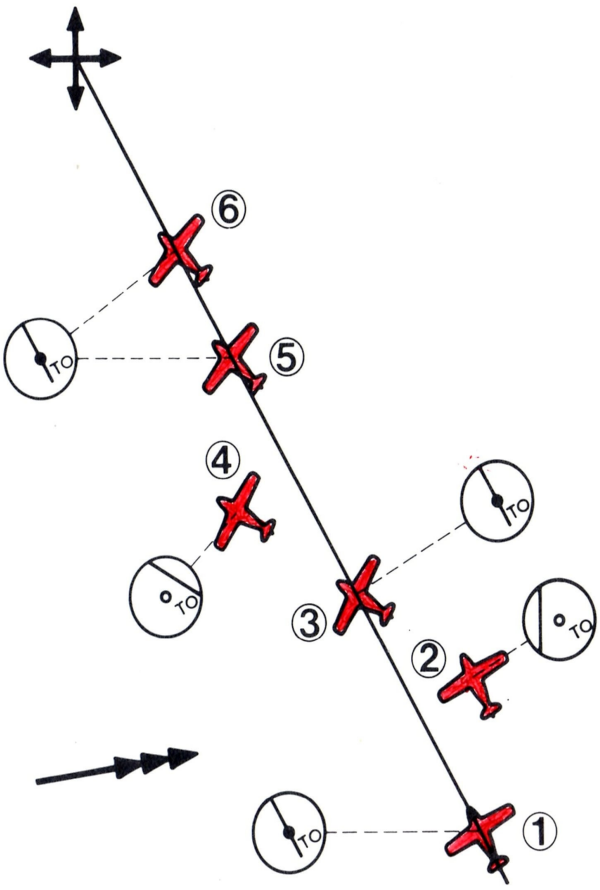
Ayant déterminé le QDM sur lequel nous sommes (aiguille au milieu – **TO**) , nous prenons le cap du QDM.
Nous vérifions que notre conservateur de cap est bien calé sur le compas magnétique et le recalons si besoin est.

Gardant notre cap, nous resterons sur l'axe et l'aiguille se maintiendra au milieu.
Lorsque nous arriverons aux environs immédiats de la station (1' à 30") l'aiguille basculera lentement pour aller en butée latérale (droite ou gauche).
Il ne *faut surtout pas chercher à la ramener au milieu* d quelque façon que se soit (changement de cap ou action sur l'OBS).
Cela signifie simplement que nous entrons dans le cône de silence, nous gardons donc nôtre cap.
Lorsque nous arrivons à la verticale absolue, il n'y a plus de route du tout : le voyant **OFF** apparaît.Dés la verticale franchie le **OFF** disparaît, faisant place au **FROM.**
La brève apparition du **OFF** verticale station, permettra un chronométrage précis de l'éloignement station arrière



7.2.4.2 - Avec vent : station avant :

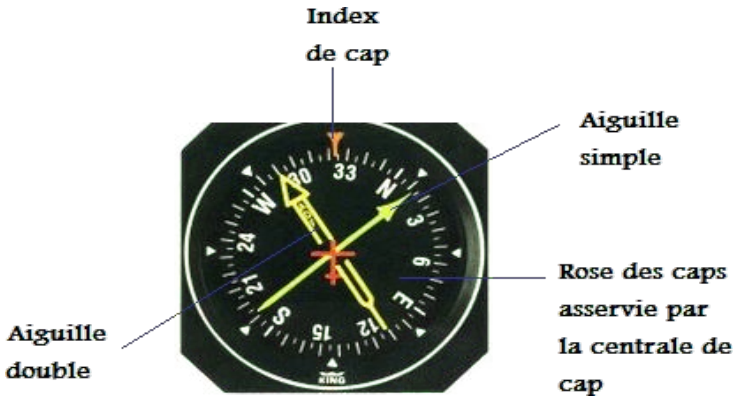
(**1**) suivant le cap, nous allons dériver.
(**2**) L'aiguille à gauche, nous indique le côté ou se trouve l'axe et, en même temps le côté du vent et de la correction. Nous allons revenir sur l'axe par une altération de cap de 30°.
(**3**) Revenu sur l'axe, nous effectuons la recherche de la dérive par tâtonnements.
(**4**) L'aiguille est passée à droite ; notre correction est trop forte. Nous laissons le vent nous ramener sur l'axe en affichant le cap du QDM.
(**5**) et (**6**) Nous avons moyenné la correction. L'aiguille reste au milieu : la dérive est corrigée.
La différence, entre la route affichée au VOR et notre Cm nous donne la dérive (X).



7.3 - Le RMI (Radio Magnetic Indicator)

Le **RMI** est un **ADF sophistiqué**. Il est constitué d'un conservateur de cap (généralement recalé en permanence par une centrale de cap) et d'une information VOR et/ou ADF. On peut y lire directement le **cap**, le **QDM**, le **QDR** (indiqué par la queue de l'aiguille) et le **gisement**.

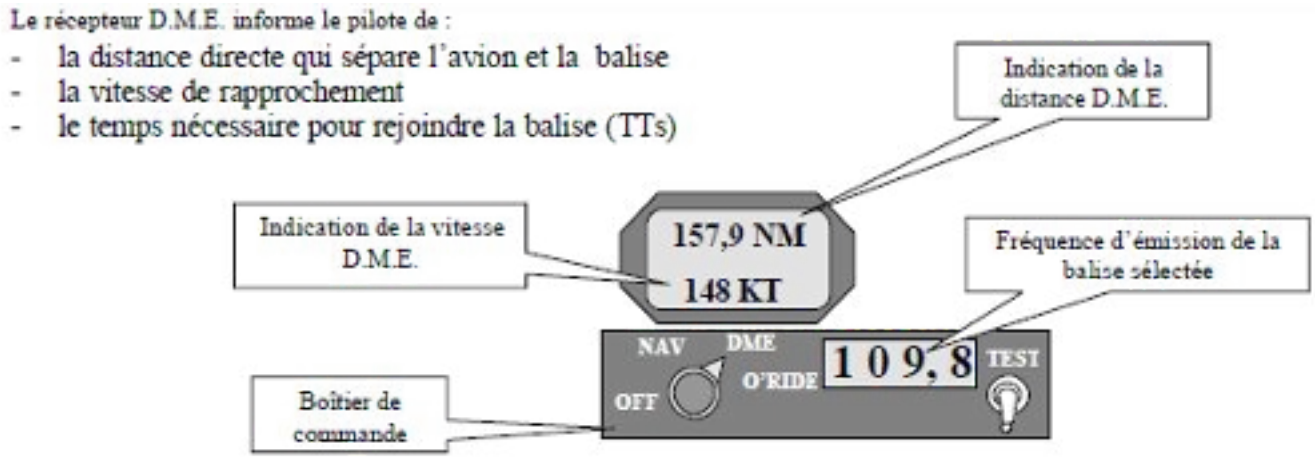
Le principe de fonctionnement est le même que celui de l'ADF. La centrale de cap, par l'intermédiaire d'un moteur électrique, fait tourner une rose mobile afin que soit positionnée sous l'index de l'instrument la valeur du cap magnétique réel (car recalé en permanence).



Concernant les avantages et les inconvénients du RMI , ceux-ci se retrouveront dans le même registre que l'ADF, soit :

- Par temps orageux, l'aiguille du radiocompas peut très bien indiquer la direction d'un cumulo-nimbus au lieu d'indiquer la balise .
- de nuit, l'indication du radiocompas peut être douteuse, dans ce cas, ne pas hésiter à couper le récepteur.
- La précision du radiocompas est de l'ordre de 5°.
- Si la centrale de cap est en panne :
    - Le Cm (cap magnétique) est faux
    - Le QDM (QDR) est faux
    - Le gisement est bon quelque soit le cap (l'information de gisement est indépendante de l'information de Cm)

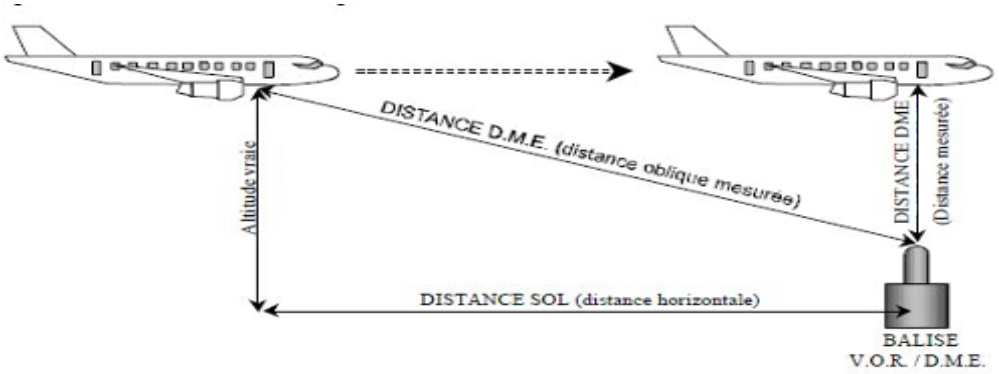
7.4 - Le DME (Distance Mesuaring Equipement)



C'est un appareil qui permet à tout moment de connaître la distance de l'avion par rapport à la station sol choisie.

