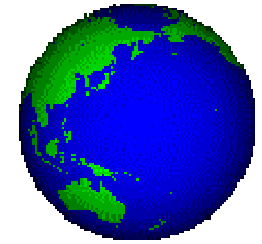


# SOMMAIRE

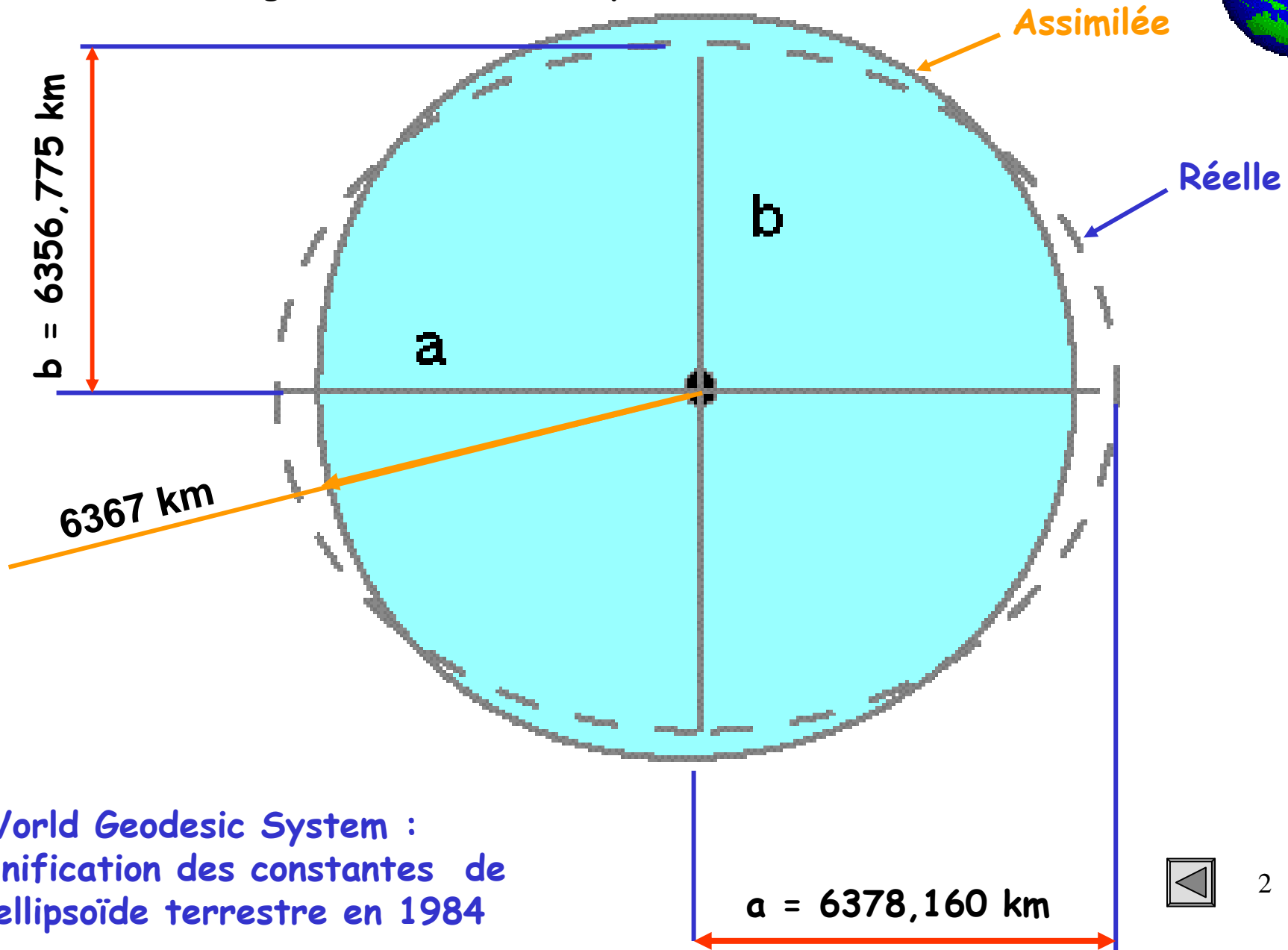
|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| La terre                       | p2  |
| Unités aéronautiques           | p3  |
| Coordonnées géographiques      | p8  |
| Propriétés des cartes          | p10 |
| Echelle de la carte            | p11 |
| Les projections                | p12 |
| Les cartes                     | p18 |
| Mesure des temps               | p20 |
| Orientation: mesure des angles | p22 |
| Mesure des distances           | p26 |
| Calcul du temps sur vent       | p28 |
| Contrôle du cap                | p30 |
| Déclinaison magnétique         | p34 |
| Triangle des vitesses          | p37 |
| Altimétrie                     | p42 |
| Déviaton du compas             | p51 |
| Radiocompas ou ADF             | p53 |
| VOR                            | p61 |
| DME                            | p70 |
| Radar                          | p74 |
| Transpondeur                   | p77 |
| Le cheminement                 | p79 |
| L'estime                       | p81 |
| La radionavigation             | p84 |
| Les cartes                     | p86 |
| Préparation d'une navigation   | p93 |
| GPS                            | p95 |

NAVIGATION

# NAVIGATION DU BIA

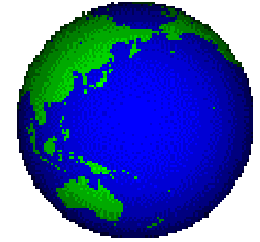


Forme réelle du globe terrestre (ellipsoïdale)



World Geodesic System :  
Unification des constantes de  
l'ellipsoïde terrestre en 1984

# UNITES AERONAUTIQUES



La Terre étant considérée comme sphérique (rayon de 6367 km)

Sa circonférence est donc :  $2 \times \pi \times 6367 = 40.000 \text{ km}$

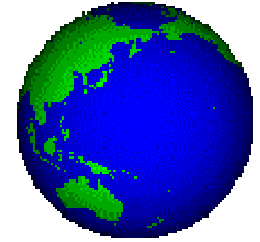
Valeur de  $1^\circ$  d'arc terrestre :  $40.000 / 360 = 111,111 \text{ km}$

Valeur de  $1'$  d'arc terrestre :  $111,111 / 60 \approx 1,852 \text{ km}$

$1'$  d'arc de grand cercle terrestre = 1852 m



# UNITES AERONAUTIQUES



1' d'arc terrestre = 1 Nm = 1852 m

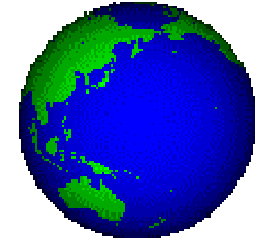
1° d'arc terrestre = 60 Nm = 111,111 km

Unité employée en aéronautique :

1 mille nautique ou (Nm = Nautical Mile en anglais)



# UNITES AERONAUTIQUES



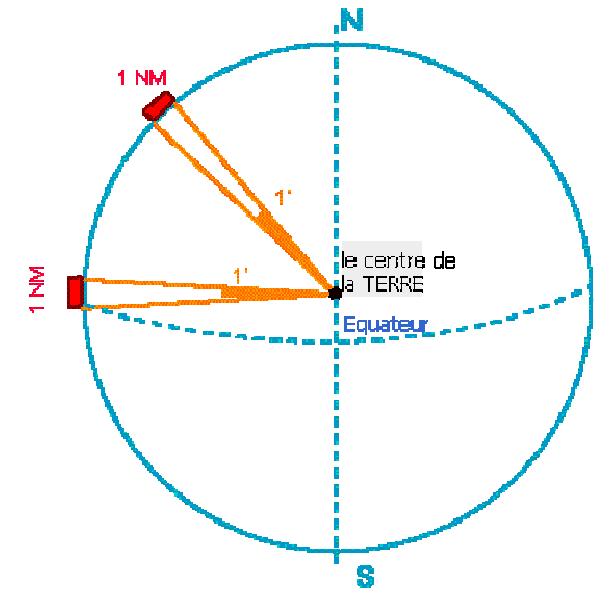
Si 1' d'arc = 1 Nm  $\rightarrow$  60' ou 1° d'arc terrestre = 60 Nm

Sur les cartes, nous mesurerons les distances en Nm.

Unité employée en aéronautique :

**1 kt = 1 Nm parcouru en 1h00**

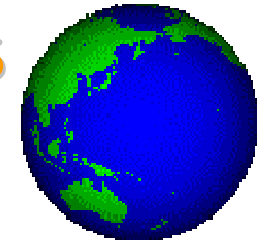
(kt = knot en anglais)



Si l'avion a une vitesse de 100 kt, il parcourt 100 Nm en 1h00.

Ce qui correspond à une vitesse de :  $100 \times 1,852 = 185,2$  km/h

# PETITS ET GRANDS CERCLES TERRESTRES



Les méridiens seront comptés à partir d'un méridien origine : celui de Greenwich en Angleterre

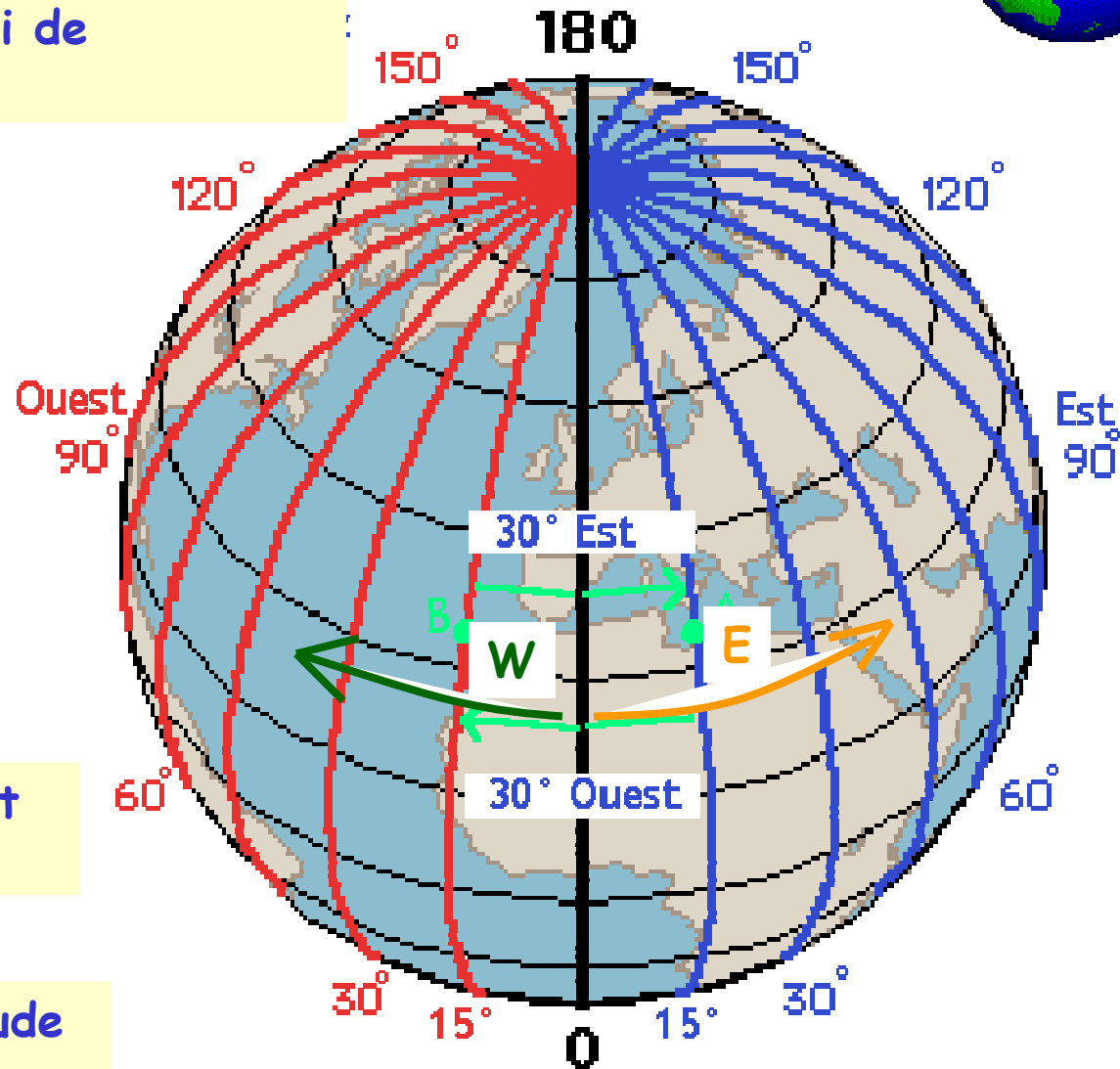
Vers l'EST de 0 à 180°

et

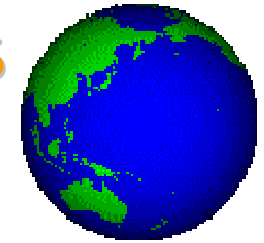
vers l'OUEST de 0 à 180°

Cette valeur angulaire étant appelée la Longitude

Nous dirons que la longitude est Est ou Ouest



# PETITS ET GRANDS CERCLES TERRESTRES

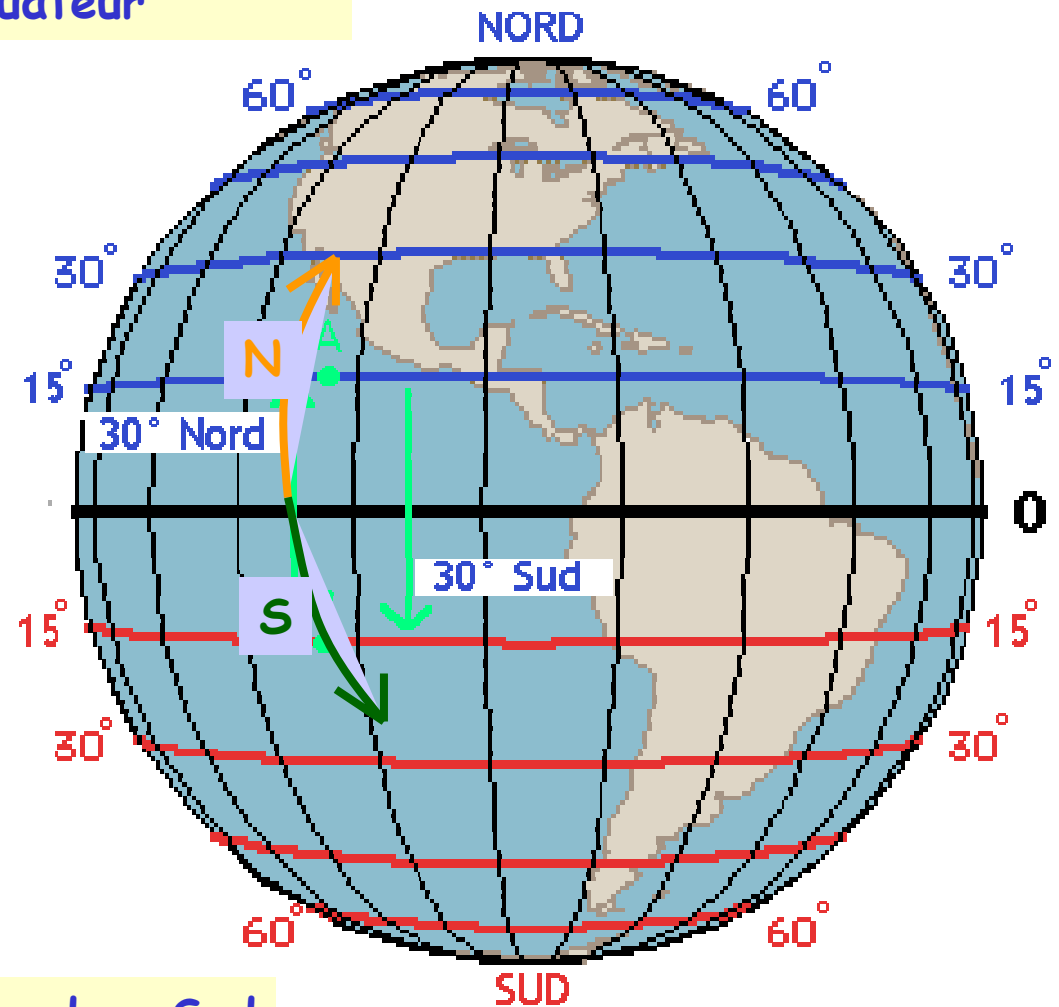


Les parallèles seront comptés à partir d'un parallèle origine particulier : l'Equateur

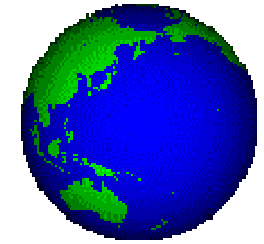
Vers le Nord de 0 à 90°  
et  
vers le SUD de 0 à 90°

Cette valeur angulaire étant  
appelée la Latitude

Nous dirons que la latitude est Nord ou Sud



# COORDONNEES GEOGRAPHIQUES



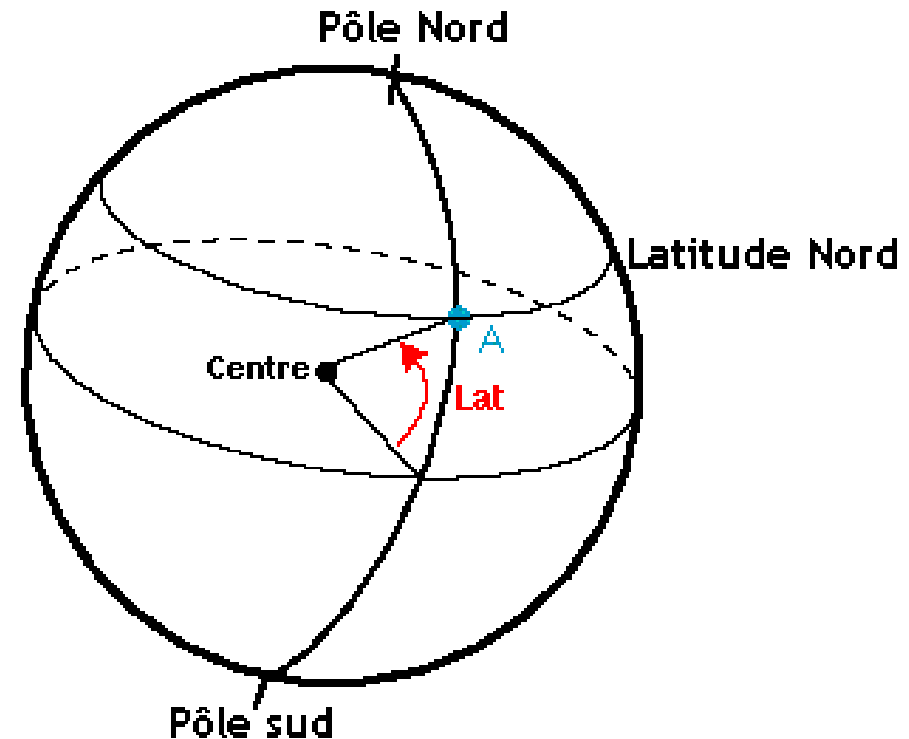
Chaque point de la Terre peut donc être défini par :

Sa Latitude :

Mesurée sur le méridien associé

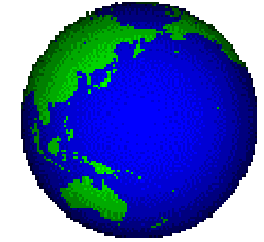
Latitude = angle au centre de la Terre compté :

- Nord depuis l'équateur vers le pôle Nord
- Sud depuis l'équateur vers le pôle Sud





# COORDONNEES GEOGRAPHIQUES



Chaque point de la Terre peut donc être défini par :

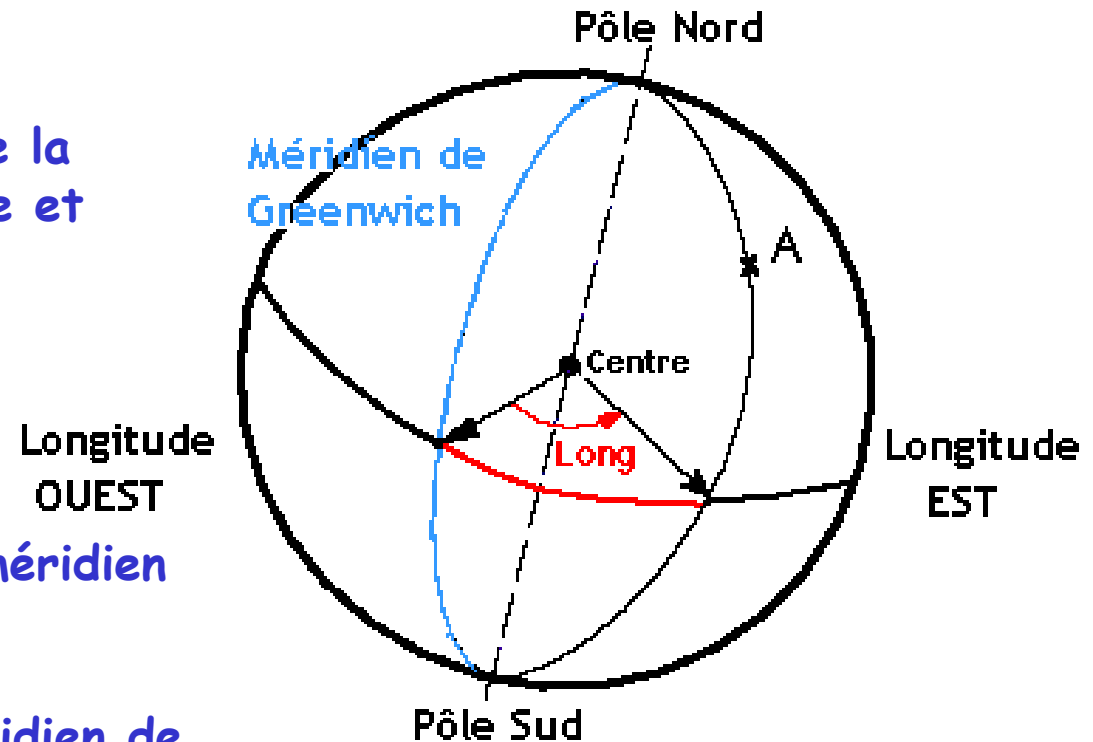
Sa Longitude :

Méridien origine : celui de Greenwich (Angleterre)

Longitude = angle au centre de la Terre entre le méridien origine et le méridien du lieu considéré :

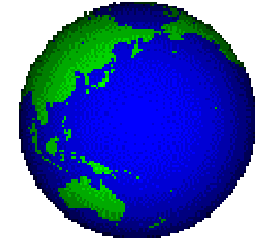
- Longitude Ouest : depuis le méridien de Greenwich vers l'ouest.