Le principe repose sur un émetteur de bord, qui envoie des impulsions d'interrogation à la station sol. La station sol retransmets ces impulsions avec un retard de 50 micro-secondes. Le récepteur calcule le retard ou la distance.

Un VOR et un DME co-implantés représentent un ensemble de radionavigation très précis et opérationnel.



7.5 - Le FMS (Flight Management System)

Le système de gestion de vol ou FMS est l'instrument de bord qui constitue aujourd'hui la principale aide au pilotage d'un aéronef. En effet, ce système informatique détermine à partir du plan de vol tous les éléments utiles au pilote.

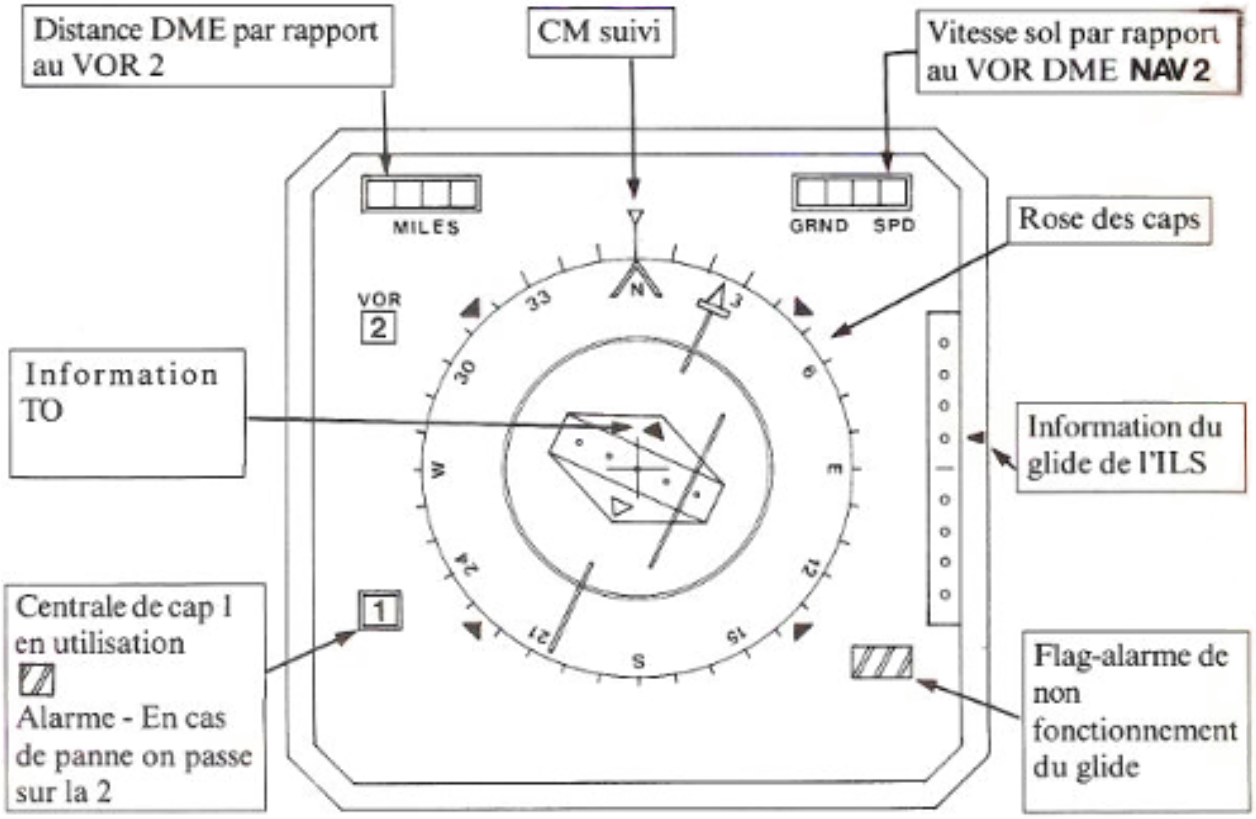
Grâce à une base de données, il indique les routes aériennes à suivre, les heures de passage en différents points, les estimations de consommation de carburant, la procédure d'approche à suivre selon l'aéroport de destination. Il notifie également à tout moment la position de l'avion et l'emplacement des balises de radionavigation. Tous ces renseignements sont présentés sur l'écran de navigation ou « Navigation Display » (ND) figurant sur le tableau de bord de l'appareil.
Pouvant être relié au pilote automatique, le FMS a marqué une étape importante vers l'automatisation complète des vols. le FMS équipe désormais de petits avions de tourisme comme le Cessna 172.

7.6 - Le HSI (Horizontal Situation Indicator)

Le HSI (indicateur de situation horizontale) fait partie des systèmes intégrés. En effet, il rassemble un maximum d'informations sur un même instrument, permettant ainsi de réduire la charge de travail du pilote qui connaît ainsi tous les paramètres de sa navigation d'un seul regard.

Le **HSI** fournit au pilote les informations suivantes :

- une référence de cap
- une indication d'écart latéral par rapport à un radial ou à l'axe d'un localizer
- une indication d'écart, dans le plan vertical, par rapport à un plan de descente (glide)
- une distance DME
- une vitesse sol (Vs)
- la dérive (X)



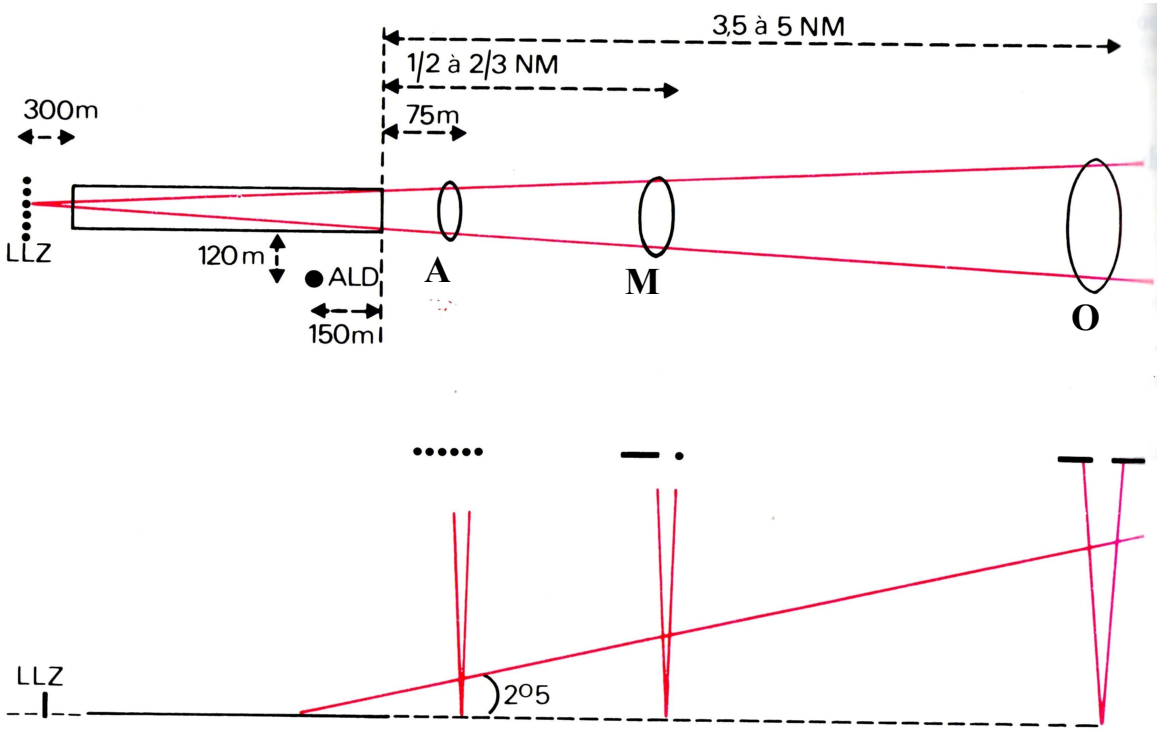
Le grand intérêt du HSI utilisé avec le VOR est que l'aiguille est toujours directionnelle.

7.7 - L' ILS (Instrument Landing System)

L'**ILS** ou « système d'atterrissage aux instruments » est un système de radionavigation qui permet l'atterrissage d'un avion d'une manière automatique. Il est utilisé en particulier lorsque les conditions de visibilité sont médiocres. Ce système est constitué d'émetteurs situés au sol émettant deux faisceaux radioélectriques permettant de matérialiser l'axe de la piste et un plan de descente (en général le plan à 5%) et d'un récepteur situé à bord de l'avion.

Les signaux émis à partir du sol renseignent le pilote sur sa position :

- par rapport à l'axe de la piste (plan vertical idéal) appelé « **localizer** »
- et par rapport à l'axe vertical de descente, le « **glide path** ».



7.7.1 - Les radiobornes (markers) :

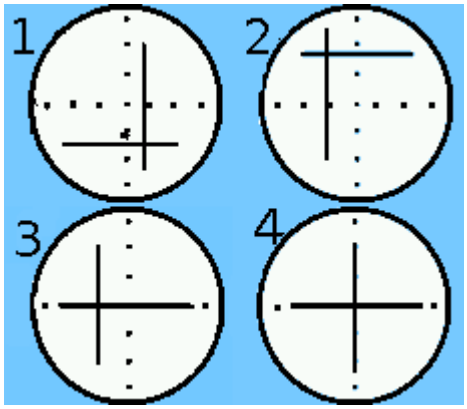
Les markers sont des **balises radioélectriques** qui émettent un faisceau (signal vertical) très étroit. Ils constituent une **aide à la navigation** (petite et moyenne distance). Ils sont généralement placés sur l'axe d'approche finale, toutefois certains servent comme points de report en route (fan markers). Ils fonctionnent dans la gamme VHF 75 Mhz.Ces balises fournissent une information discontinue de distance par rapport au seuil de piste. (la carte d'approche aux instruments indique leur distance au seuil de la piste).

O Outer MARKER -- 2 traits/seconde, allume un voyant bleu sur le tableau de bord (balise extérieure) ;

- **M** Middle MARKER -. 1 trait 1 point/seconde, allume un voyant ambre (balise médiane)
- **A** Inner MARKER ..... 6 points/seconde, allume un voyant blanc (balise intérieure).

en (1): trop haut, et un peu trop à gauche;
en (2): trop bas, et trop à droite;
en (3): trop à droite, mais bon pour la pente;
en (4): bon.

Il suffit de suivre la flèche, ou, plus précisément, de maintenir la croix au centre du cadran de l'ILS.



7.7.2 - Catégories d'ILS

Catégorie I (CAT I) : une approche et un atterrissage de précision aux instruments avec une hauteur de décision non inférieure à 200 pieds (61 m) et avec soit une visibilité d'au moins 800 mètres (2625 pieds) ou d'une portée visuelle de piste supérieure à 550 mètres (1804 pieds).

Catégorie II (CAT II) : une approche et un atterrissage de précision aux instruments avec une hauteur de décision inférieure à 200 pieds (61 m) , la portée n'étant pas inférieure à 100 pieds (30 m), et d'une portée visuelle de piste d'au moins 300 mètres (984 pieds) pour les aéronefs de catégorie A, B, C et pas moins de 350 mètres (1,148 pieds) pour les aéronefs de catégorie D.

Catégorie III (CAT III) :

- **Catégorie III A** - Une approche de précision aux instruments avec :
  - une hauteur de décision inférieure à 100 pieds (30 m) au-dessus de l'élévation de zone de toucher des roues, ou sans hauteur de décision ;
  - une portée visuelle de piste d'au moins 200 mètres (656 pieds).
- **Catégorie III B** - Une approche de précision aux instruments avec :
  - une hauteur de décision inférieure à 50 pieds (15 m) au-dessus de l'élévation de zone de toucher des roues, ou sans hauteur de décision ;
  - une portée visuelle de piste inférieure à 200 mètres (656 pieds), au moins égale à 75 mètres (246 pieds).
- **Catégorie III C** - une approche et un atterrissage de précision aux instruments sans hauteur de décision et aucune limitation de la portée visuelle de piste. Une Catégorie III C est capable d'utiliser le pilote automatique d'un avion pour le faire et peut aussi servir de guide le long de la surface de la piste.

Dans chaque cas un aéronef dûment équipé et un équipage qualifié sont obligatoires.

7.8 - LE GPS (Global Position System)

Le GPS ou « Global Positioning System » est un système de positionnement par satellites qui couvre désormais toute la planète. En matière de navigation aérienne, il fournit au pilote de nombreuses indications dont sa position en latitude, longitude et altitude, sa Vp et par rapport au sol, la vitesse du vent ou encore la route à suivre pour parvenir à destination.

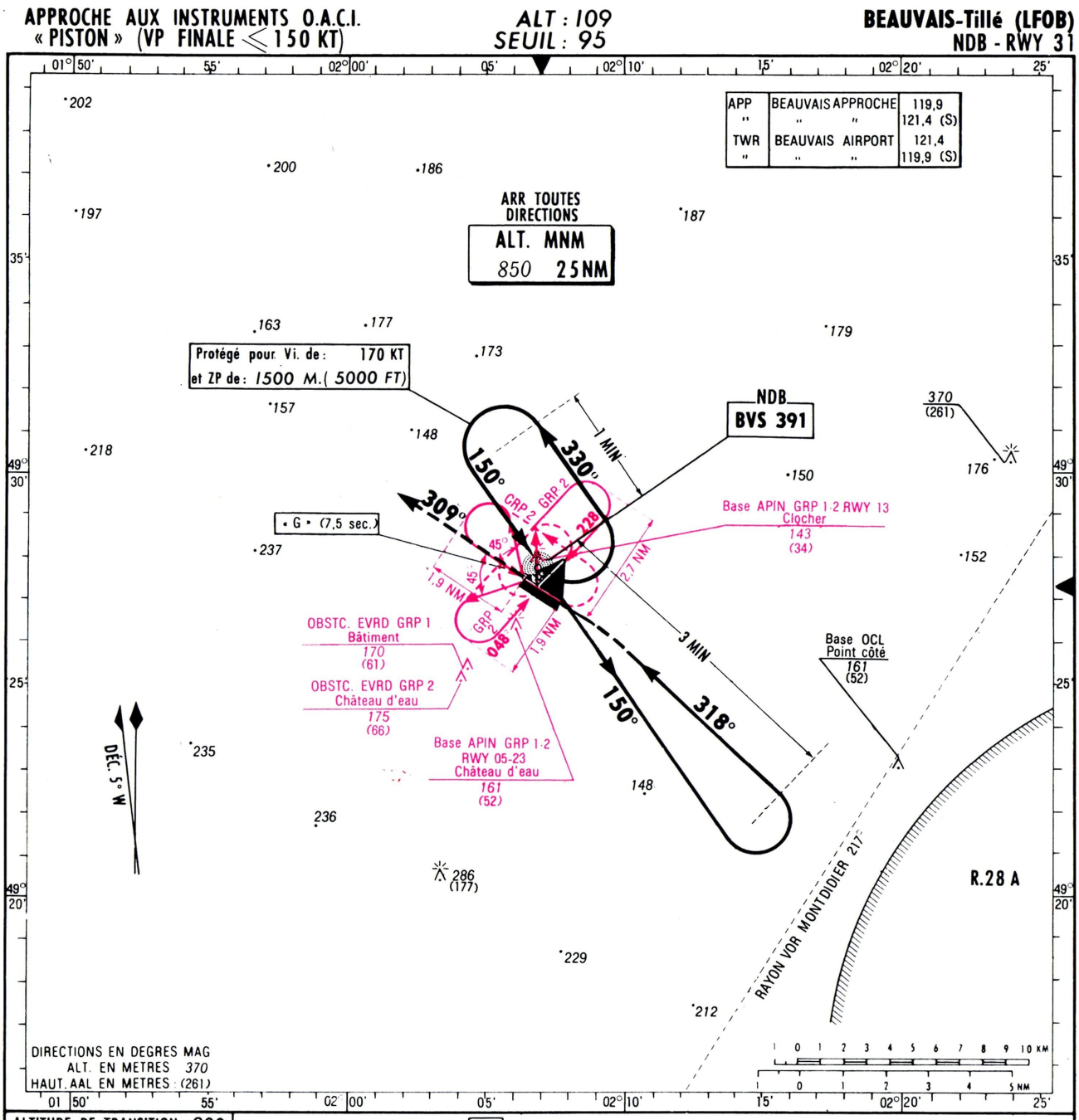
Quatre satellites sont nécessaires pour calculer 1 position en 3 dimensions (latitude, longitude, altitude) avec précision :

la route à suivre

- la vitesse sol, la vitesse propre, le vent à l'altitude considérée
- la distance le séparant du way-point considéré
- l'heure d'arrivée au way-point considéré
- d'autres renseignements en fonction des options choisies (écart de route par exemple)

Le GPS ne peut pas se substituer aux équipements de radionavigation requis par la réglementation. Il ne peut pas être utilisé comme moyen de navigation.

Pour information, carte d'approche aux instruments



ATTENTION : Minimums classiques ci-dessous à multiplier au moins par 1,6 pour exploitants non titulaires autorisation délivrée par autorités compétentes.