- Longitude Est : depuis le méridien de Greenwich vers l'Est



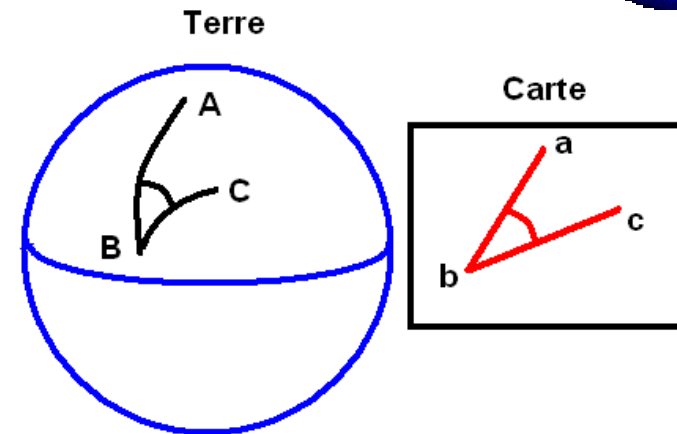
Coordonnées de PAU :  
43° 22,48' N  
000° 25,07' E

# PROPRIETES DES CARTES



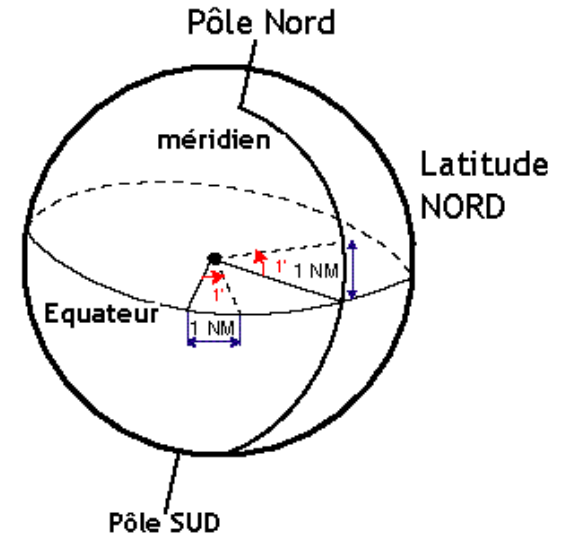
## Conformes :

Conservation des angles  
(se diriger)

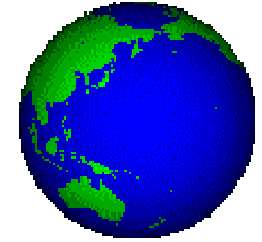


**Equidistantes :** conservation des distances (la mesure des distances lues sur la carte correspond à celles sur la Terre)

En conséquence, les cartes étant calculées, l'échelle est différente en chaque point. Les cartes sont conçues pour que celle-ci varie peu sur la zone couverte par la carte.



# ECHELLE DE LA CARTE



$$\text{Echelle} = \frac{\text{distance carte}}{\text{distance sur la Terre}}$$

Carte 1 / 500.000 :  
1 cm sur la carte représente 500.000 cm sur la Terre  
soit 5 km sur la Terre

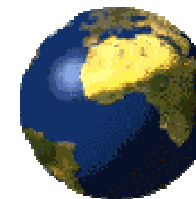
Carte 1 / 1.000.000 :  
1 cm sur la carte représente 1.000.000 cm sur la Terre  
soit 10 km sur la Terre

**Exercice :**

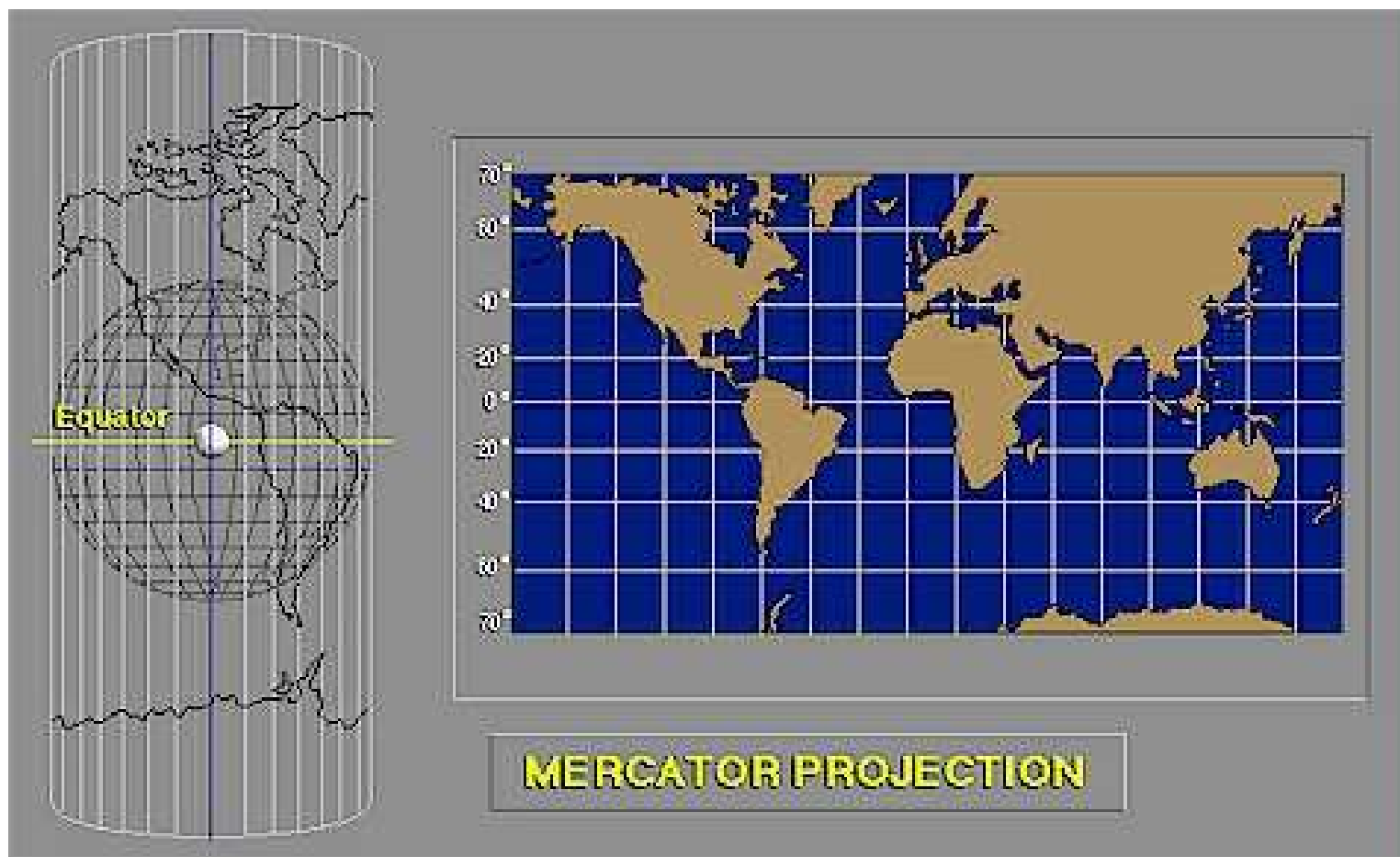
Sur une carte au 1/500.000, vous mesurez la distance entre 2 aérodromes et vous trouvez 15 cm.

Quelle est la distance entre ces 2 points en Km et en Nm ?

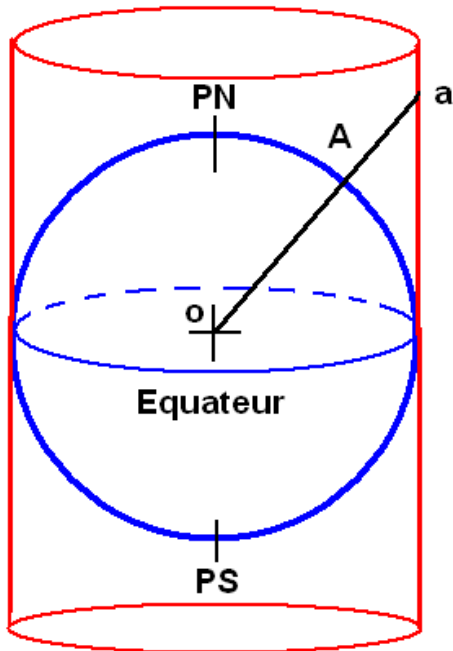
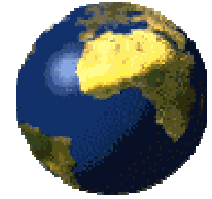
# PROJECTION MERCATOR



. . . et nous obtenons :



# PROJECTION MERCATOR



## Parallèles

20° N

10° N

Equateur

10° S

20° S

20° W

0°

20° E

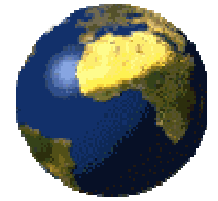
40° E

## Méridiens

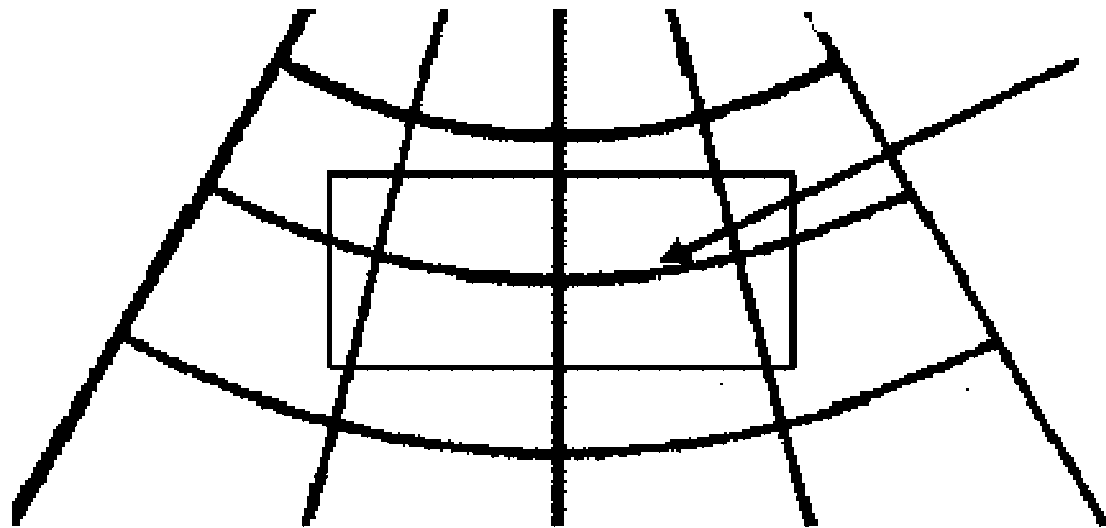
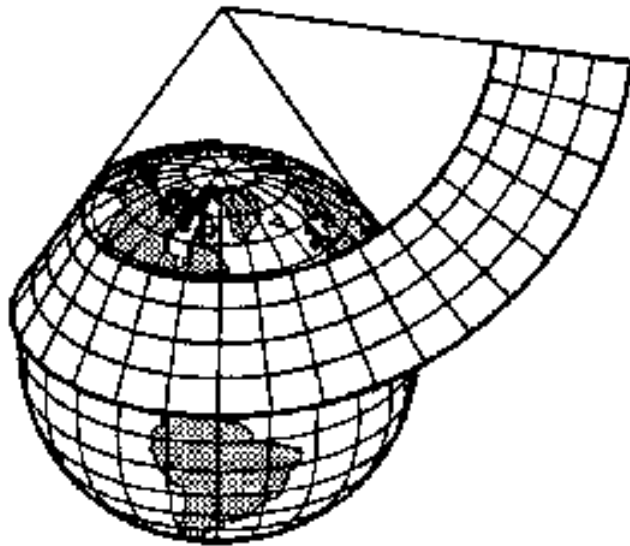
### Propriétés :

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

# PROJECTION DE LAMBERT

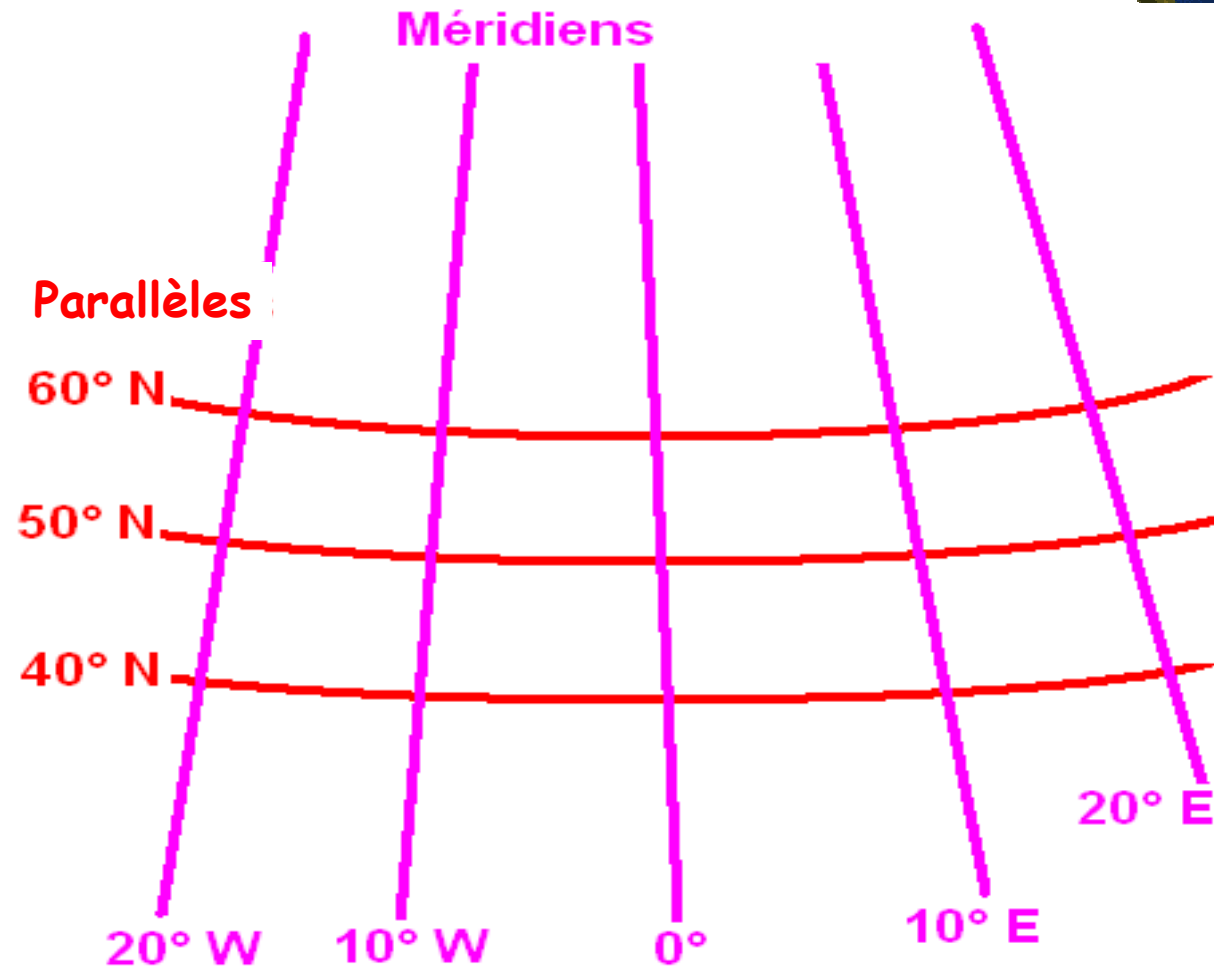
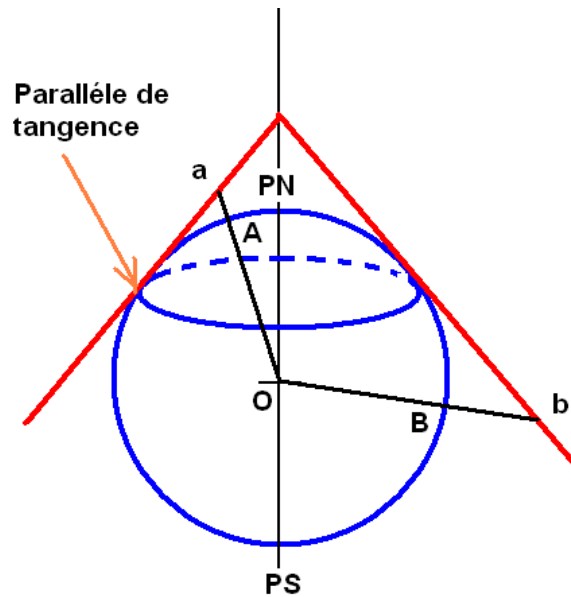
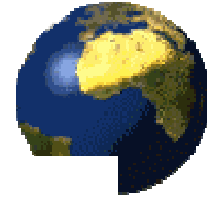


En développant le cône, nous obtenons ...



Echelle exacte  
seulement au  
parallèle standard

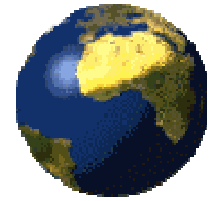
# PROJECTION DE LAMBERT



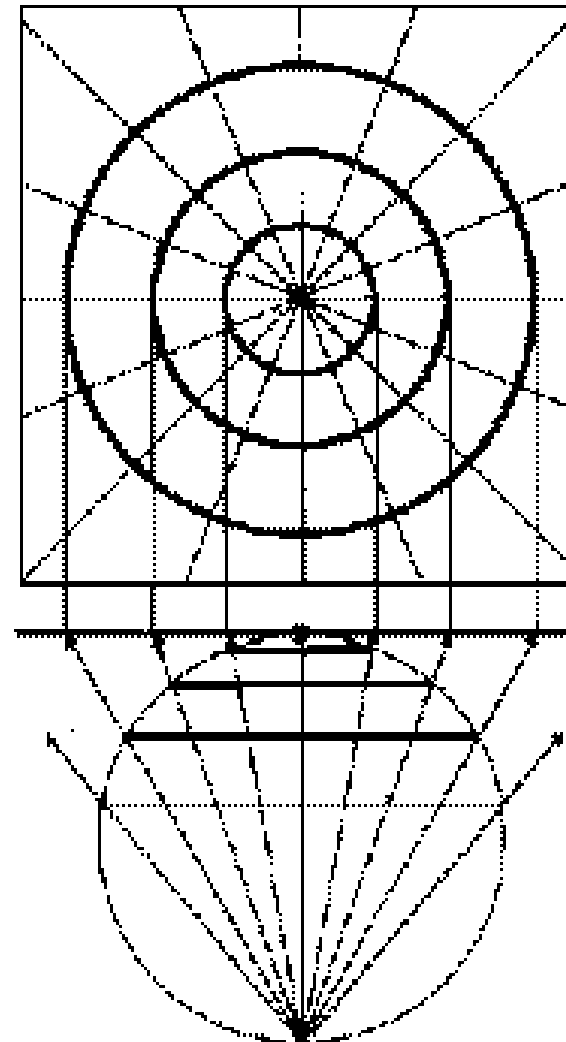
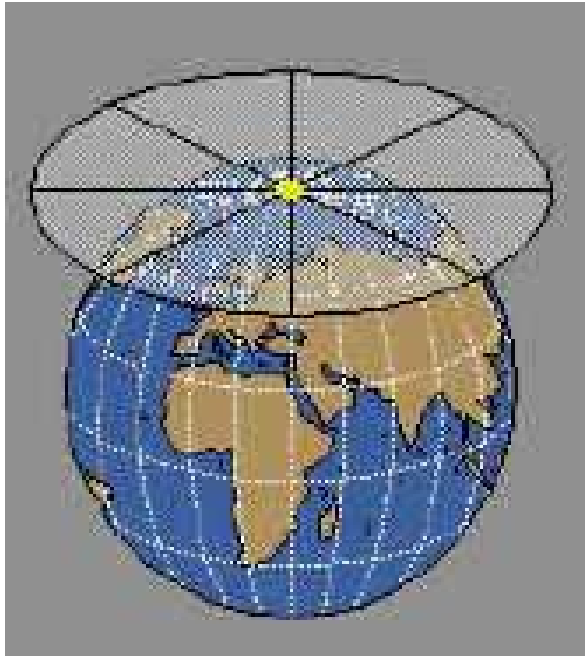
## Propriétés :

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

# PROJECTION STEREO-POLAIRE

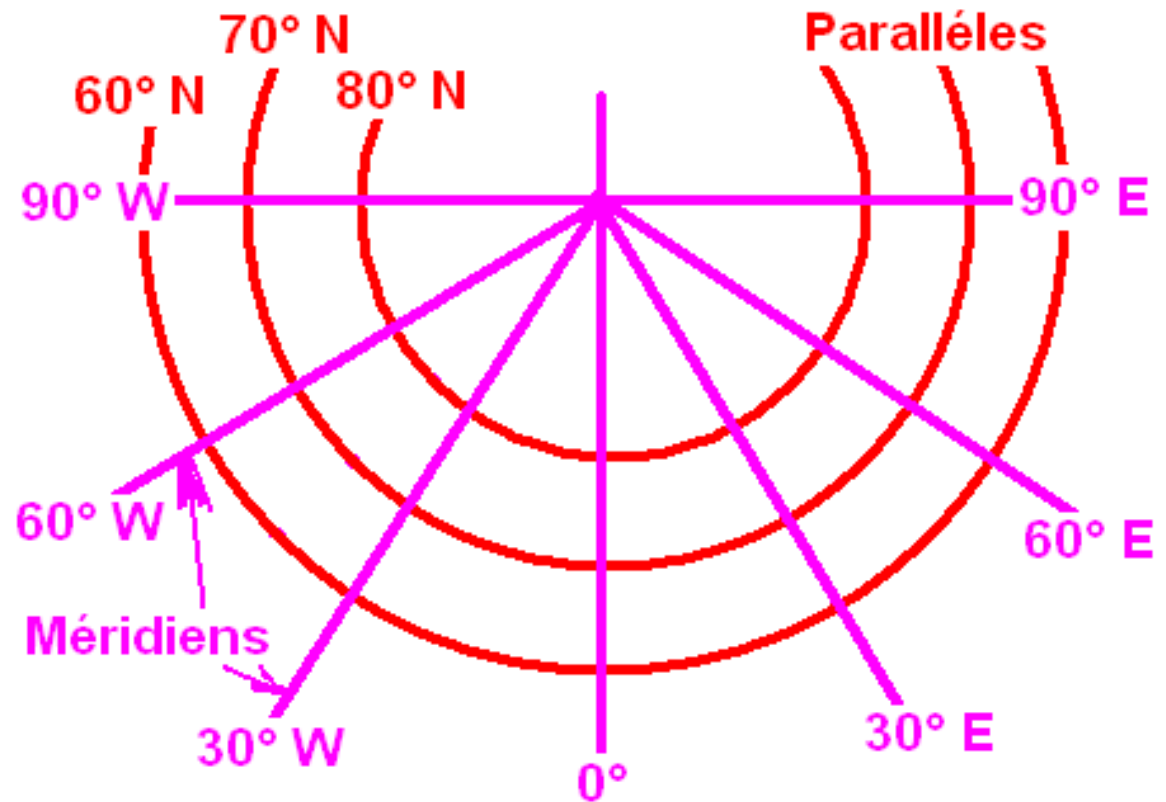
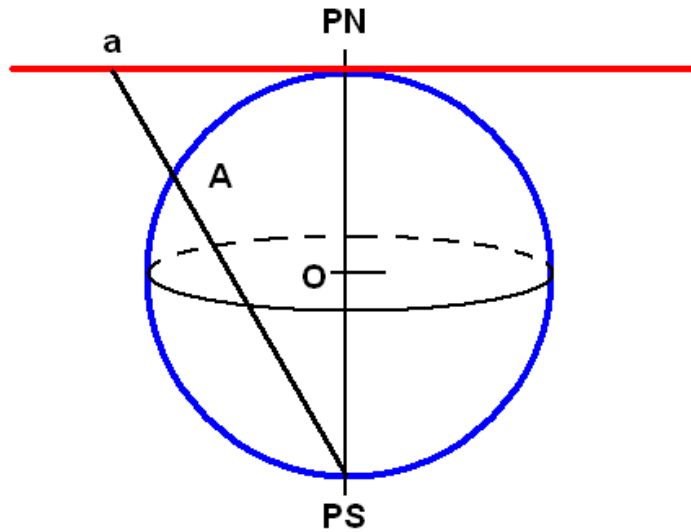
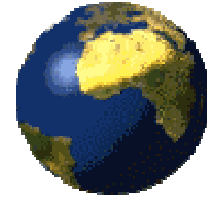


L'échelle varie peu à proximité du pôle





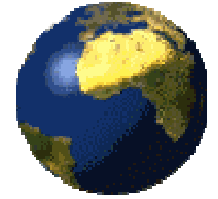
# PROJECTION STEREO-POLAIRE



## Propriétés :

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

# LES CARTES



A retenir :

$1' \text{ d'arc terrestre} = 1852 \text{ m} = 1 \text{ Nm}$

$1 \text{ kt} = 1 \text{ Nm par heure} = 1 \text{ Nm / h}$

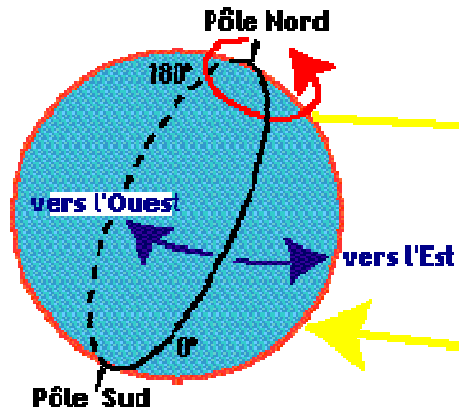
Echelle =  $\frac{\text{distance carte}}{\text{distance sur la Terre}}$

Sur les cartes, la mesure des angles est toujours conservée

Sur les cartes, la mesure de distance se fera sur le méridien adjacent

# LA MESURE DU TEMPS

D'autre part, la Terre effectue un tour complet sur elle-même en 24 heures



Rotation de  $360^\circ$  en 24h00

$$\text{Soit : } \frac{360}{24} = 15^\circ / \text{heure}$$

Chaque heure, la Terre tourne de  $15^\circ$

Soit  $15^\circ$  pour 60 mn

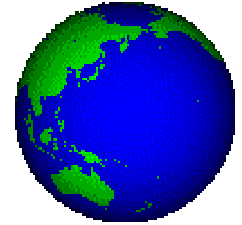
Donc pour qu'elle tourne de  $1^\circ$ , cela prendra :

$$60 / 15 = 4 \text{ mn}$$

$1^\circ$  de rotation en 4 mn



# LA MESURE DU TEMPS



L'HEURE LOCALE est calculée de telle façon qu'il soit midi du fuseau considéré lorsque le soleil est à la verticale du méridien moyen du fuseau

En conséquence, dans un même pays, le soleil se lèvera ou se couchera à des heures différentes suivant la longitude du lieu considéré.

→ Soleil se lève plus tôt à Strasbourg qu'à Brest

→ il se couchera plus tard à Brest

Les avions se déplaçant à travers le monde, il fallait déterminer une heure valable en tout point du globe (pas de changement de réglage de la montre de bord quand on franchit un fuseau horaire !)

HEURE "UTC" ou "GMT" : référence heure de Greenwich

Il est 12h00 GMT ou 12h00 UTC lorsque le soleil est au zénith du méridien de Greenwich, et il est 12h00 pour TOUS LES AVIONS dans le monde.

# LA MESURE DU TEMPS



L'heure locale est fixée par les autorités des pays concernés; ainsi en France

- Hiver → Heure locale = UTC + 1h00
- Eté → Heure locale = UTC + 2h00

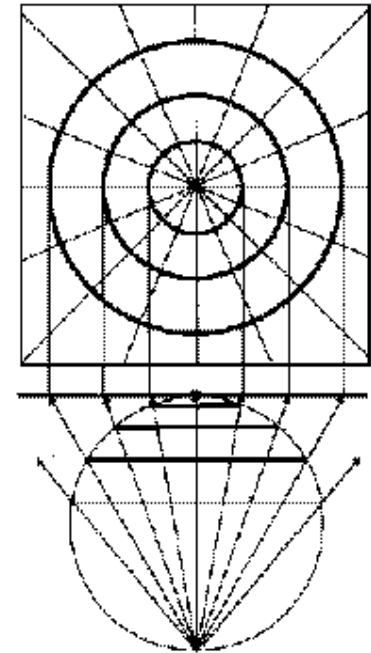
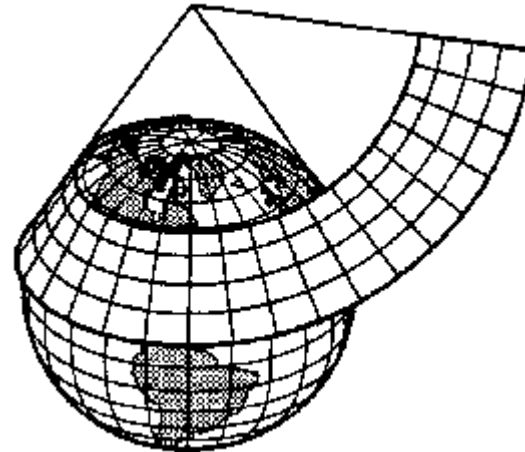
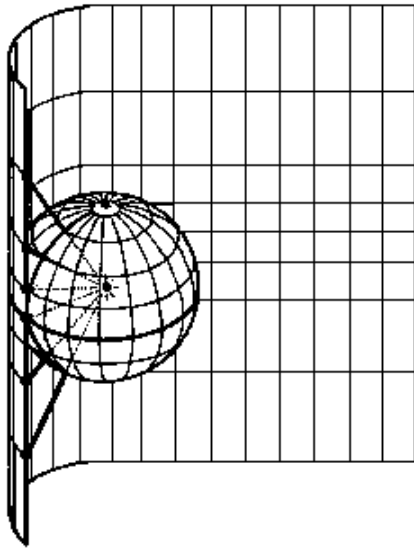
Notion de nuit aéronautique :

- Commence 30 mn après le coucher du soleil
- Se termine 30 mn avant le lever du soleil

# ORIENTATION - MESURE DES ANGLES



Revenons un instant sur les cartes :



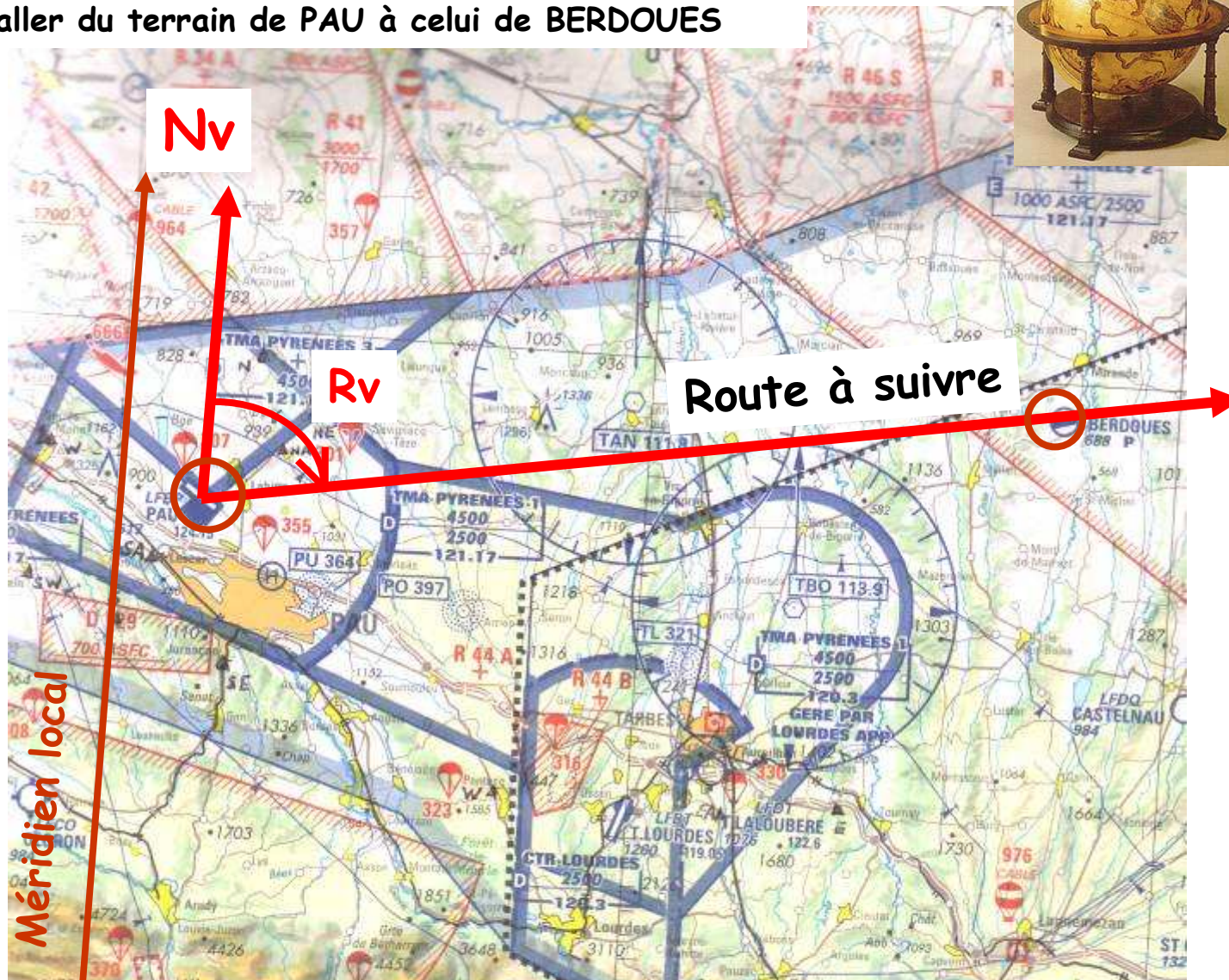
Que ce soit la carte avec projection Mercator, Lambert ou Stéréo-polaire, en tout point de la carte, la direction du pôle Nord est donnée par le méridien du lieu considéré.

Toutes les mesures d'angles se feront donc par rapport au méridien local.



# ORIENTATION - MESURE DES ANGLES

Pour aller du terrain de PAU à celui de BERDOUES



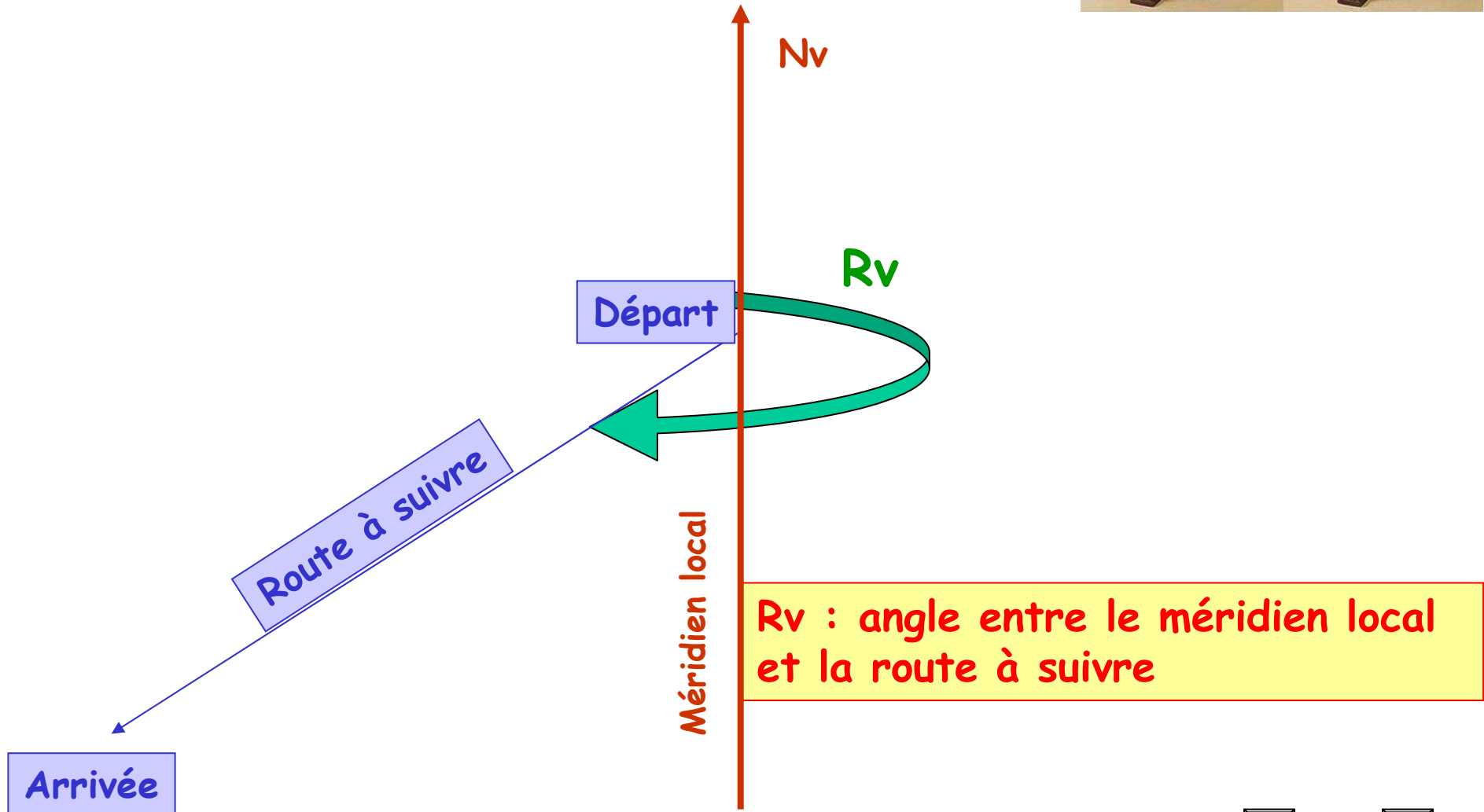
**Rv : angle entre le méridien local et la route à suivre est appelé la "Route vraie"**