MINIMUMS OPÉRATIONNELS LES PLUS BAS ADMISSIBLES : APCH CLASSIQUE — DÉCO (CLASSIQUE)

GRP ACFT	NDB OCL : 142		OCL :		OCL :		OCL :				APIN ✳ RWY 13		APIN ✳ RWY 05/23		APIN		EVRD		VV	Balisage lumineux axial	
	HC	VH	HC	VH	HC	VH	HC	VH			HC	VH	HC	VH	HC	VH	HC	VH	APCH = 2/3 de HC	avec VH	sans VH
1	145	900									155	1900	175	2000			185	2000	EVRD = HC		200
2	145	1400									155	2400	175	2700			190	3000			300
3																					

Observations : ✳ HJ seulement

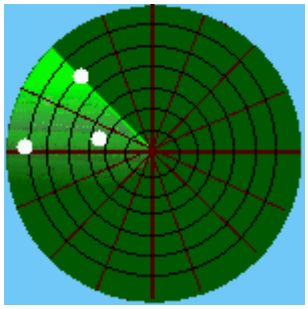
VP	KT	KT	KT	KT	KT		
TEMPS /SEUIL (NM)	MIN SEC	MIN SEC	MIN SEC	MIN SEC	MIN SEC	MIN SEC	MIN SEC
TEMPS OM/MM (NM)	MIN SEC	MIN SEC	MIN SEC	MIN SEC	MIN SEC	MIN SEC	MIN SEC

CORRECTIONS : Nouvelle présentation des minimums

23 AOUT 1973 — SERVICE DE L'INFORMATION AÉRONAUTIQUE - FRANCE — BEAUVAIS-Tillé 23 C-2

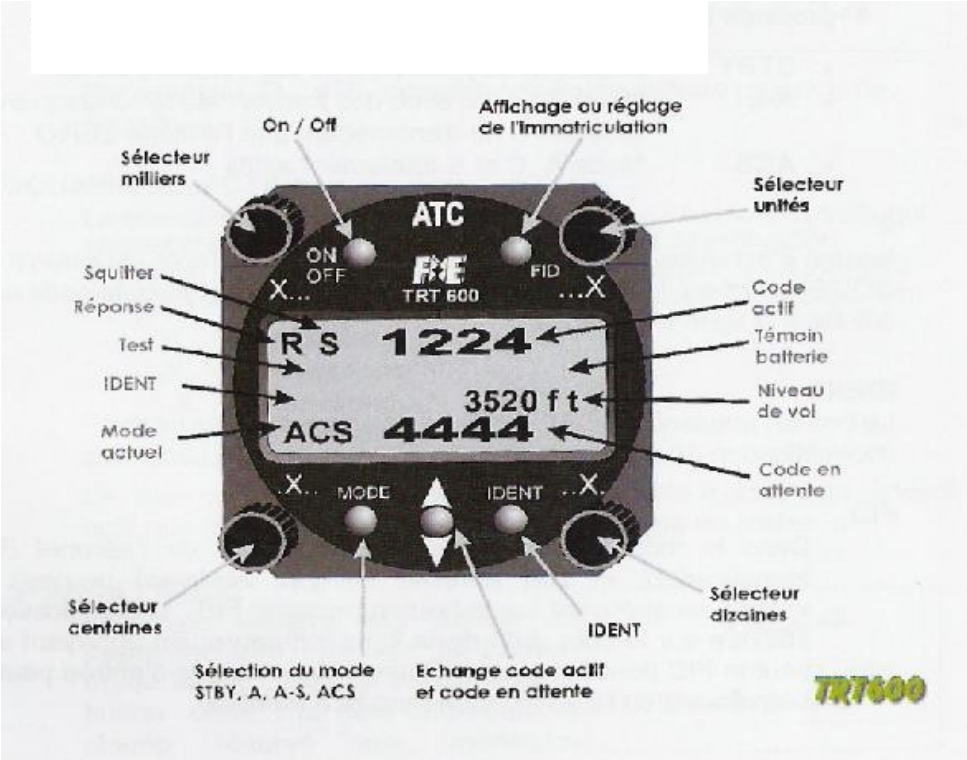
7.9 - Le TRANSPONDEUR

Il s'agit d'un émetteur-récepteur (transmetteur / répondeur) placé à bord de l'avion, et qui répond à une "question" posée par un radar secondaire de surveillance (SSR: Secondary Surveillance Radar) dirigé par le contrôleur.



Grâce au transpondeur, l'identification de l'avion peut se faire par un code préalablement convenu entre le pilote et le contrôleur.
En liaison avec l'altimètre, le transpondeur communique aussi l'altitude de l'avion.
Le contrôleur dispose ainsi d'informations sur l'identité, et l'altitude des avions que son radar primaire lui montre en 2D.

Mode A ► identification aéronef
Mode C ► + altitude pression aéronef
Mode S ► + immatriculation, N° de vol et altitude de vol sélectionnée par le pilote
Utilisation en cas de difficultés: 75000 en cas de déroutement / 76000 en cas de panne radio
77000 en cas de détresse

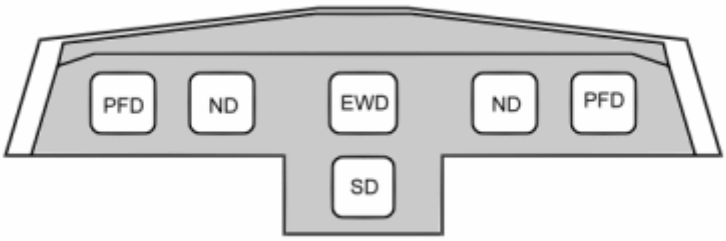


7.10 - EFIS : la nouvelle génération des instruments de bord

7.10.1 - Les **EFIS** (***E**lectronic **F**light **I**nformation **S**ystems*) désignent les nouveaux systèmes de présentation des instruments de bord sur écrans. Les premières générations d'EFIS faisaient appel à des tubes cathodiques, remplacés aujourd'hui peu à peu par les écrans à cristaux liquides qui seront vraisemblablement supplantés à leur tour prochainement par les nouvelles générations type plasma.

Sur les EFIS sont regroupées les informations auparavant disponibles sur les instruments dits "classiques" tels que l'altimètre, le variomètre, le badin, les paramètres moteurs, les paramètres des circuits, l'horizon artificiel etc… Ce type de représentation permet d'éviter la multiplication des cadrans de toutes sortes, mécanismes électromécaniques complexes et fragiles et de regrouper toutes les informations d'une façon nettement plus ergonomique. De plus, un même écran pouvant accueillir des informations différentes alternativement, un gain de place majeur est réalisé sur la planche de bord. L'adjonction facile de représentations colorées aux teintes variables et la possibilité d'introduire des éléments dynamiques enrichissent encore l'affichage.

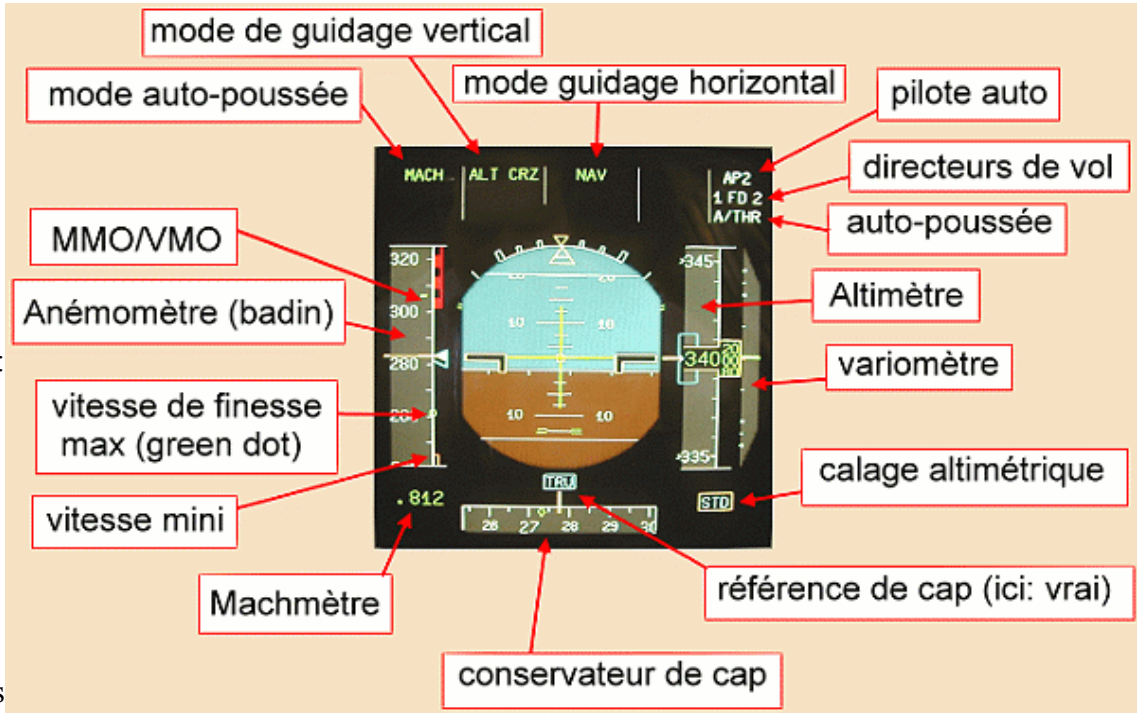
Traditionnellement, l'architecture des EFIS est bâtie autour de 4 écrans dont 2 sont doublés afin de fournir les informations principales de la même façon aux deux pilotes.



7.10.2 - Le PFD (Primary Flight Display).

Chaque pilote dispose d'un PFD devant lui. Sur cet écran sont regroupés tous les paramètres primaires du vol dont l'horizon artificiel, l'altimètre, variomètre, conservateur de cap, Machmètre ainsi que les informations d'engagement ou d'armement des automatismes et des directeurs de vol. D'autres informations peuvent se greffer temporairement sur le PFD telles que l'ILS.