# ORIENTATION - MESURE DES ANGLES



La "Route vraie" (Rv) sera comptée au point initial en partant du méridien et toujours dans le sens horaire

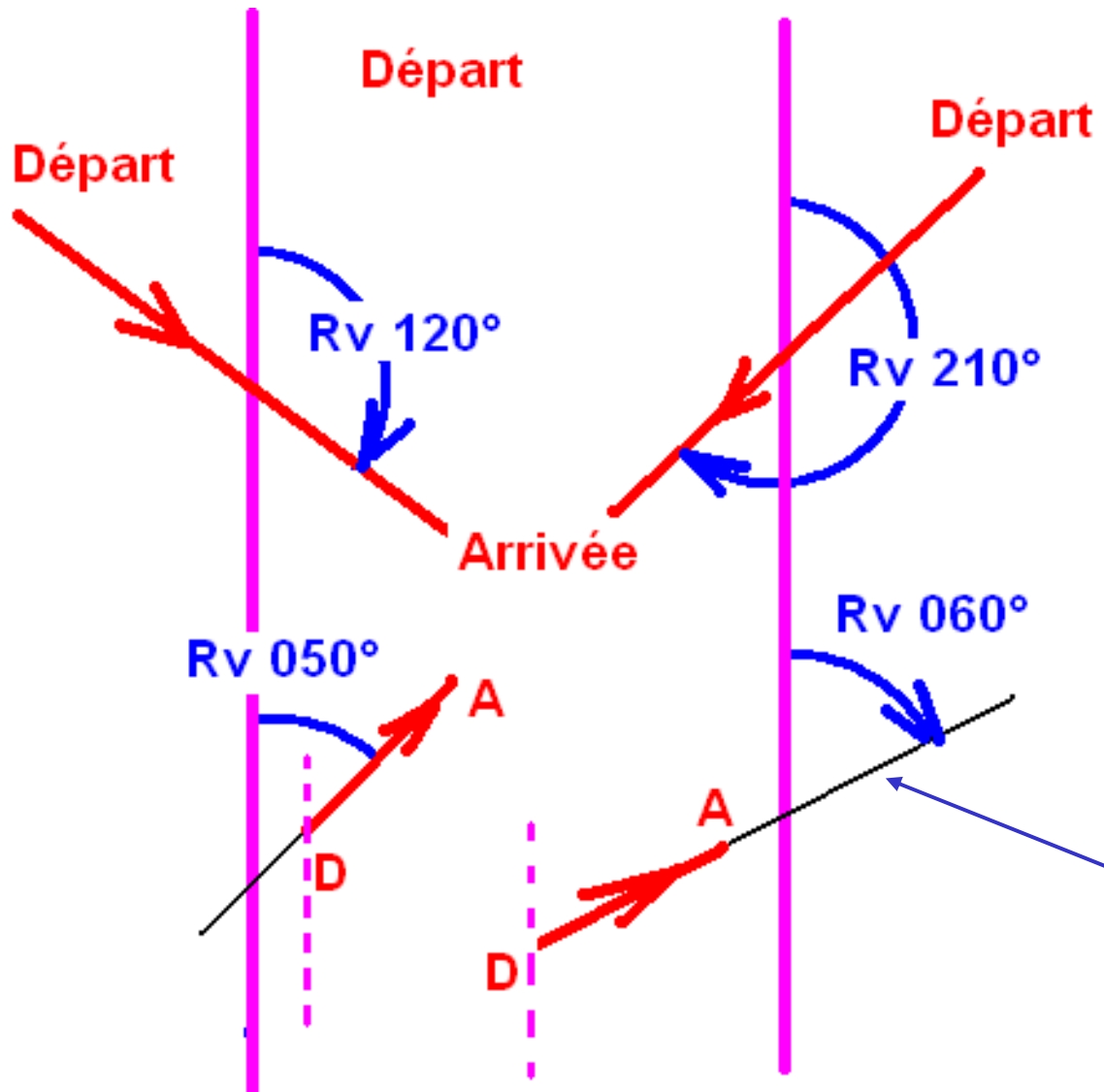




# ORIENTATION - MESURE DES ANGLES

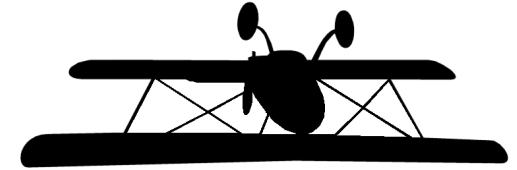


Quelques cas de mesure :



Si le méridien local ne coupe pas la route, il sera parfois nécessaire de prolonger celle-ci jusqu'au méridien le plus proche pour faciliter la mesure de l'angle

# MESURES DE DISTANCES



En étudiant la construction des cartes, nous avons vu que :

- l'échelle variait à la surface de cette carte
- la mesure ne pouvait s'effectuer que sur le méridien le plus proche du lieu à mesurer
- $1' \text{ d'arc} = 1 \text{ Nm}$

Donc

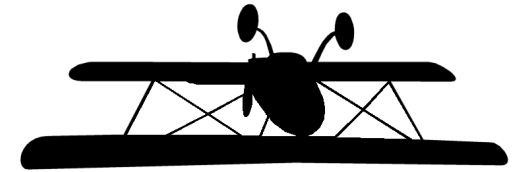
$$60' \text{ ou } 1^\circ \text{ d'arc} = 60 \text{ Nm}$$

En conséquences :

- La mesure devra se faire sur le méridien le plus proche (Celui-ci étant gradué en degrés et minutes d'arc).
- Chaque minute d'arc correspondra à 1 Nm.
- Cette méthode est valable pour toutes les cartes existantes en aéronautique.



# MESURES DE DISTANCES



Cependant, pour faciliter les mesures, il existe des règles spéciales, graduées selon cette méthode pour les cartes existantes ( 1 / 500.000 et 1 / 1 .000.000) et utilisables sur l'ensemble de la carte

La précision est largement suffisante, en considérant que l'échelle varie peu.



**NB : Une telle règle peut également être fabriquée par soi-même, il suffit de relever les graduations d'un méridien à la latitude moyenne de la carte et de noter en Nm et non en minutes d'arc.**

**Nous allons voir que l'on peut également la noter directement en temps de vol.**

# CALCUL DU TEMPS SANS VENT

Temps de vol sans vent (en heure) =  $\frac{\text{Distance à parcourir en Nm}}{\text{Vitesse propre avion en Kt}}$

Ce que l'on peut écrire :  $T \text{ (h)} = \frac{D \text{ (Nm)}}{V_p \text{ (Kt)}}$

Pour avoir le temps en minutes, il faut multiplier par 60 :

Soit :  $T \text{ (mn)} = T \text{ (h)} \times 60 = D \text{ (Nm)} \times \frac{60}{V_p \text{ (Kt)}}$  (1)

On appelle Facteur de Base :  $F_b = \frac{60}{V_p}$

La formule (1) peut alors s'écrire :  $T \text{ (mn)} = D \text{ (Nm)} \times F_b$



# CALCUL DU TEMPS SANS VENT

$$F_b = \frac{60}{V_p}$$

$$T \text{ (mn)} = D \text{ (Nm)} \times F_b$$



## Exemples :

DR 400 → vitesse de croisière ≈ 100 kt  
soit un facteur de base :  $F_b = 60 / 100 = 0.6$

Si  $D = 40 \text{ Nm}$  →  $T \text{ mn} = 40 \times 0.6 = 24 \text{ mn}$

Si  $D = 25 \text{ Nm}$  →  $T \text{ mn} = 25 \times 0.6 = 15 \text{ mn}$

**NB :** Ce calcul est valable pour tous les mobiles se déplaçant à vitesse constante

La règle créée pour les mesures de distances peut donc être graduée directement en temps de vol à partir du moment où l'on connaît la vitesse de l'avion et donc son facteur de base.

# CONTRÔLE DU CAP

A bord, nous disposons :



Et d'un conservateur de cap

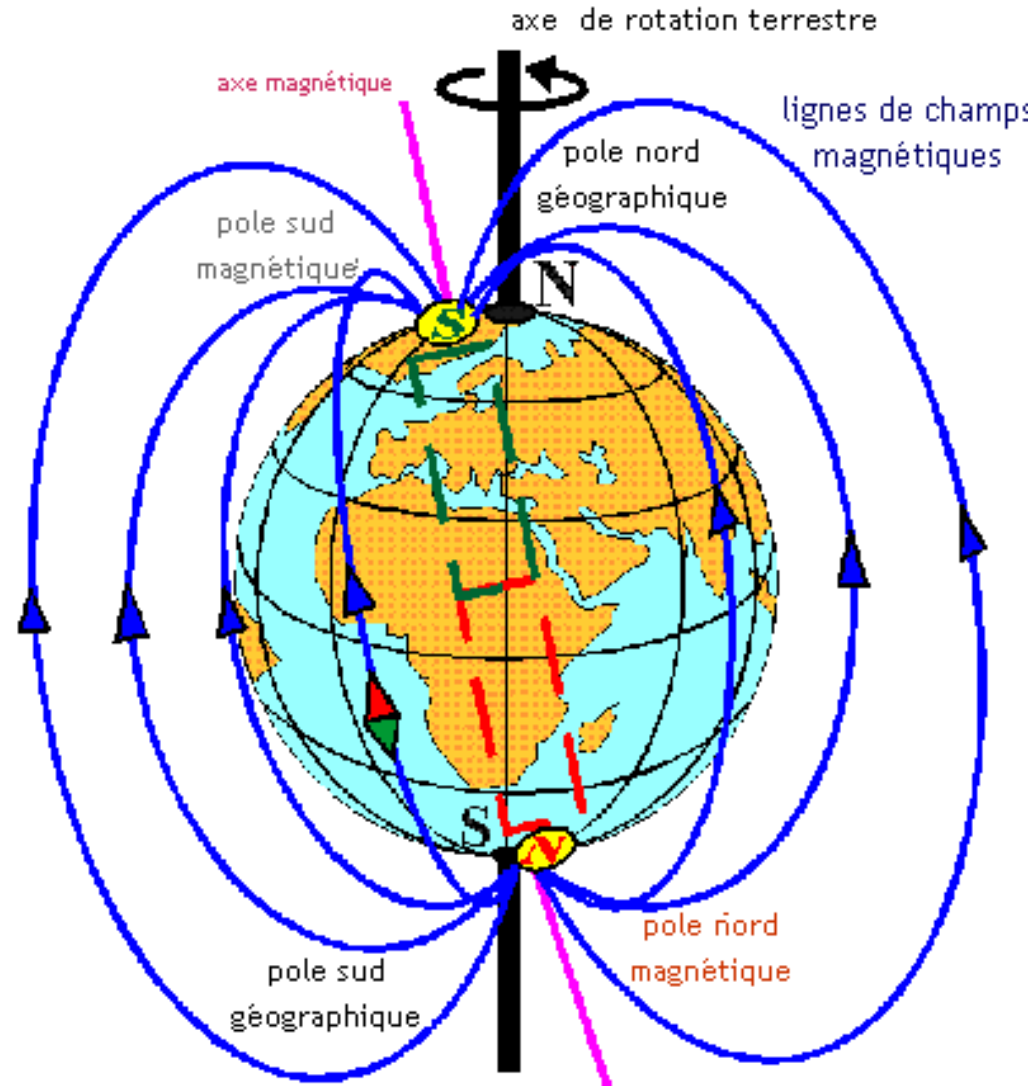


D'un compas magnétique



# LE COMPAS

Soumis au champ magnétique terrestre, il présente de ce fait plusieurs inconvénients



# LE CONSERVATEUR DE CAP

En début de vol il est nécessaire de recalibrer le conservateur de cap par référence avec le compas

Il sera nécessaire durant le vol, de vérifier régulièrement le conservateur de cap avec le compas durant les phases de vol stables (compas exploitable), car le gyroscope se décale dans le temps.

Cette "précession" du conservateur de cap est due :

- aux frottements internes qui le dévient dans le temps,
- à la précession astronomique due à la rotation terrestre.



La précession due aux frottements est aléatoire : donc vérifier régulièrement le conservateur



# CONTRÔLE DU CAP



Indifférent aux accélérations, mais  
précession dans le temps



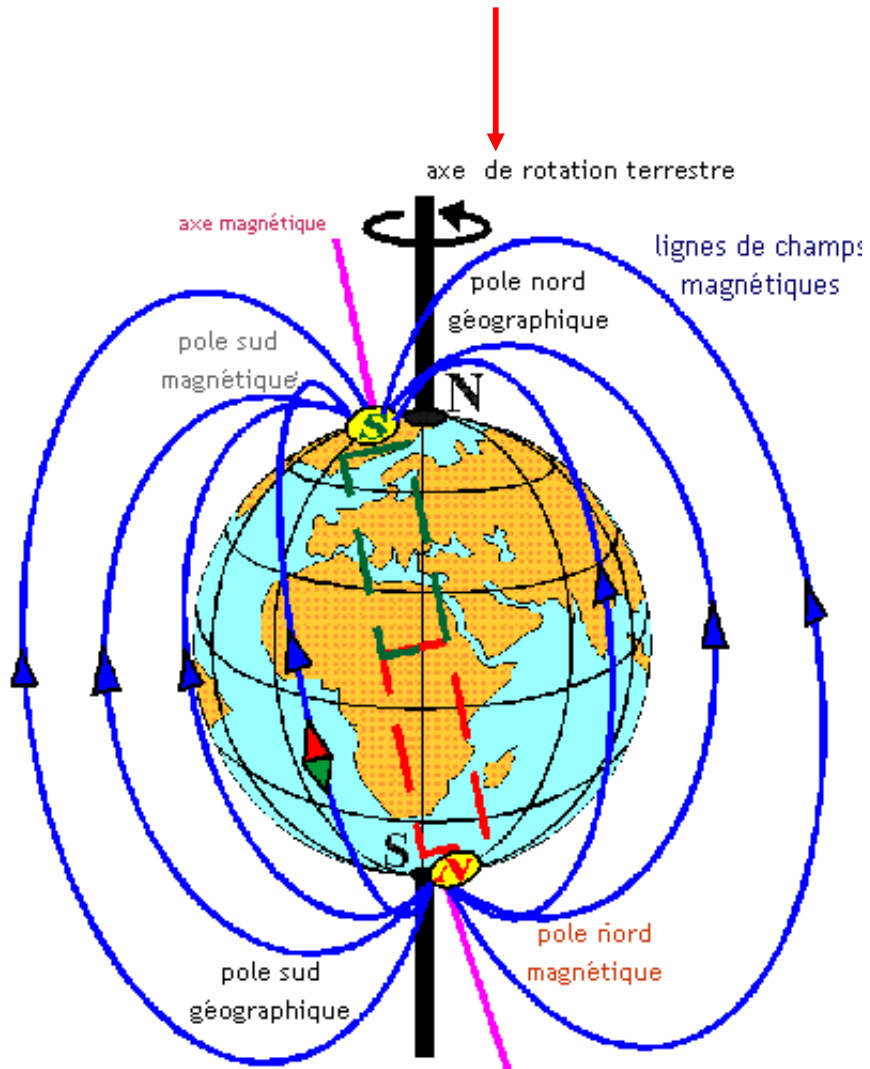
Instable durant les  
accélérations et en virage

Ces 2 instruments sont donc complémentaires : l'un servant au recalage de l'autre.  
→ **le recalage en vol est normal**

# DECLINAISON MAGNETIQUE

Pour se diriger, à bord, le pilote dispose :

- d'un compas
- et d'un conservateur de cap recalé à l'aide du compas, les informations sont donc en degrés magnétiques



Par contre sur la carte, nous mesurons des routes "vraies" (par rapport au Nord vrai). . .

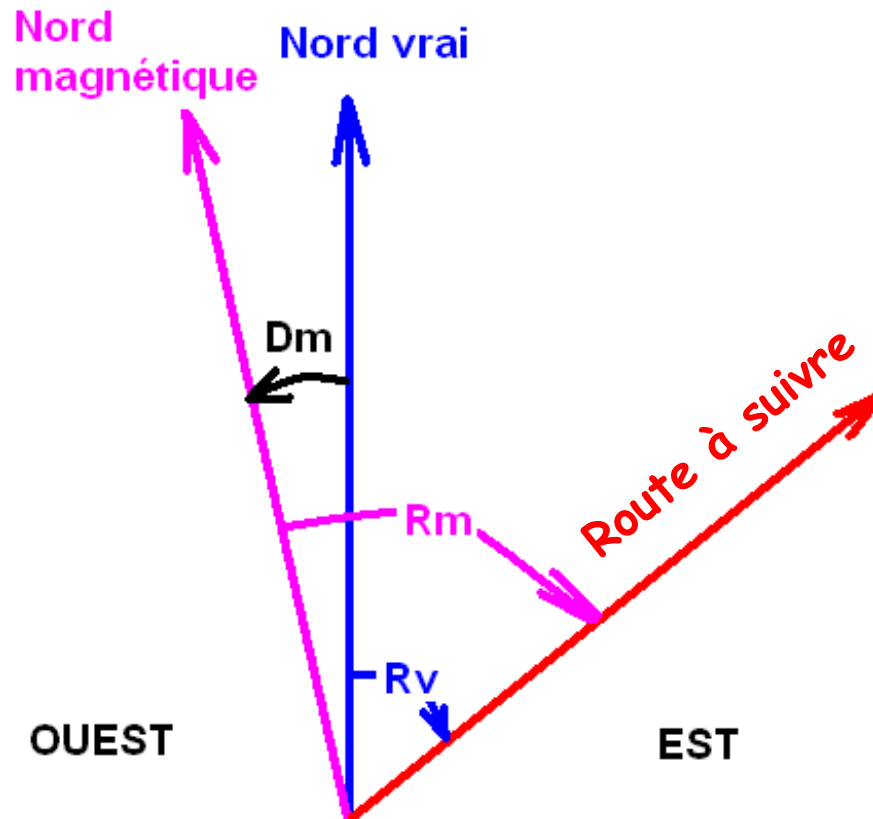
# DECLINAISON MAGNETIQUE

Nous savons déjà que la route vraie ou :

$R_v$  = angle entre le Nord vrai et route à suivre,

De même, la route magnétique ou :

$R_m$  = angle entre le Nord Magnétique et route à suivre



# DECLINAISON MAGNETIQUE

Où trouver les valeurs de la déclinaison magnétique ?

Sur les cartes VAC pour un terrain donné :

Exemple du terrain de PAU

Extrait de la carte VAC PAU

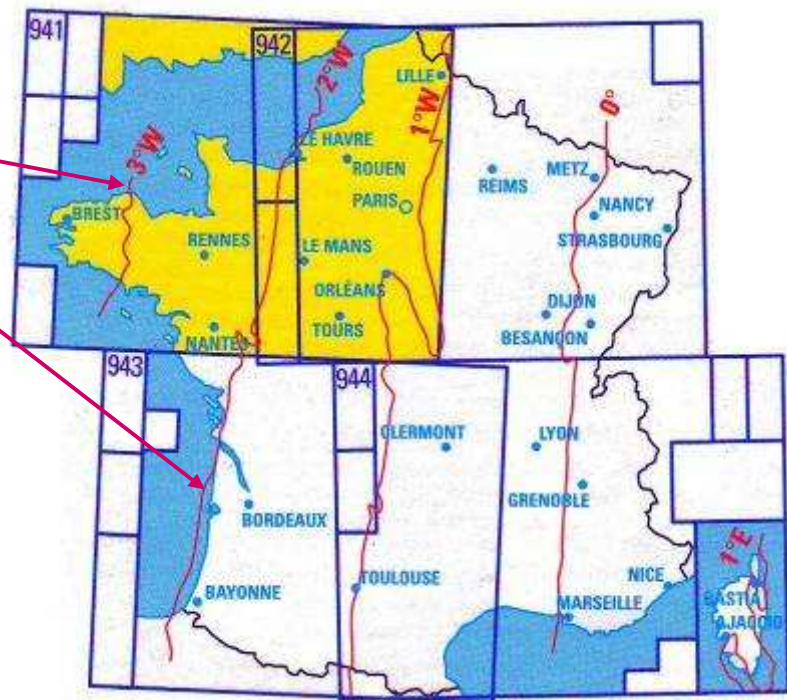
PAU PYRENEES  
AD2 LFBP APP 01

|                       |                 |
|-----------------------|-----------------|
| ALT AD : 616 (22 hPa) | <b>LFBP</b>     |
| LAT : 43 22 48 N      | VAR : 1° W (05) |
| LONG : 000 25 07 W    |                 |

Déclinaison magnétique 1° Ouest

Dans la légende des cartes de navigation 1/500.000 :

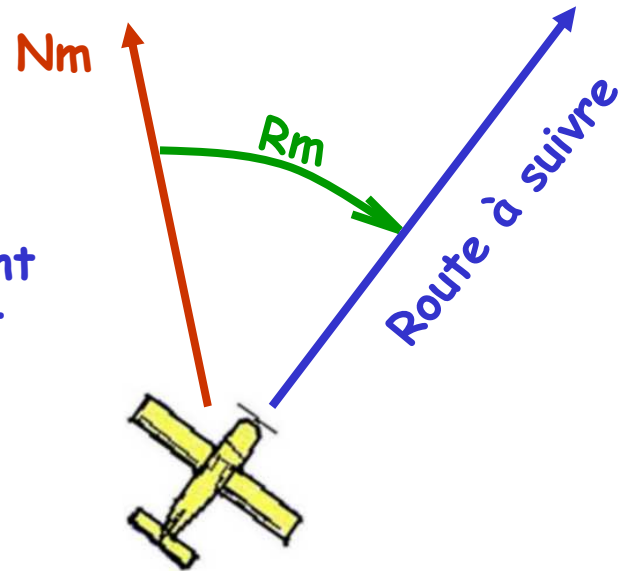
Lignes isogones





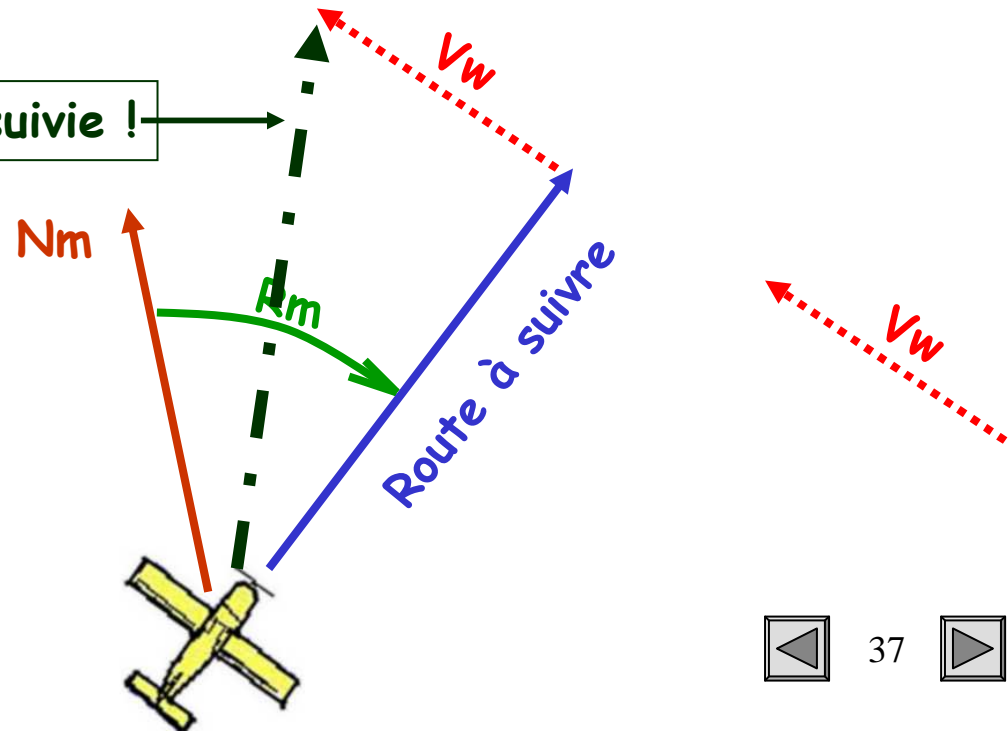
# TRIANGLE DES VITESSES

Sans vent, ayant calculé  $R_m$  à suivre, il suffirait de maintenir le cap de l'avion suivant la route magnétique afin de parvenir au point choisi.



Cependant sous l'action du vent, il en va tout autrement !

Route réellement suivie !





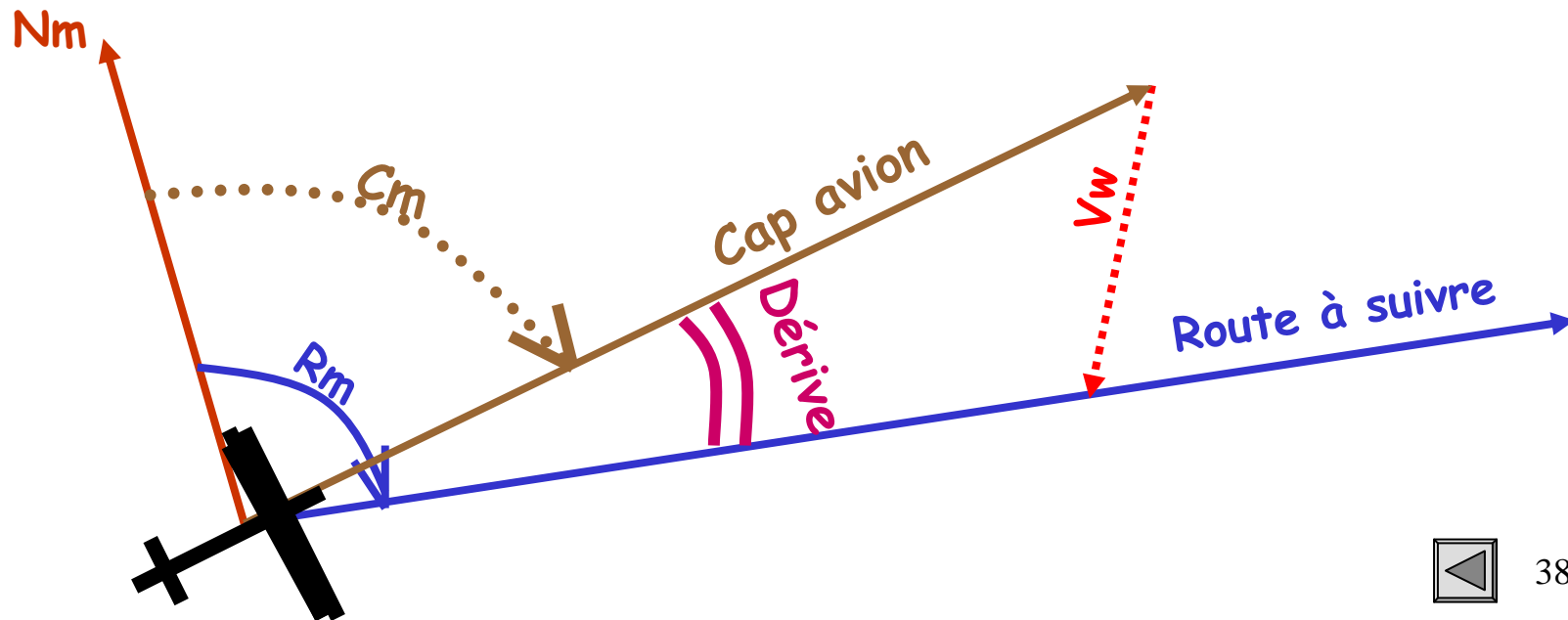
# TRIANGLE DES VITESSES

Sous l'effet du vent, l'avion dérive à droite ou à gauche de sa route (suivant le sens d'où vient le vent)

L'angle entre la route effectivement suivie et le cap de l'avion sera appelé la "Dérive".

Cette dérive devra être calculée afin que l'avion parcoure effectivement la route choisie et non celle subie par le vent et qui n'amènerait jamais à l'endroit souhaité !

Il faut donc introduire la notion de cap magnétique avion ou  $C_m$  qui sous l'effet du vent sera différent de la route effectivement suivie







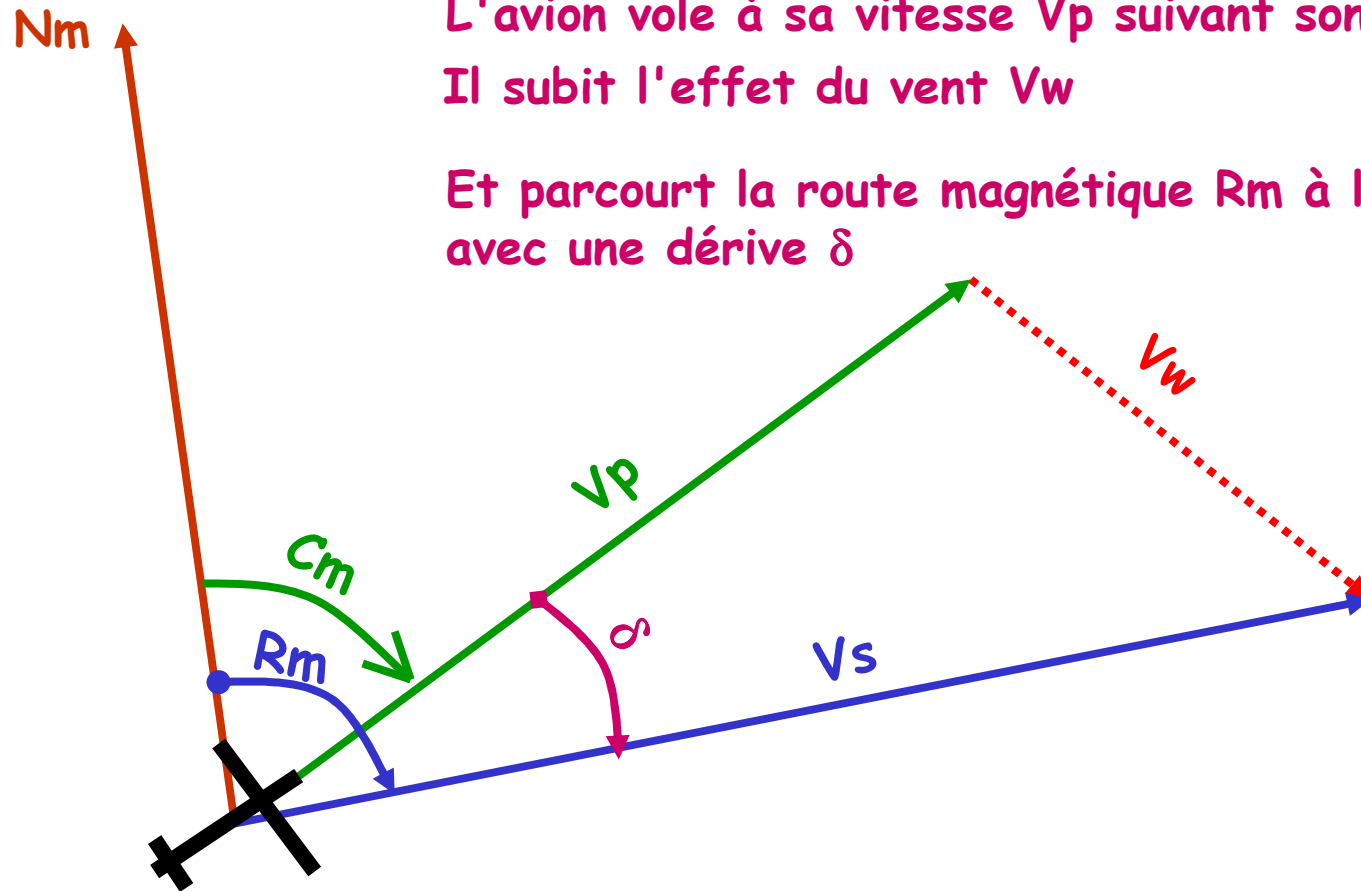
# TRIANGLE DES VITESSES

Nous avons vu que le cap avion ou  $C_m$  était différent de la route  $R_m$  suivie réellement.

Si l'on construit le triangle des vitesses sur 1h00 de vol :

L'avion vole à sa vitesse  $V_p$  suivant son cap magnétique  $C_m$   
Il subit l'effet du vent  $V_w$

Et parcourt la route magnétique  $R_m$  à la vitesse sol  $V_s$   
avec une dérive  $\delta$



# RAPPELS SUR CE MODULE

**Rv : angle entre le méridien local et la route à suivre**

(à partir du méridien et compté suivant le sens horaire)

Mesure de distances sur la carte : sur le méridien le plus proche ou avec règle spéciale

**1° = 60 Nm**  
**1' = 1 Nm**

Facteur de base pour une vitesse  $V_p$ :

$$F_b = \frac{60}{V_p}$$

Temps de parcours en minutes d'une distance  $D$  Nm au facteur de base  $F_b$

$$T \text{ (mn)} = D \text{ (Nm)} \times F_b$$



# RAPPELS SUR CE MODULE

**Rm : angle entre la direction du nord magnétique local et la route à suivre**

(compté suivant le sens horaire)

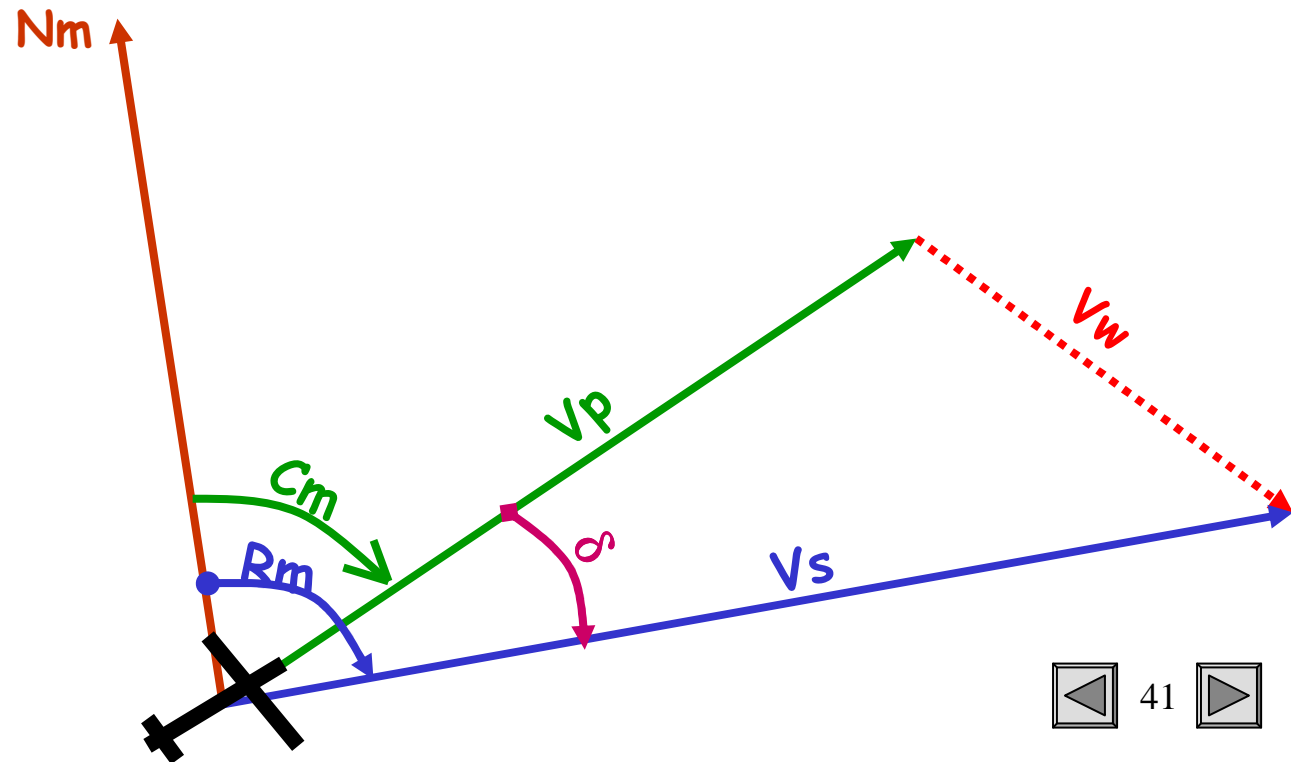
Pour passer du vrai au magnétique :

$$R_m = R_v - D_m$$

avec

$D_m > 0$  si Est  
 $D_m < 0$  si Ouest

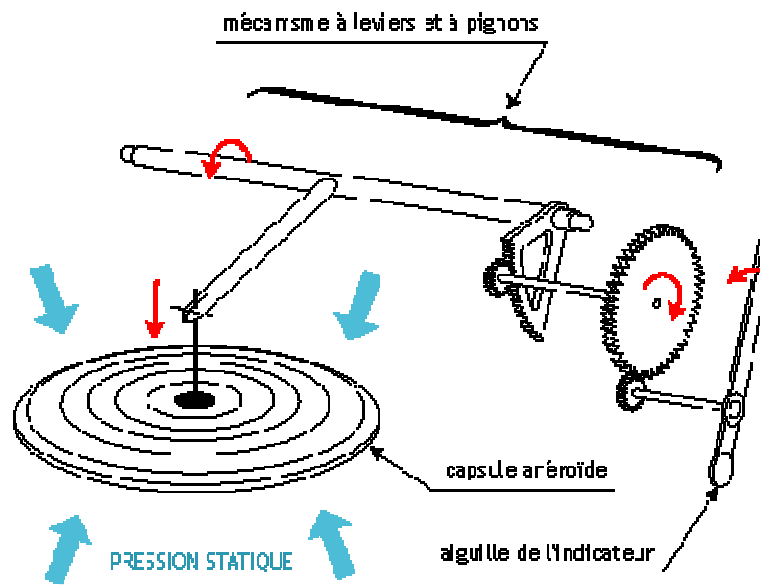
Triangle des vitesses



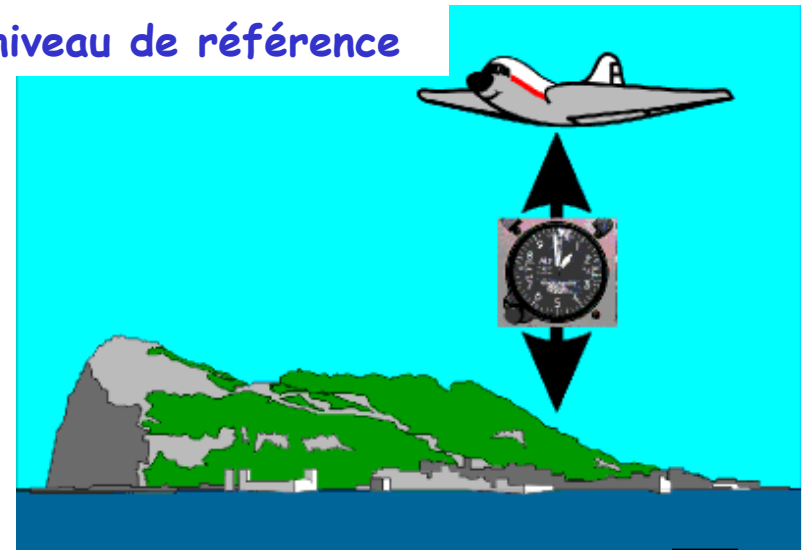
# ALTIMETRIE

Rappels sur l'altimètre :

- Mesure une pression



- Indique un écart d'altitude par rapport à un niveau de référence



# ALTIMETRIE

En résumé :

$$1 \text{ ft} = 0,3 \text{ m}$$

$$1 \text{ m} = 3,3 \text{ ft}$$

Passage de mètres en pieds ou de pieds en mètres

$$\text{m} - - - - > \text{ft} \quad \rightarrow \times 3 + (\text{résultat} / 10)$$

$$\text{ft} - - - - > \text{m} \quad \rightarrow \times 3 / 10$$

# ALTIMETRIE

Atmosphère standard :

- décroissance de la pression si l'altitude augmente
- décroissance logarithmique
- au niveau de la mer : écart de 1 hPa correspond à 28 ft
- à 30.000 : écart de 1 hPa correspond à 100 ft

Extrait du tableau d'atmosphère standard

| Altitude en ft | Pression en hPa |
|----------------|-----------------|
| 30.000         | 301             |
| 24.000         | 393             |
| 18.000         | 506             |
| 1.000          | 697             |
| 5.000          | 843             |
| 0              | 1013,25         |

Par approximation :

Pour nos calculs à basse altitude, nous dirons qu'une variation de 1 hPa correspond à une variation d'altitude de 30 ft