- **pilote auto:** N°2 engagé
- **directeurs de vol:** N° 1 et 2 engagés
- **auto-poussée**: engagée
- **altitude:** FL 340
- **vario**: 0 ft/mn
- **calage alti**: standard (1013,25)
- **référence de cap**: vraie
- **cap vrai**: 278°
- **route vraie:** 273°(petit losange vert)
- **Mach**: 0,812
- **vls:** 243 kts (indiqués)
- **green dot:** 261 kts (indiqués)



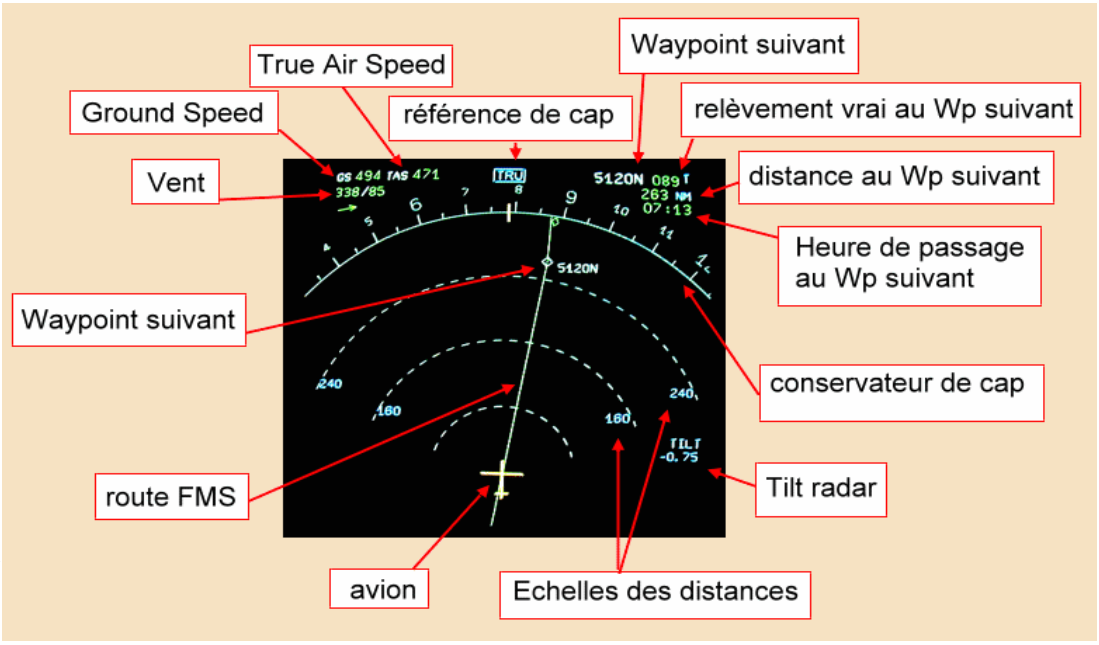
- **MMO/VMO**: M 0,86/301 kts (indiqués)
- **auto-poussée**: mode tenue de vitesse(Mach)
- **guidage vertical**: mode de tenue d'altitude (de croisière)
- **mode horizontal**: suivi de la route FMS (Nav)

7.10.3 - Le ND (Nav Display)

Comme le PFD, il en existe un pour chaque pilote. Sur cet écran sont affichés les paramètres de navigation, soit de façon classique en reproduisant un instrument tel que le VOR ou l'ILS soit par le biais d'une carte, dessinée et représentant non seulement l'avion mais également sa route et la position de repères de navigation significatif alentour selon le choix de l'équipage. Cette représentation carte est un des progrès les plus essentiels des EFIS .

Les choix du type de représentation du ND et les échelles des cartes affichées sont du ressort de chaque pilote et se font par des sélecteurs disposés soit sur le pylône central (B 737) soit sur le auvent (Airbus).

- **Vent:**338°/85kts
- **Ground Speed**: 494 kts
- **True Air Speed:** 471kts
- **Référence de cap:** vraie
- **Wp suivant:** 5120N 51°Nord/020°West)
- **relèvement au Wp suivant:** 089° vrai
- **Distance au Wp suivant:** 263 NM
- **Heure de passage au WP suivant:** 07h13 TU
- **Tilt radar**: -0,75°



7.10.4 - Les ECAM : (*Electronic Centralized Aircraft Monitoring*)

Les écrans uniques habituellement situés au milieu du tableau de bord. Ils se regroupent sous le nom d'**ECAM**

Celui du haut est l'**EWD** (***E**ngine/**W**arning **D**isplay*) sur lequel on trouve les paramètres moteurs essentiels ainsi que l'affichage des pannes et des check-list urgences secours. L'EWD n'a qu'une image disponible à l'affichage.

Sous l'EWD, se trouve le **SD** (***S**ystème **D**isplay*) sur lequel vont s'afficher la représentation des circuits principaux de l'avion. Par exemple sur le 340: ENG, BLEED, PRESS, ELEC AC, ELEC DC, HYD, CB, APU, COND, DOOR, WHEEL, FCTL, FUEL. Examinons les un par un.

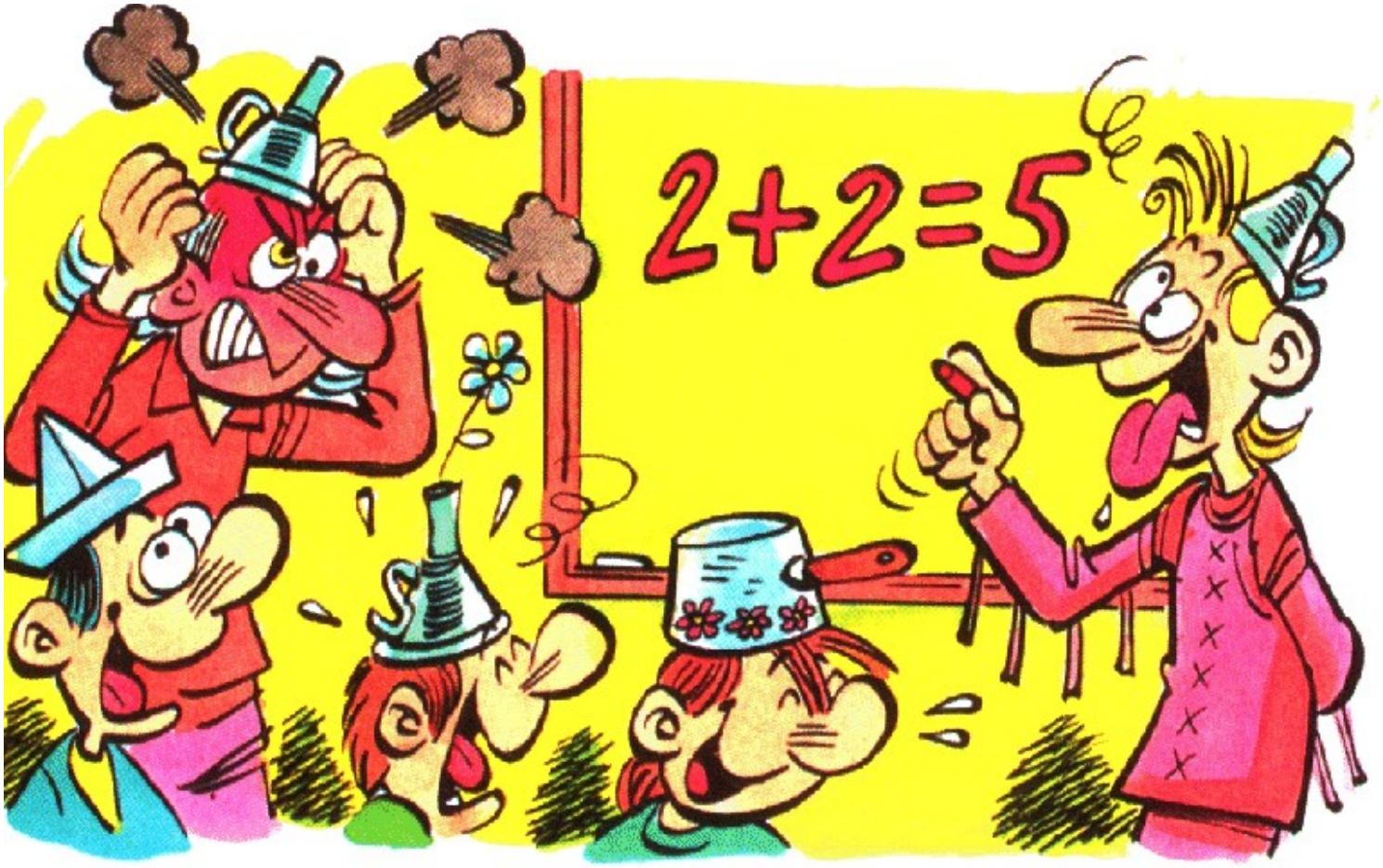
ENG: paramètres moteurs détaillés (en complément de l'ECAM)

- **BLEED**: état des vannes de prélèvement, circuit air chaud et paramètres des Packs
- **PRESS**: pressurisation: (Système actif, alti cabine, vario cabine, deltaP, position des OFV.
- **ELEC AC**: Circuit électrique alternatif avec les alternateur, les barres bus AC
- **ELEC DC**: circuit électrique continu avec les batteries, les transfos-redresseurs les barres bus DC.
- **HYD**: circuits hydrauliques avec pression, quantités, pompes.
- **C/B**: brakers/disjoncteurs tirés ou déclenchés.
- **APU:** paramètres de l'APU (régime, électrique, prélèvement)
- **COND**: conditionnement d'air avec température dans chaque cabine, position des vannes de mélange, etc…
- **DOOR**: état des portes et toboggans
- **WHEEL**: état du train (position du train et des trappes, pression des roues, température des freins).
- **FCTL**: commandes de vol: état des calculateurs et position de chaque gouverne et état de chaque vérins.
- **FUEL**: Circuit carburant: quantités, température, vannes, pompes.