# ALTIMETRIE

Notre altimètre est étalonné selon l'atmosphère standard



Par cette action, le pilote choisit la pression de référence

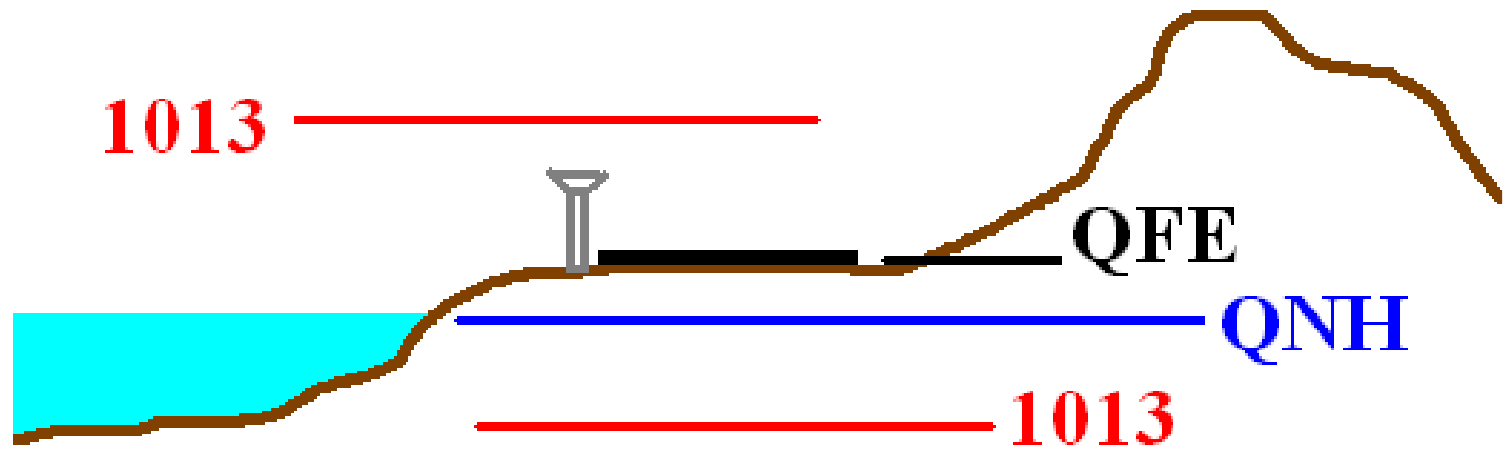
L'action sur le bouton de réglage ne sert qu'à changer l'origine des altitudes

Les possibilités de réglage sont donc infinies, pourtant on en distingue 3 qui donnent des indications utiles au pilote :

- caler le zéro altitude au niveau de l'aérodrome → hauteur par rapport à l'aérodrome
- caler le zéro altitude au niveau de la mer → altitude par rapport à la mer
- caler le zéro à 1013 → indication par rapport à l'atmosphère standard

# ALTIMETRIE

Les 3 calages altimétriques :



QFE = pression régnant sur l'aérodrome considéré

QNH : pression réduite au niveau de la mer  
(pression qu'il y aurait au niveau de la mer du lieu considéré si la mer  
était présente)

1013 = calage atmosphère standard  
(pas forcément représentatif de l'atmosphère réelle du jour)

# ALTIMETRIE

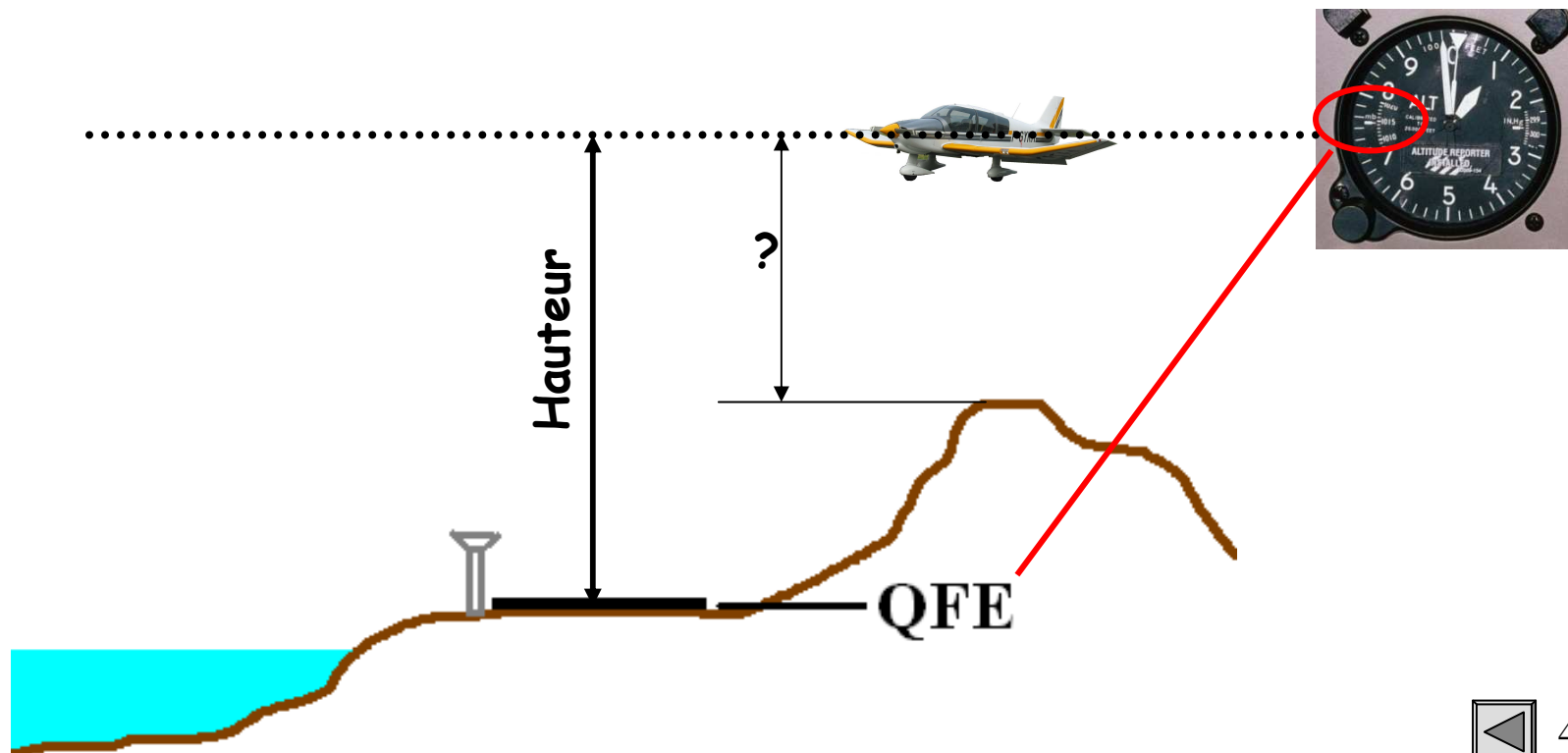
Calage par rapport au niveau de l'aérodrome ou **calage QFE** :

Avantages :

- altimètre indique 0 si avion sur aérodrome
- donne des hauteurs par rapport à cet aérodrome

Inconvénients :

- ne permet pas de déterminer directement l'écart par rapport au relief
- la pression varie en tout lieu de la Terre
- sans intérêt loin du terrain de départ



# ALTIMETRIE

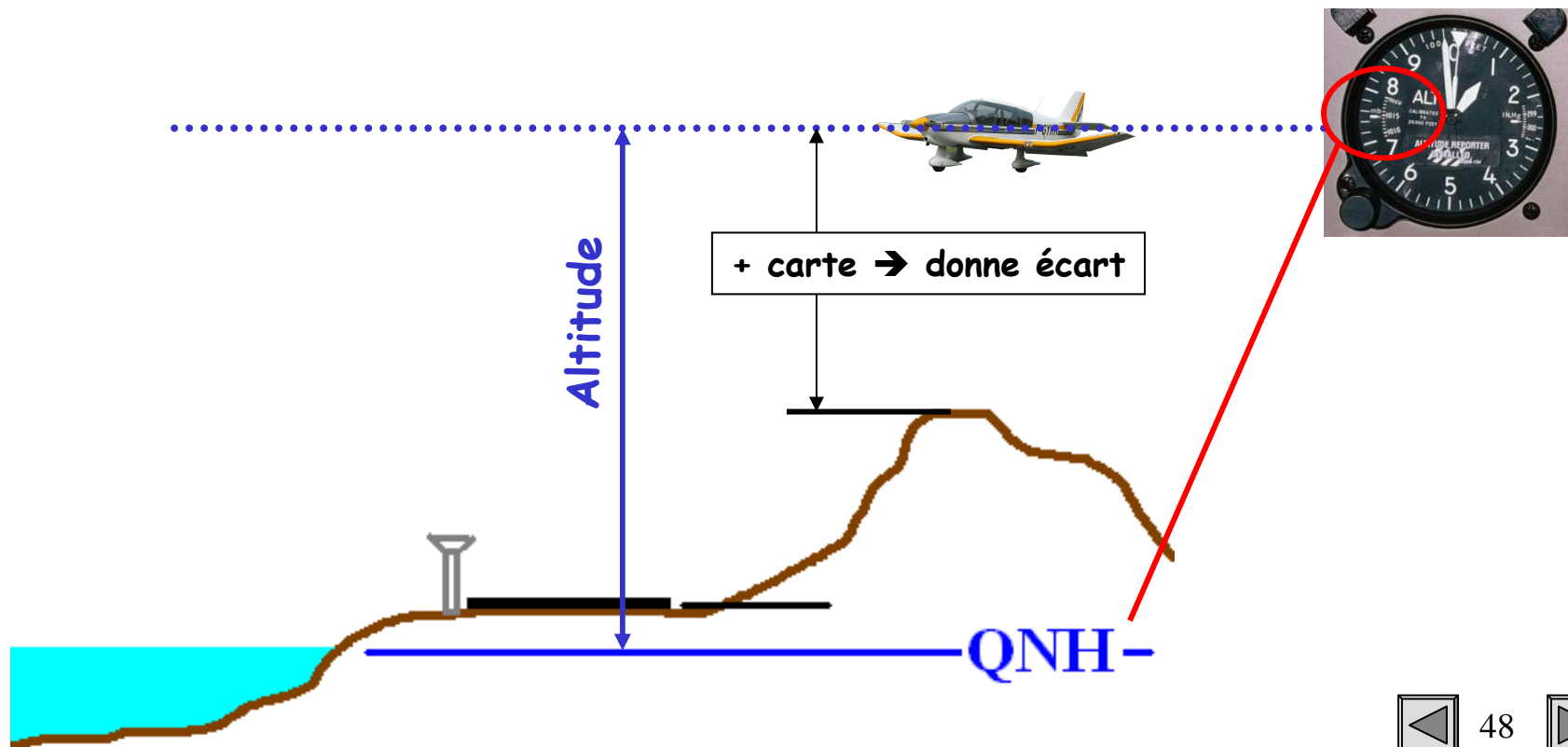
Calage par rapport au niveau de la mer ou **calage QNH** :

Avantages :

- altimètre indique l'altitude de l'aérodrome si avion posé sur cet aérodrome
- donne des altitudes → passage des obstacles (les altitudes des obstacles sont notées sur les cartes de vol à vue)

Inconvénient :

- la pression varie en tout lieu de la Terre → recalage en fonction de la pression locale





# ALTIMETRIE

Calage standard ou **calage 1013** :

Avantage :

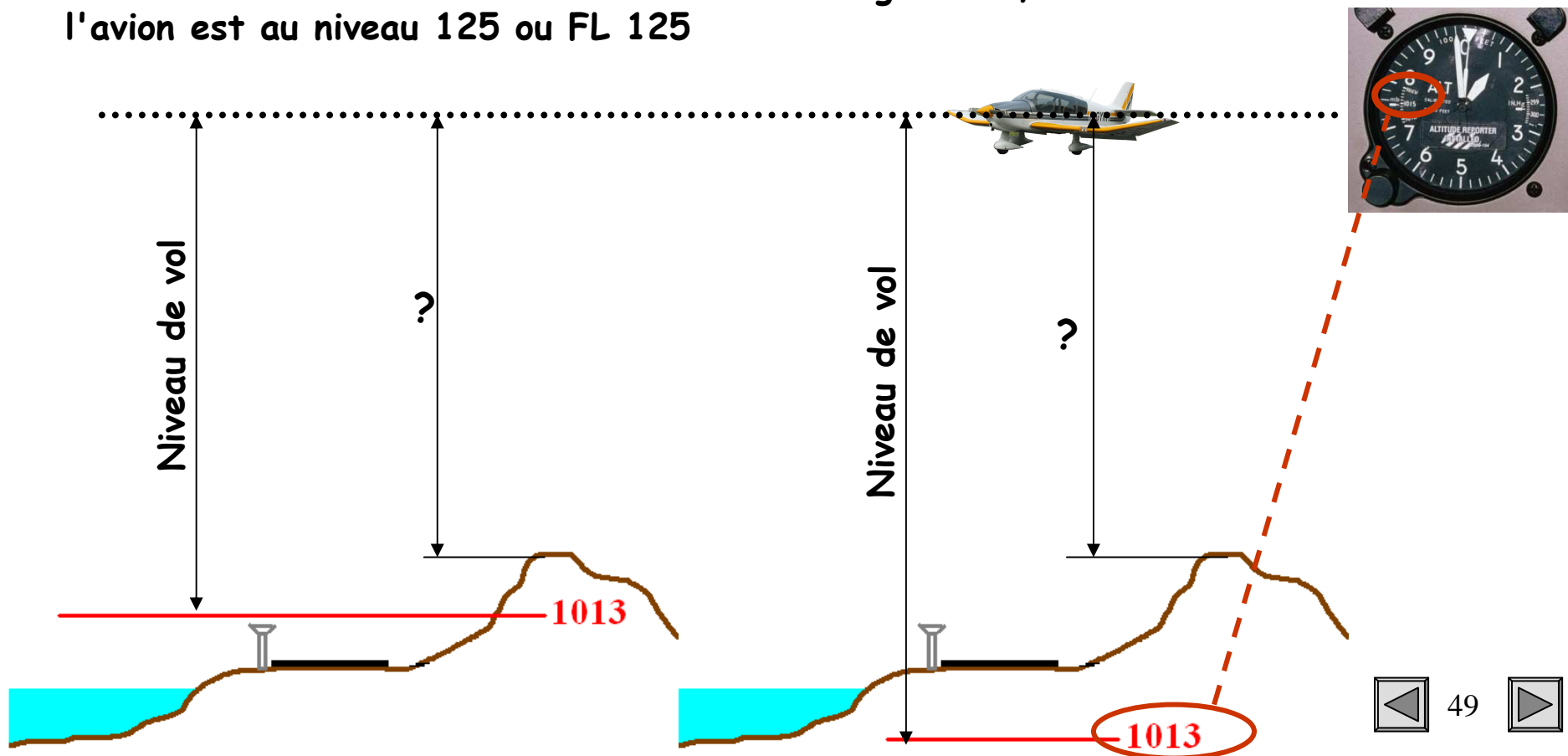
- Tous les avions calés ainsi peuvent être espacés verticalement

Inconvénient :

- non représentatif de l'atmosphère réelle

**Niveau de vol = lecture altimètre / 100**

Ex : si lecture altimètre est 12500 ft au calage 1013,  
l'avion est au niveau 125 ou FL 125



# ALTIMETRIE

Exemple d'espacement (cf module réglementation) semi-circulaire (Impair+5 de 0 à 179° et Pair+5 de 180 à 359°) :



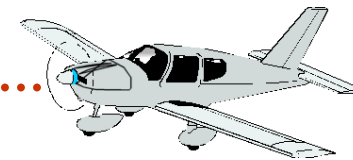
.....9500.ft.ou.FL.95.....

.....8500.ft.ou.FL.85.....



.....7500.ft.ou.FL.75.....

.....6500.ft.ou.FL.65.....



Espacement de :

- 2000 ft mini pour les avions ayant des routes dans le même demi-cercle
- 1000 ft mini pour des avions ayant des routes dans des demi-cercles différents

# DEVIATION DU COMPAS

Le compas, sensible aux champs magnétiques terrestres, est également influencé par les masses magnétiques de l'avion ainsi que par les appareils pouvant créer des champs magnétiques (radios, combinés micro-casque ...)

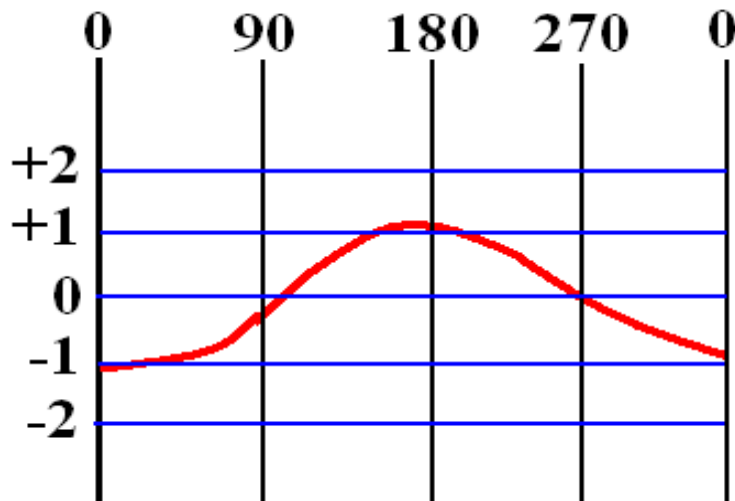
D'où la nécessité de compenser le compas à différents caps dans le but de limiter les perturbations.

Cependant la compensation ne permet pas de retrouver le cap magnétique réel, d'où la réalisation d'une "table de compensation" ou d'une "courbe de compensation" donnant les corrections à appliquer par le pilote en fonction du cap magnétique suivi.

→ Cap compas  $C_c \neq C_m$



La correction à appliquer en fonction du  $C_m$  est appelée "DEVIATION DU COMPAS"



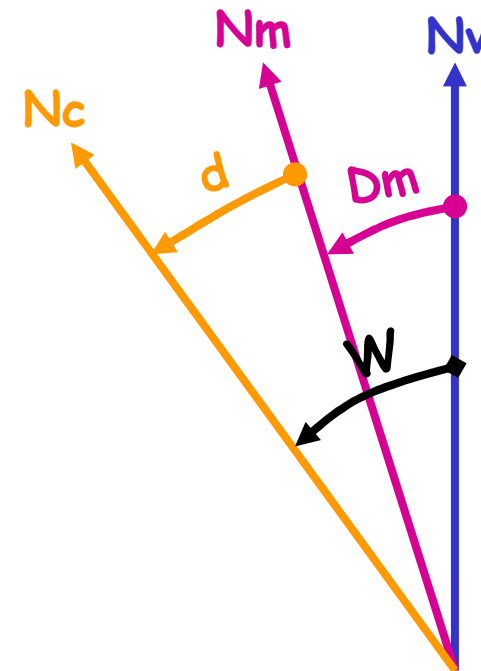
| $C_c$ | $d$ |
|-------|-----|
| 360°  | -1  |
| 030°  | -1  |
| 060°  | -1  |
| 090°  | 0   |
| 120°  | 0   |
| 150°  | +1  |
| 180°  | +1  |
| ...   | ... |

# DEVIATION DU COMPAS

Relation entre cap compas et cap magnétique :

$$C_c = C_m - d$$

Avec  $d$  = déviation du compas



On appelle variation  $W$  la somme de  $D_m$  et  $d \rightarrow W = D_m + d$

## RADIO-COMPAS ou ADF



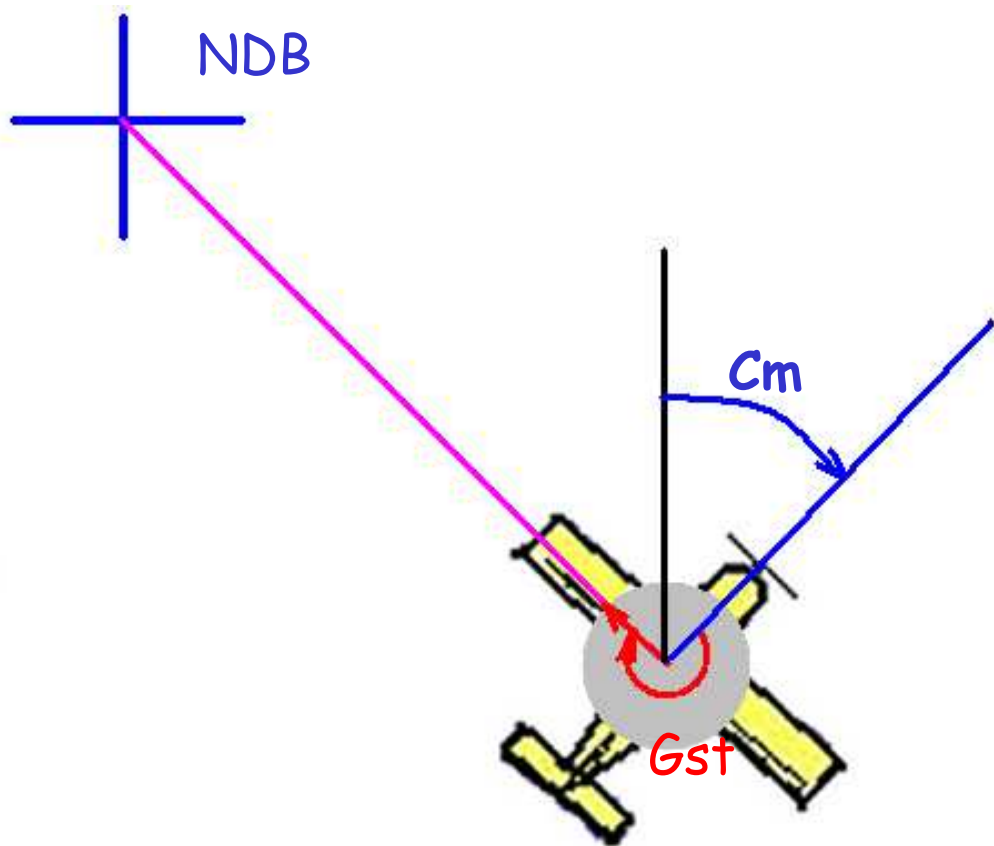
L'ADF (Automatic Direction Finder) :  
fréquence de 200 à 1750 KHz

- au sol, une station émet dans toutes les directions sans référence angulaire particulière. La porteuse est modulée par un signal BF (1020 Hz), lui-même découpé en signal morse représentatif de l'indicatif de la station.
- à bord, un récepteur, réglé par le pilote sur la fréquence de la station, indique en permanence la direction de la station

On distingue :

- le NDB (Non Directionnel Beacon) : portée 50 Nm en général avec un indicatif 3 lettres et utilisé en navigation
- le Locator : portée 25 Nm en général avec un indicatif 2 lettres, utilisé en approche

# RADIO-COMPAS ou ADF

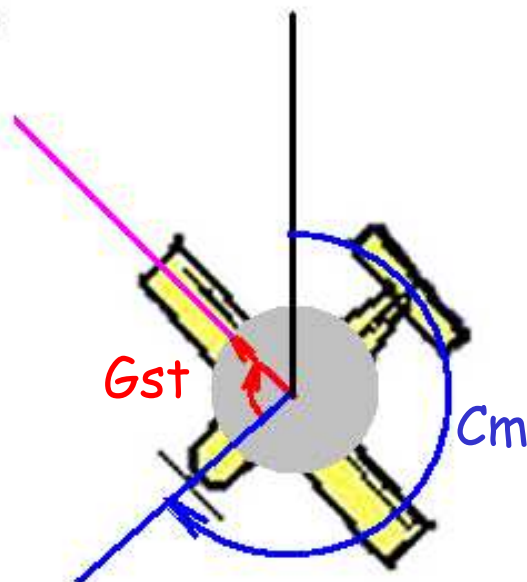


On appelle gisement l'angle entre l'axe de l'avion (appelé aussi ligne de foi) et la direction donnée par l'aiguille du radio-compass

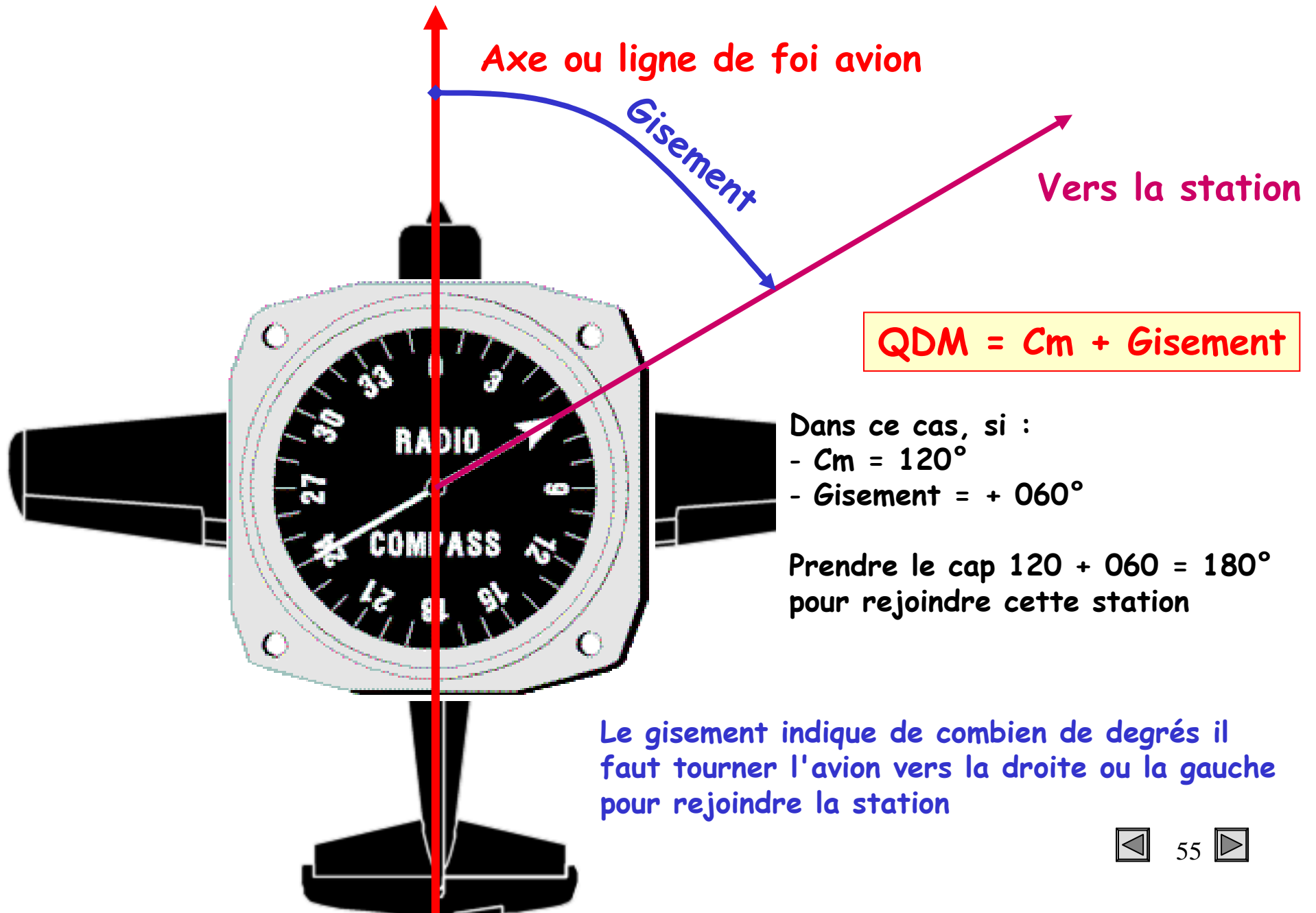
La route à suivre pour rejoindre la station est donnée par la formule :

$$QDM = Cm + Gst$$

L'indication de gisement est fonction du cap de l'avion



# RADIO-COMPAS ou ADF



$$QDM = Cm + Gisement$$

Dans ce cas, si :

- $Cm = 120^\circ$
- $Gisement = + 060^\circ$

Prendre le cap  $120 + 060 = 180^\circ$   
pour rejoindre cette station

Le gisement indique de combien de degrés il faut tourner l'avion vers la droite ou la gauche pour rejoindre la station

# RADIO-COMPAS ou ADF

Boîtier de commandes :

Indicateur  
gisement  
opérationnel

Fréquence  
active

Fréquence en  
attente ou  
chronomètre

Réglage de la  
fréquence



Réception indicatif modulé  
(Beat Frequency Oscillator)

Marche / Arrêt  
et volume  
d'écoute indicatif

Sélecteur de fréquence  
(activer celle en attente)



# RADIO-COMPAS

Indicateurs de bord :

Type simple (manuel): le cadran est fixe et son 0 correspond à la ligne de foi avion.

Sur certains indicateurs il est possible de faire tourner la rose afin d'afficher le cap avion, l'aiguille indique alors le QDM.



Type RMI (automatique) : le cadran s'oriente suivant le cap de l'avion, l'aiguille donne directement le QDM en effectuant donc la somme  $C_m + \text{gisement}$

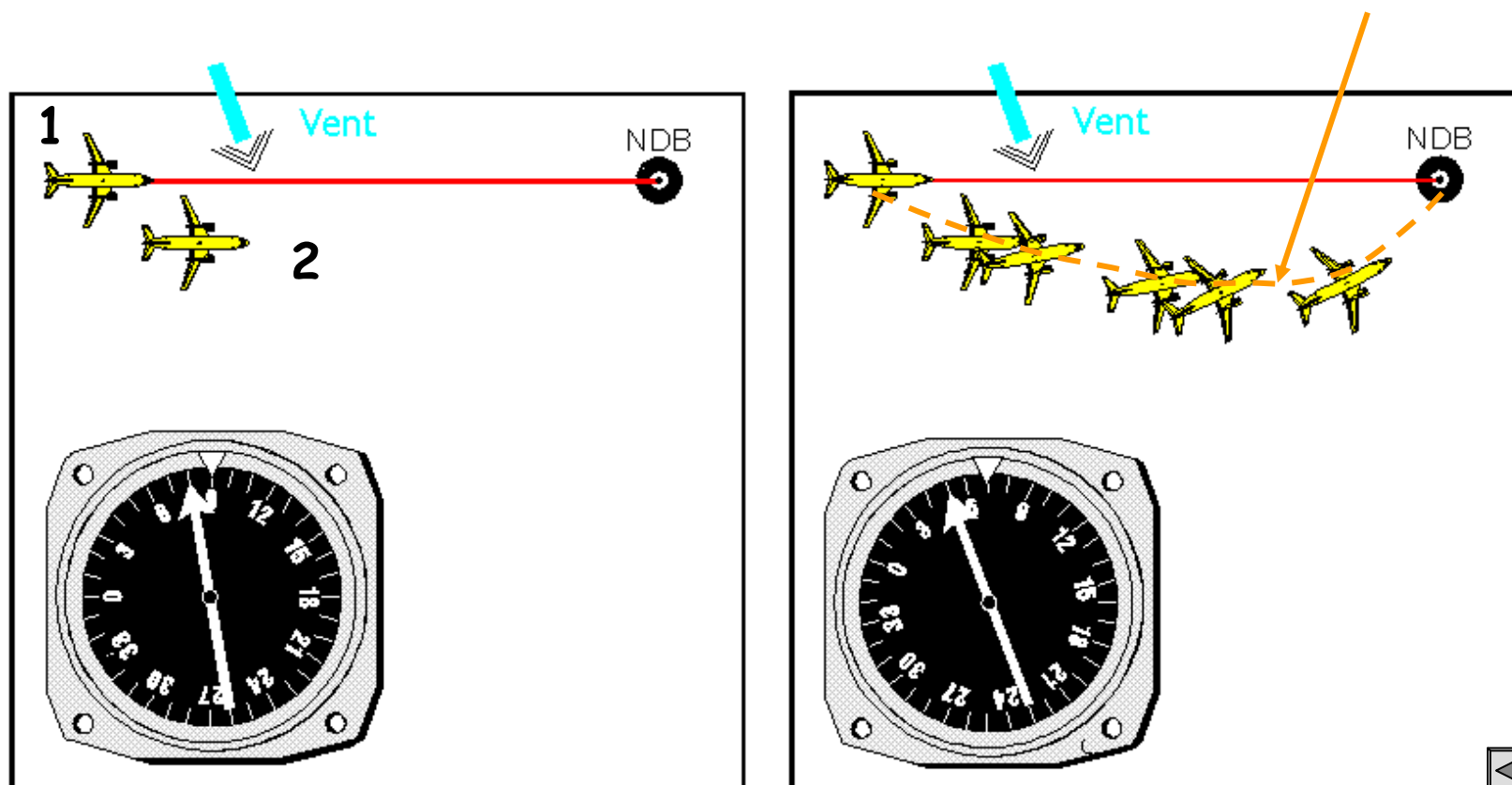


# RADIO-COMPAS ou ADF

Effet du vent si l'on corrige en permanence de façon à conserver un gisement nul

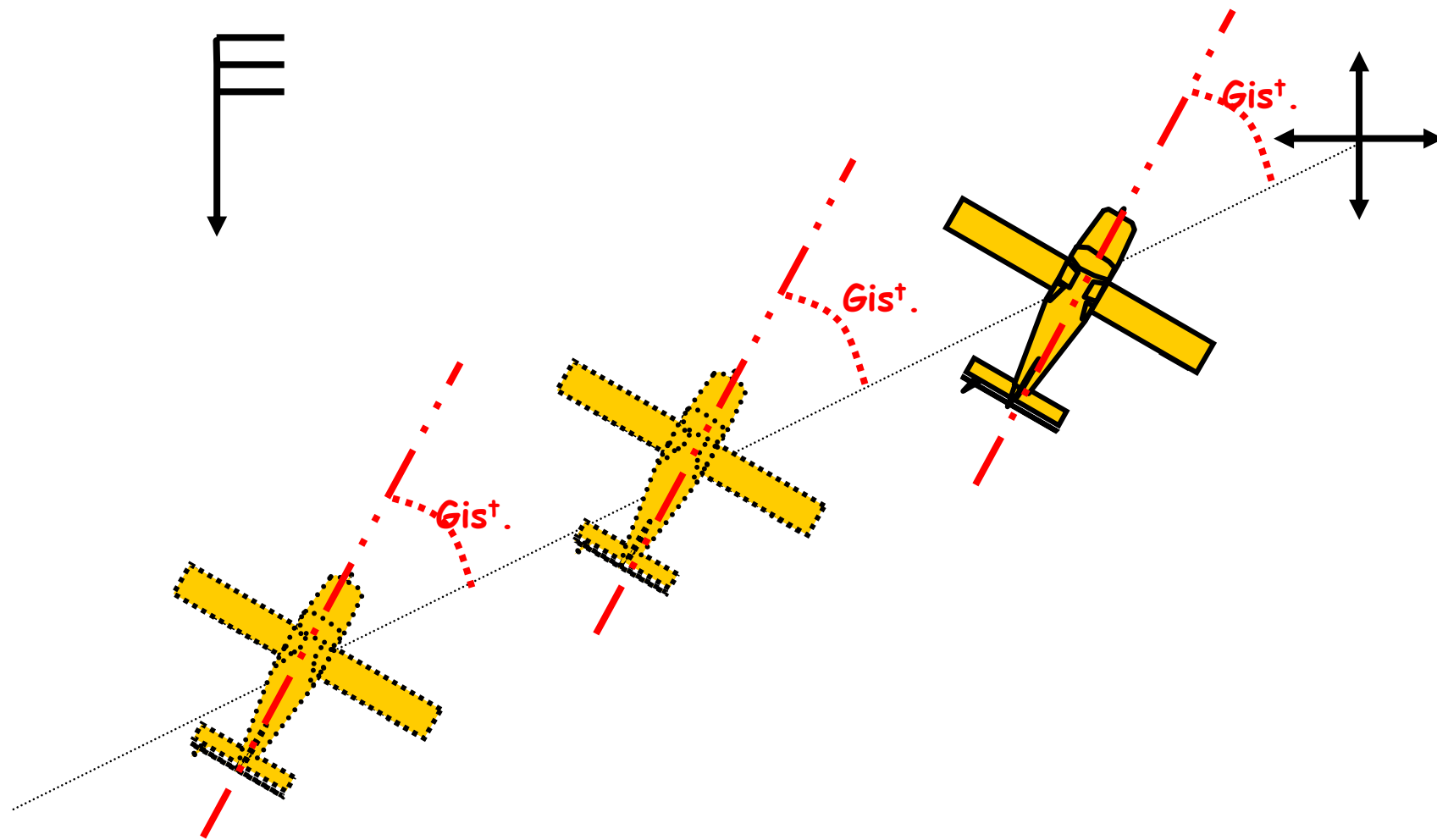
Sous l'effet du vent, l'avion initialement en 1 se retrouvera ensuite en 2

Si l'on continue à voler gisement 0, il parcourt la courbe suivante :



# RADIO-COMPAS ou ADF

## LA CORRECTION DE DERIVE



Le gisement constant correspond à la valeur de la dérive

# RADIO-COMPAS ou ADF

Limites d'utilisation :

- Sensible aux perturbations magnétiques (cas des orages, l'aiguille indique la direction de l'orage) et aux masses situées près de l'antenne d'émission sol (présence de hangars)
- Effet de nuit (du à la réfraction atmosphérique) important lorsque la distance à la station augmente
- Sensible à l'effet de relief (distorsion de la direction du signal reçu)

Précision moyenne : environ 5°

# VOR

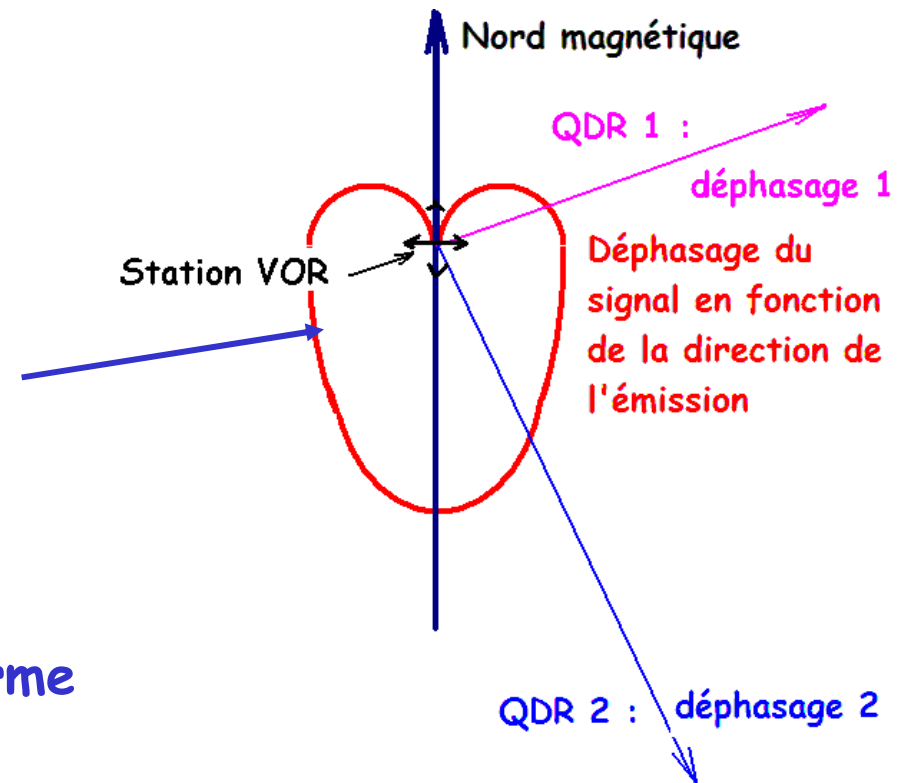
VOR = VHF Omnidirectional Range

Composé de :

- une station sol qui envoie dans toutes les directions des informations de relèvement, sous forme de QDR.

(Le signal est composé d'un signal primaire et d'un signal secondaire déphasé du précédent sous la forme d'une cardioïde tournant à 30 tours par seconde)

- Un récepteur de bord qui traite l'information et la retransmet sous forme d'un QDR  $\pm 180^\circ$ .



# VOR

Les émetteurs sont implantés sur les aérodromes ou les routes aériennes.