Tableau de bord A380

Chaque circuit peut être à l'affichage selon la demande des pilotes, ou de façon automatique. En cas de panne, l'alarme s'affiche sur l'écran supérieur avec sa nature exacte et la check-list correspondante. Sur le SD le circuit incriminé s'affiche avec l'élément en défaut. Au fur et à mesure que l'équipage effectue les actions demandées par la check-list affichée, les items accomplis s'effacent de l'écran.

ÉLÉMENTS DE CALCUL MENTAL



Introduction

Son but est de faciliter la tâche du pilote pour lui éviter de lâcher les commandes en manipulant une calculatrice.
En vol il ne doit pas perturber mais permettre les calculs de temps, consommation, trajectoires en plan, site, dérive etc....
Il est approximatif mais cette approximation reste compatible avec les résultats recherchés, compte-tenu des imprécisions qui caractérisent les données.

1. Relation vitesse / temps / distance

Le facteur de base (**Fb ou Basic factor**) est le temps exprimé en minutes pour parcourir l'unité de distance utilisée dans la vitesse .En avion, la vitesse étant exprimée en kt, les distances en nautiques, **Fb** représente le temps en minutes pour parcourir 1Nm.

En fonction de la vitesse propre, on a :

Fb = 60 / Vp

2. Relation vitesse / temps / distance

L'inverse inverse du facteur de base 1 / Fb est la distance en Nm parcourue en 1 minute pour un avion dont la Vp est 120 kt on a :

Fb => 60 / 120 = 0,5 soit 30" par Nm
1 /Fb => 120 / 60 = 2 soit 2 Nm/min

3. Relation vitesse / temps / distance

Il est intéressant de retrouver rapidement les Fb courants et leurs inverses 1/Fb ou VP/min :

80kt	**$F_b = 3/4$**	***$1/F_b = 4/3$***	4/3 Nm/min
90kt	**$F_b = 2/3$**	***$1/F_b = 3/2$***	1,5 Nm/min
100kt	**$F_b = 0,6$**	***$1/F_b = 1,7$***	1,7 Nm/min
120kt	**$F_b = 1/2$**	***$1/F_b = 2$***	2 Nm/min
150kt	**$F_b = 0,4$**	***$1/F_b = 2,5$***	*2,5 Nm/min*
180kt	**$F_b = 1/3$**	***$1/F_b = 3$***	*3 Nm/min*

4. Relation vitesse / temps / distance

Cela permet de faire rapidement le calcul du temps sans vent (Tsv) sur un parcours donné en appliquant la formule:

T (min) = D . Fb

Nb: *La vitesse prise en considération est la vitesse propre de l'avion calculée à partir de la vitesse indiquée (Vi) et qui ne tient pas compte du vent.*

5.Calcul de la vitesse propre

Les anémomètres sont calibrés en fonction des critères de l'atmosphère type.
La vitesse indiquée n'est pas représentative de la vitesse par rapport à la masse d'air , Il faudra apporter 2 corrections à cette Vi :

1. Une correction de densité
2. Une correction de température

Correction de densité: Vp = Vi + 1% (par 600') 1
Correction de température: Vp = Vi +/- 1% (par 5° Δ) 2

(1) d'altitude pression
(2) par rapport à la T° de l'Atmosphère type

6.Exemple de calcul de la vitesse propre

Vous volez au FL 65, votre Vi est de 100 kt et la température extérieure est de 22°C. Quelle est votre Vp ?

Correction de densité: **+ 11%** (11 x 600')

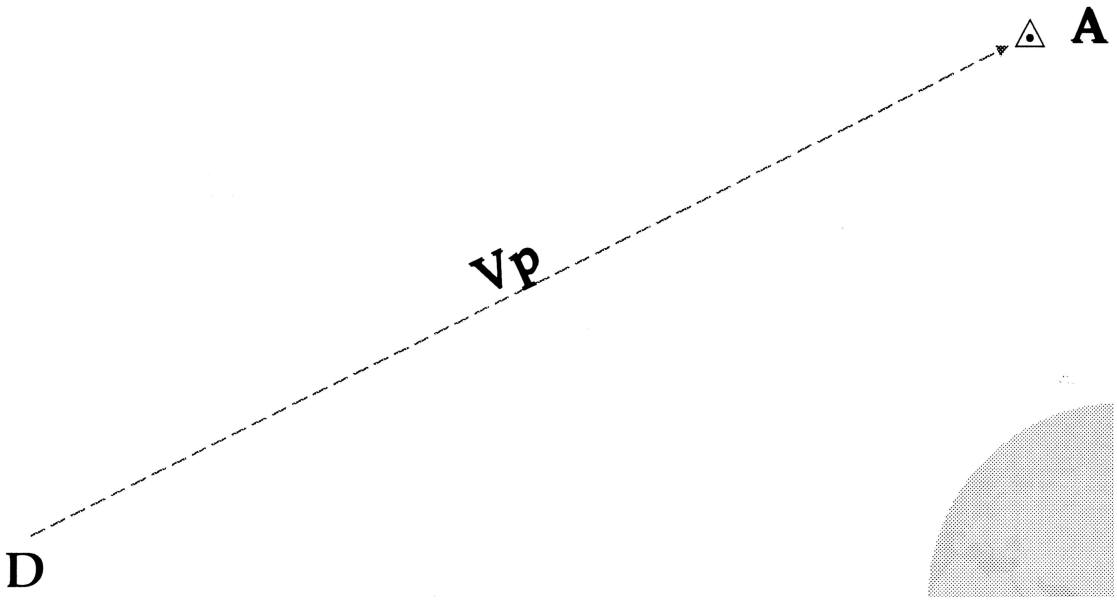
Correction de température: *à 6500 pieds la T° ext devrait être de +2°, je suis en ISA + 20°,* **j'ajoute 4%** (20° / 5° = 4)

Cela fait une correction totale de + 15%.

Ma vitesse propre Vp est de 100 + 15 = 115 kt

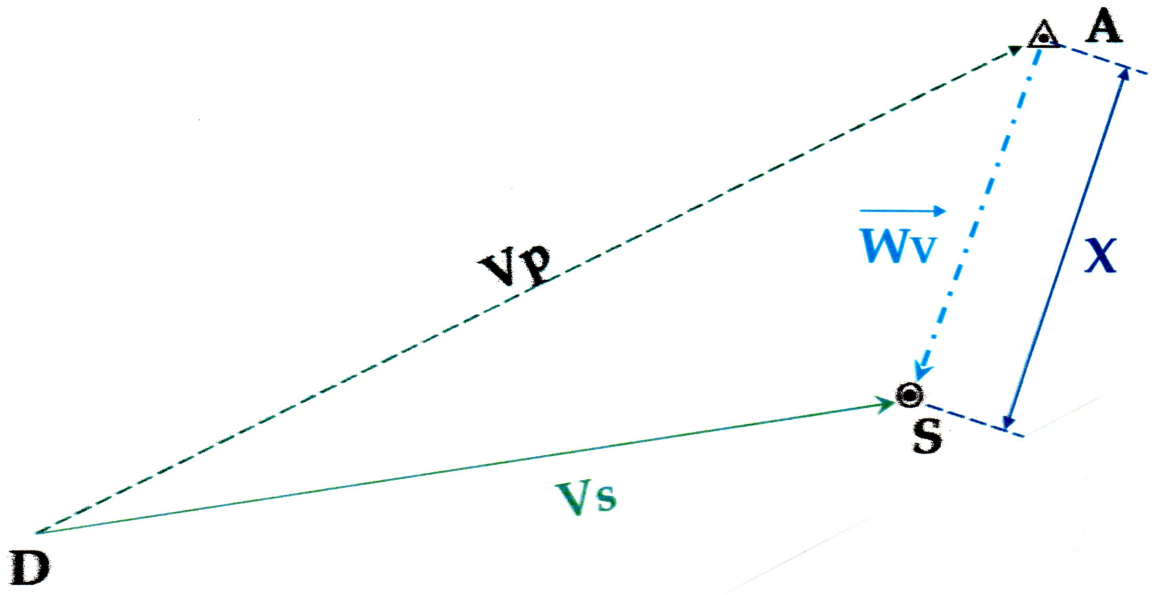
Souvenez vous: + chaud, + haut, + vite

7. Effet du vent sur le vol de l'avion



Un avion partant de D qui volerait pendant 1 heure à la vitesse propre, arriverait en A (point air).

8. Effet du vent sur le vol de l'avion. Suite



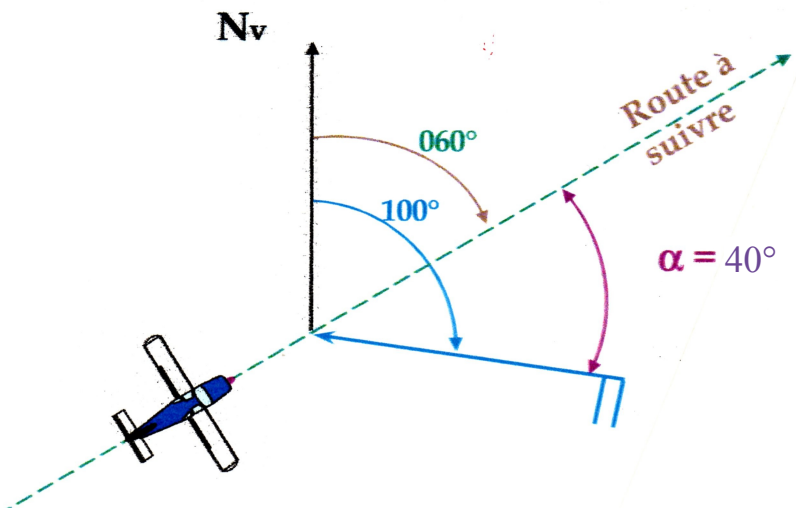
Subissant un vent **Wv** du NNE, le même avion arriverait en S (point sol). AS représente l'effet du vent X sur la trajectoire de l'avion pendant 1 heure.

On exprime X en minutes de vol à la vitesse Vp:

$$X = F_b \cdot W_V$$

9. Notion d'angle au vent

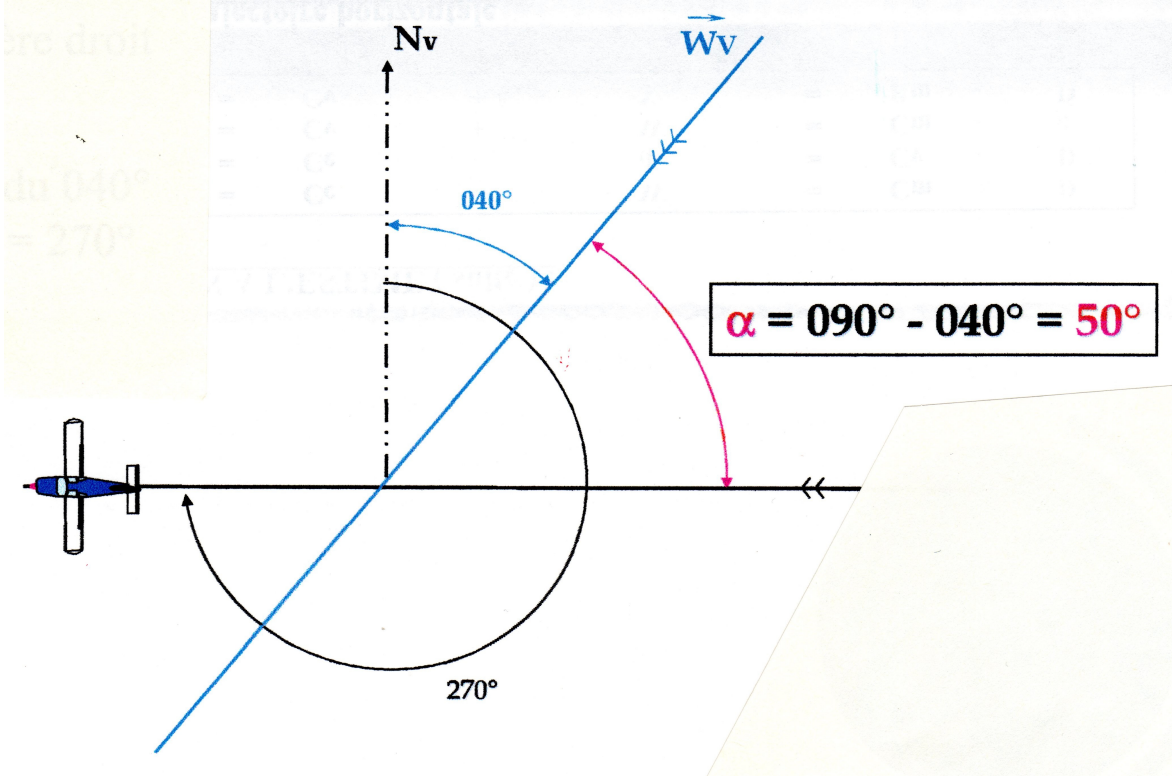
On appelle l'angle au vent (symbole α), l'angle aigu compris entre la direction d'où vient le vent et la route que doit suivre l'avion (DTK).



10.Vent secteur arrière

. Arrière droit

Vent du 040°
route = 270°



11. Règle générale pour la détermination de l'angle au vent α

a) Matérialiser d'où vient le vent par rapport à la route à suivre pour déterminer quantitativement:

Vent arrière ou de face
Vent travers gauche ou droit

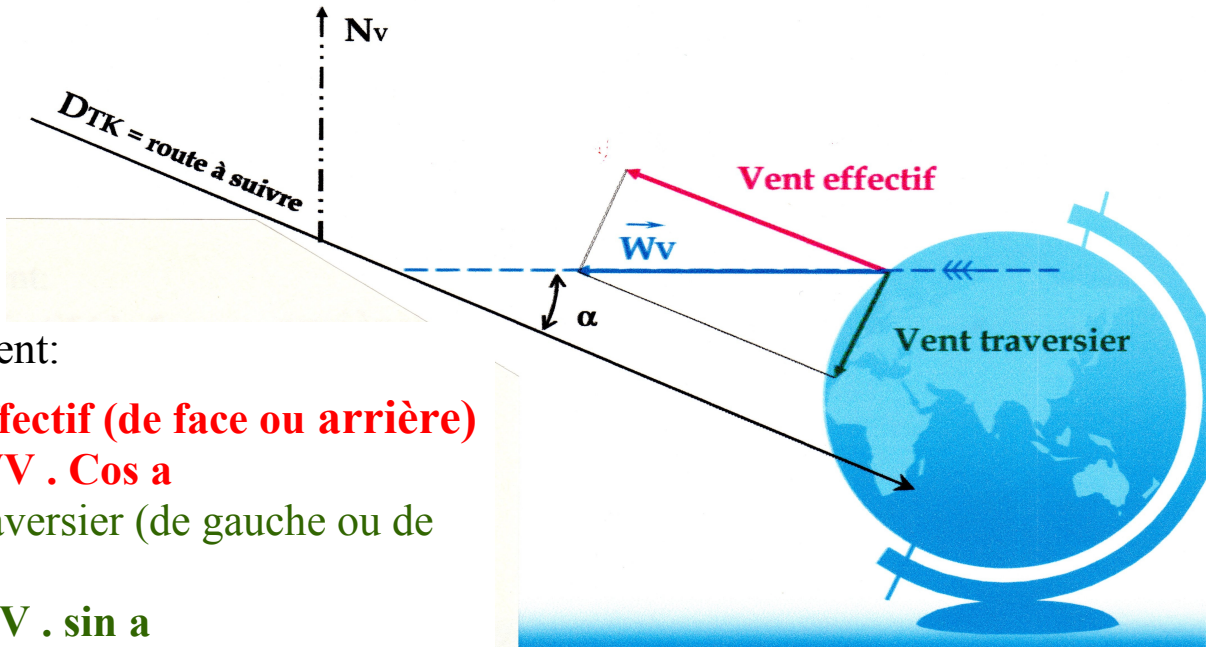
b) Déterminer quantitativement la valeur de l'angle au vent:

Vent de face: $\alpha° = Wv_{direction} - route^*$
Vent arrière: $\alpha° = Wv_{direction} - inverse\ route^*$

* Route à suivre

12. Notion de vent effectif et vent traversier

L'angle au vent α étant connu, il est toujours possible de décomposer le secteur vent selon 2 directions associées à l'orientation de la route à suivre.



On obtient:

Vent effectif (de face ou arrière)
Ve = WV . Cos a
Vent traversier (de gauche ou de droite)
Vt = WV . sin a

13.Calcul rapide des lignes trigonométriques

Calcul rapide des sinus

1/3	1/2	2/3
20°	30°	40°
90° 70°	60°	50°
1	9/10	3/4

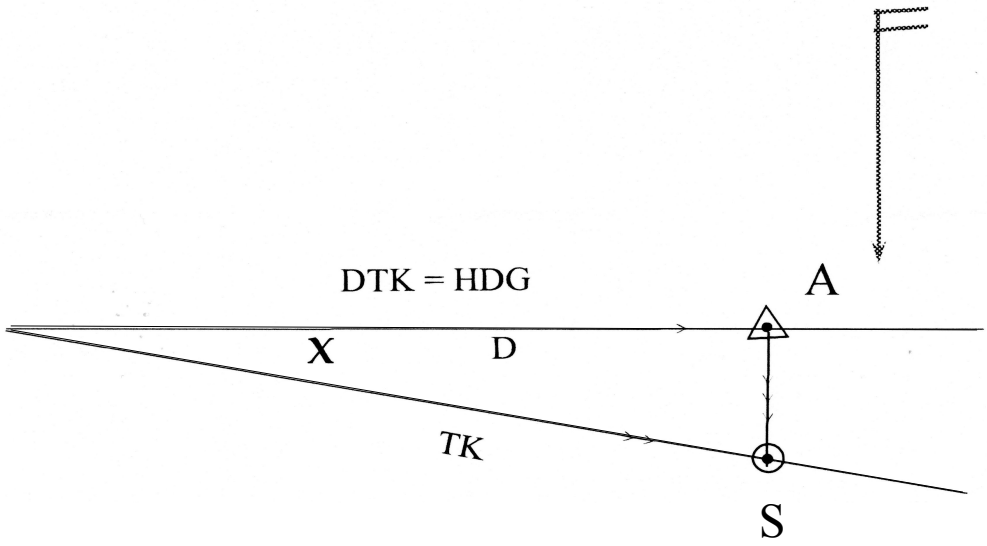
14.Calcul rapide des lignes trigonométriques (autre méthode)

$$\sin \alpha = (\alpha / 100) + 0{,}2$$

Exemple : sin 60°

(60 / 100) + 0,2 = 0,8

15.Calcul de la dérive



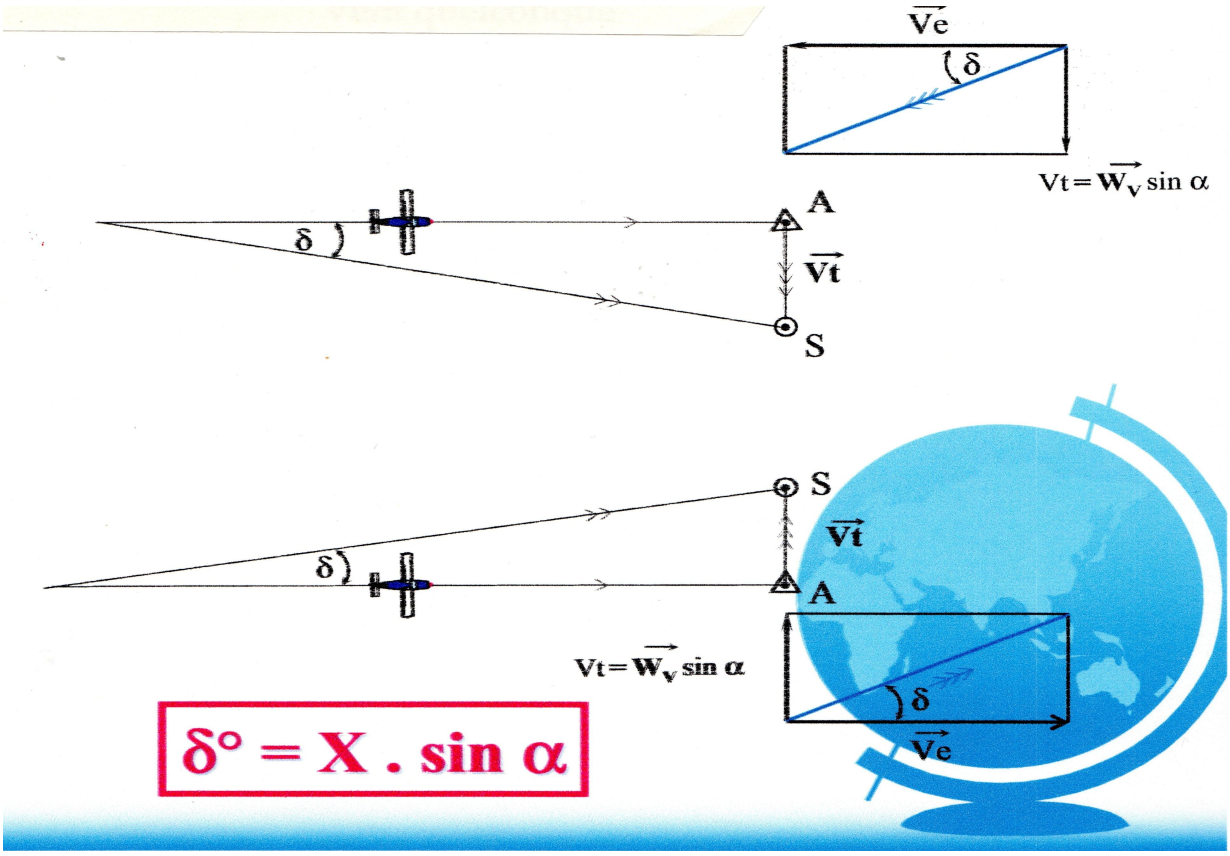
Au bout d'une heure l'avion est au point S, il a subi un effet de vent X = BF . WV

X est proportionnel à la force du vent et inversement proportionnel à la vitesse de l'avion.

Lorsque le vent est plein travers, X représente la dérive maximum

16.Calcul de la dérive

Vent quelconque



17.Calcul rapide d'un cap

Matérialisation du vent par rapport à la route:

vent de droite Cm > Rm

vent de gauche Cm < Rm

Détermination de Cw

0 à 30° Vt = 1/3 de WV

30 à 60° Vt = 2/3 de WV

60 à 90° Vt = 3/3 de WV

Détermination du facteur de base (Fb)

Fb = 60 / Vp

Détermination de la dérive (drift = d)

d = Vt . Fb

Détermination du cap magnétique Cm

Cm = Rm +/ - d°

18.Le point équitemps

Le point équitemps sur un trajet donné est le point à partir duquel le temps mis pour atteindre la destination est équivalent à celui mis pour revenir à son point de départ.
Par vent nul il est bien évidemment situé à mi-parcours ! Mais avec du vent :

PET : (Nm) = D x Vsr / Vsa + Vsr

Vsa : vitesse sol aller *Vsr : vitesse sol retour*

Exemple :
Sur un trajet de 100Nm, avec un avion qui croise à 110 kt et 30kt de vent arrière, le PET est situé à :
100 x 80 / 140 + 80 = 100 x 80 / 220 soit 100 x 4 / 11 = **36 Nm du point de départ** (64 Nm du point d'arrivée)

Vérification : 36 Nm à 80 kt = 27 mn, 64 Nm à 140 kt = 27 mn
Nb : en cas de problème après les 15 premières minutes de vol, il vaudra mieux poursuivre vers l'aérodrome de destination ou prévoir un aérodrome de dégagement)

Le pont équitemps avec un angle au vent

Le problème est identique, si ce n'est qu'il faut au préalable déterminer le vent effectif (Ve) pour calculer Vsa et Vsr.
Le vent effectif est égal à la force du vent multipliée par le cosinus de l'angle au vent α,
Ve = Vw . Cos α

Exemple :
Une Vp de 100 kt, une route à suivre de 210° avec un vent du Nord pour 30kt, un trajet de 80Nm.
α = 30° Vsa = Vp + Ve
Ve = 24 kt Vsa = 100kt + 24kt = 124 kt
Vsr = 100kt – 24kt = 76 kt

Le calcul du point équitemps peut alors se faire avec ces données.
PET : (Nm) = D x Vsr / Vsa + Vsr
80 . 76 / (124 + 76)
Le PET se situera à **30,4 Nm du point de départ, soit un peu moins de 15 mn.**

Il n'est pas utile de calculer les Cm aller et retour :
δ° = Fb . Vw . Sin α
δ° = 0,6 . 30 . 0,5 = 9°

Soit Cm aller 219° (210 ° + 9°), Cm retour 021° ((210° - 180°) - 9°)

19.Formules pratiques

Relations entre rayon de virage r, inclinaison F et Vp

F = 15 % de Vp (kt) R(m) = 10 Vp (kt)

R(Nm) = Vp (kt) / 200

• Relation pente en degrés et pourcentage

P% = P°. 10 / 6

• Relation pente de trajectoire, vitesse sur trajectoire, Vz

Vz (ft/mn) = Vs (kt) . P%

Relation variation d'assiette / Vz / Vp

1° = +/- 200' / minute = + / - 5 kt

Calcul de l'altitude vraie Zv:

Zv = Zi + 4 (T° - T° std) . Zi (milliers de pieds)

Rappels

1 Nm	=	6000 feet	=	1852 m
1%	=	60 ft / Nm		
5 %	=	300 ft / Nm		
1 m/s	=	200 ft / mn (environ)		
1 m/s	=	2 kts	=	4 km/h (environ)
1 inch	=	34 hPa (environ)		
1 litre*	=	0.72 kg (* essence avion: 100LL)		
1 kg*	=	1.39 litre (* essence avion: 100LL)		

BIBLIOGRAPHIE

- Wikipédia (fr.wikipedia.org)
- Accro d'avions (accrodavion.be)
- Aviation passion (aviationpassion.org)
- Ecole de pilotage Rennes Air club (rennesairclub.free.fr)
- Aéro training (aero-training.fr)
- La radionavigation par B. Serabian (3éme édition)
- Le voyage aérien (tome 1, 6éme édition)
- SFA (Service de la Formation Aéronautique)