Fréquences d'émission de 108 à 117,95 MHz

Portée optique donc réception fonction de l'altitude :

Distance de réception en Nm =  $1,23 \sqrt{H}$  en ft

Représentation sur les cartes :





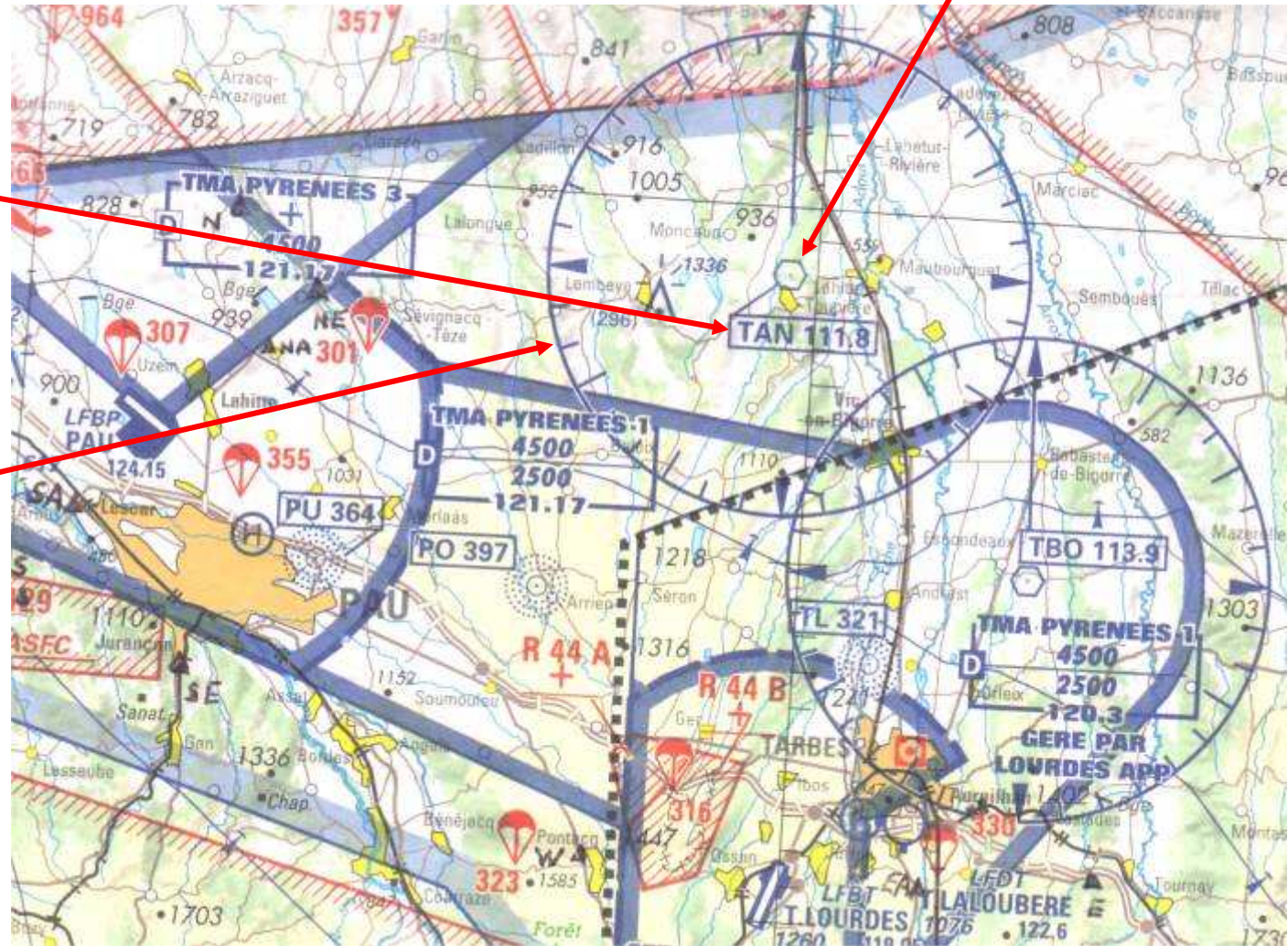
# VOR

Symbole cartes de navigation

Emplacement

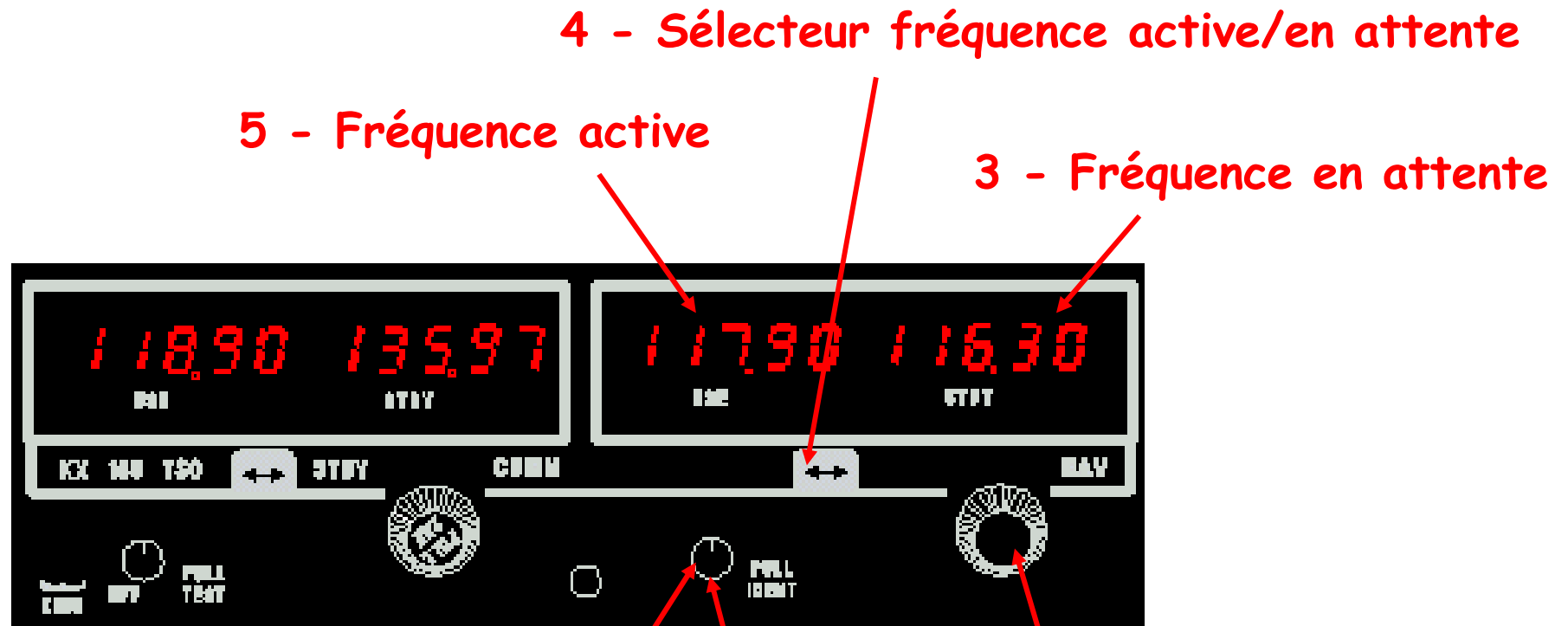
Fréquence et  
Indicatif morse

Rose des QDR  
associée et  
orientée  
suivant le nord  
magnétique de  
la station



## VOR - Mise en oeuvre

Récepteur de bord couplé au récepteur VHF



4 - Sélecteur fréquence active/en attente

5 - Fréquence active

3 - Fréquence en attente

1 - Marche / arrêt et niveau sonore de la réception indicatif

2 - Sélecteur de fréquences

6 - Ecoute de l'indicatif (si rien, ne pas utiliser le VOR)



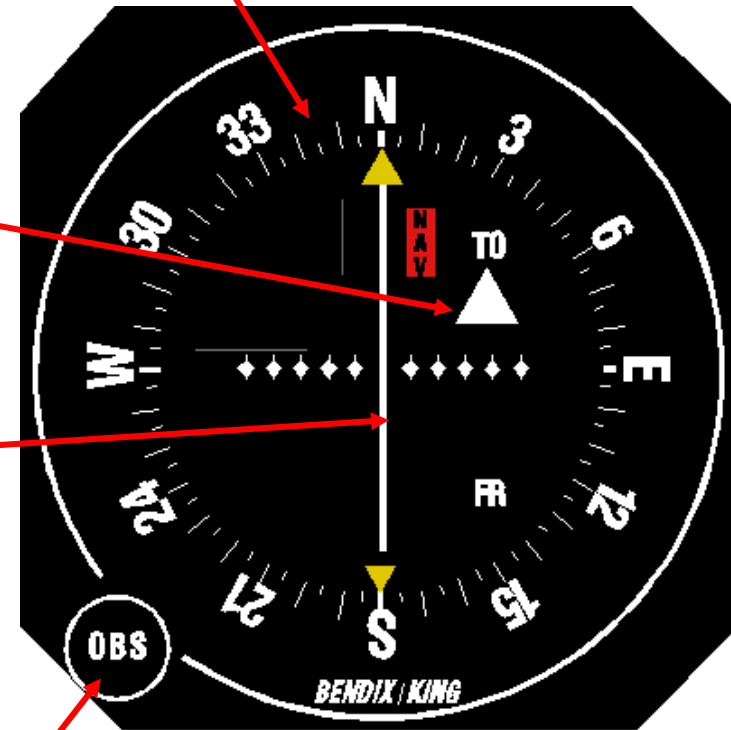
# VOR

Indicateur

Rose des QDM / QDR

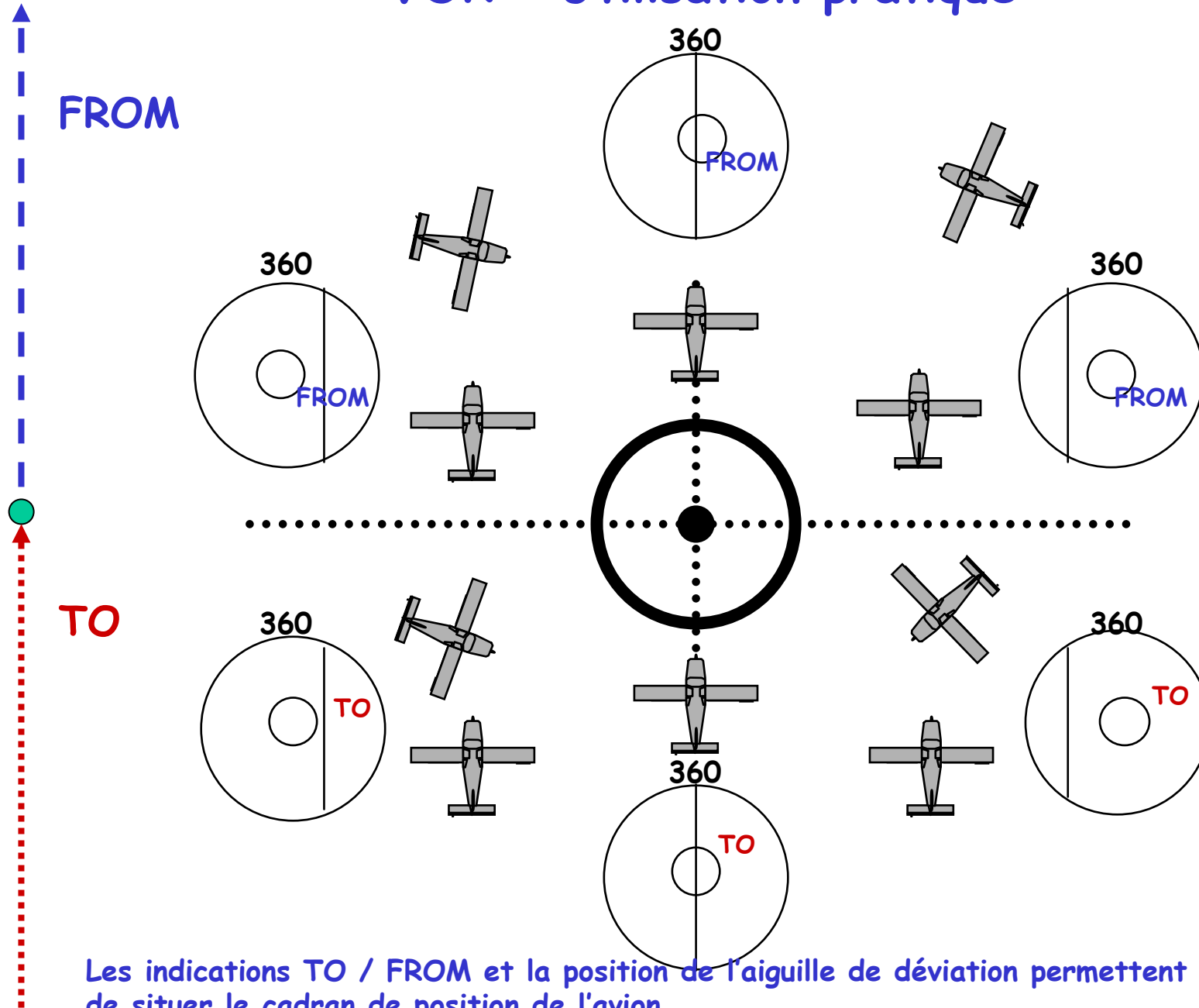
Indicateur TO / FROM  
TO = QDM  
FROM = QDR

Aiguille de déviation  
(déviation maxi droite ou gauche = 10°)



OBS : Omni Bearing Selector  
(rotation de la rose - sélection QDM / QDR)

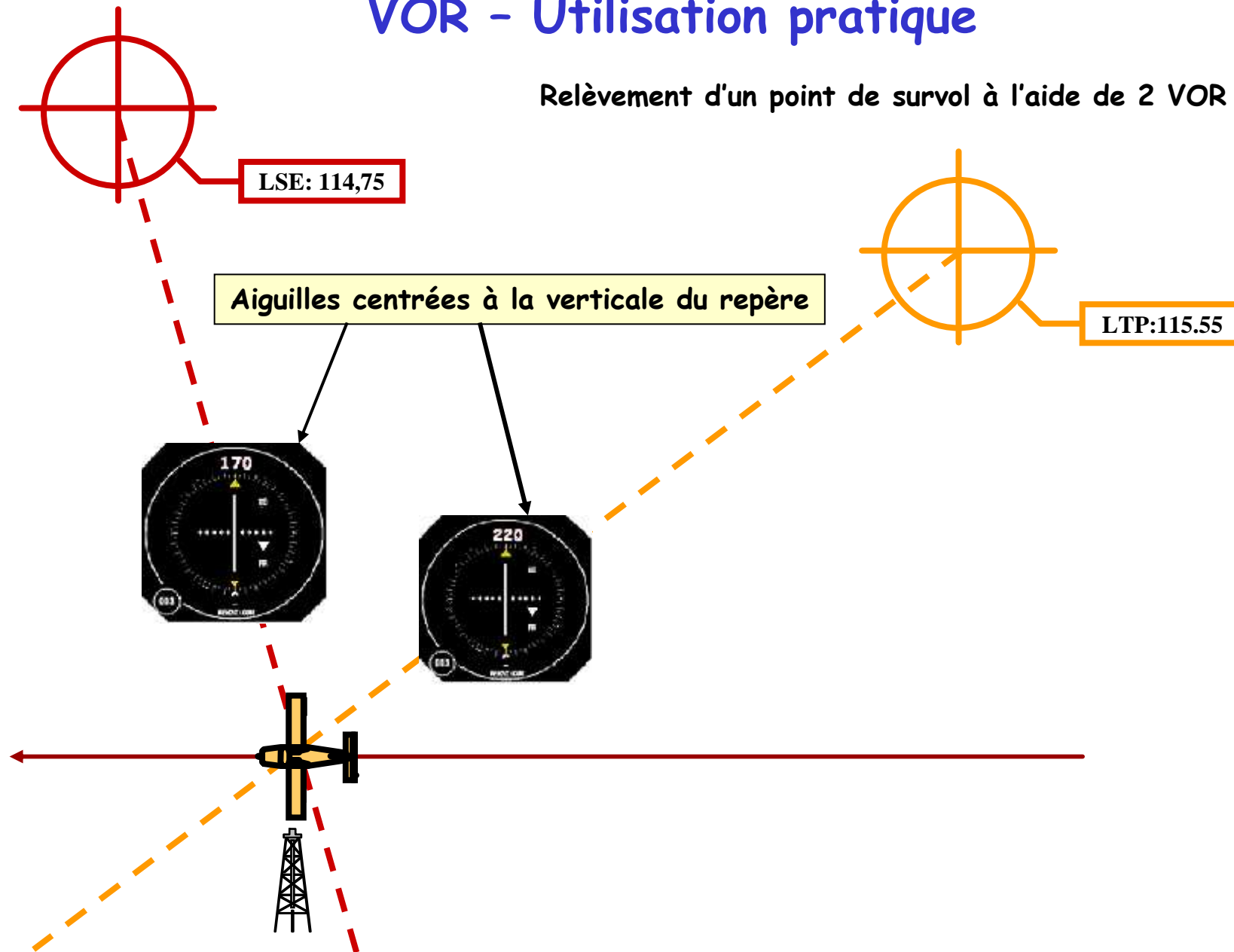
# VOR - Utilisation pratique



Les indications TO / FROM et la position de l'aiguille de déviation permettent de situer le cadran de position de l'avion.

# VOR - Utilisation pratique

Relèvement d'un point de survol à l'aide de 2 VOR



## VOR - RMI

RMI = radio magnetic indicator

QDM du radio-compass sélectionné

A un directionnel, on adjoint les indications de QDM / QDR données par un VOR ou un radio-compass. Ces indications sont représentées par 1 ou 2 aiguilles.



QDM du VOR sélectionné

# VOR - Avantages et inconvénients

Avantages :

- Indication stable
- Indication précise
- Insensible aux éléments météorologiques

Inconvénients :

- Portée optique donc réception fonction de l'altitude

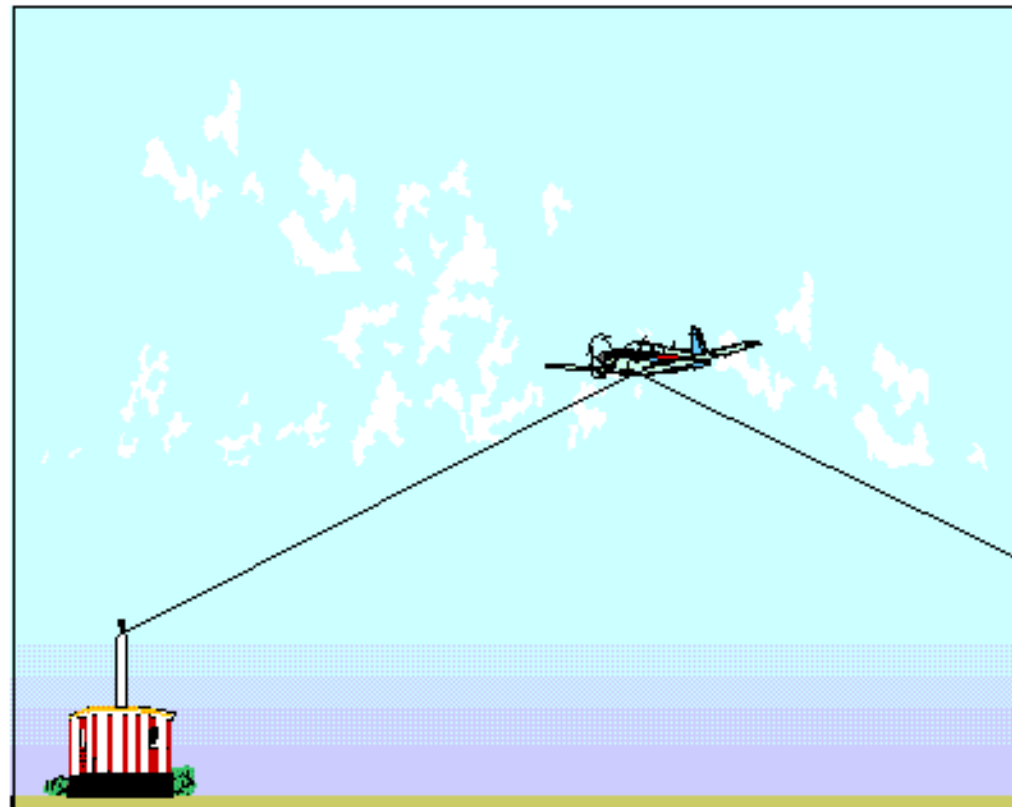


# DME - Distance Measuring Equipment

L'émetteur de bord envoie des impulsions d'interrogation à la station sol sélectionnée.

La station sol répond à ces impulsions avec un retard de 50 microsecondes.

Le récepteur calcule le retard à la réception et en déduit une distance



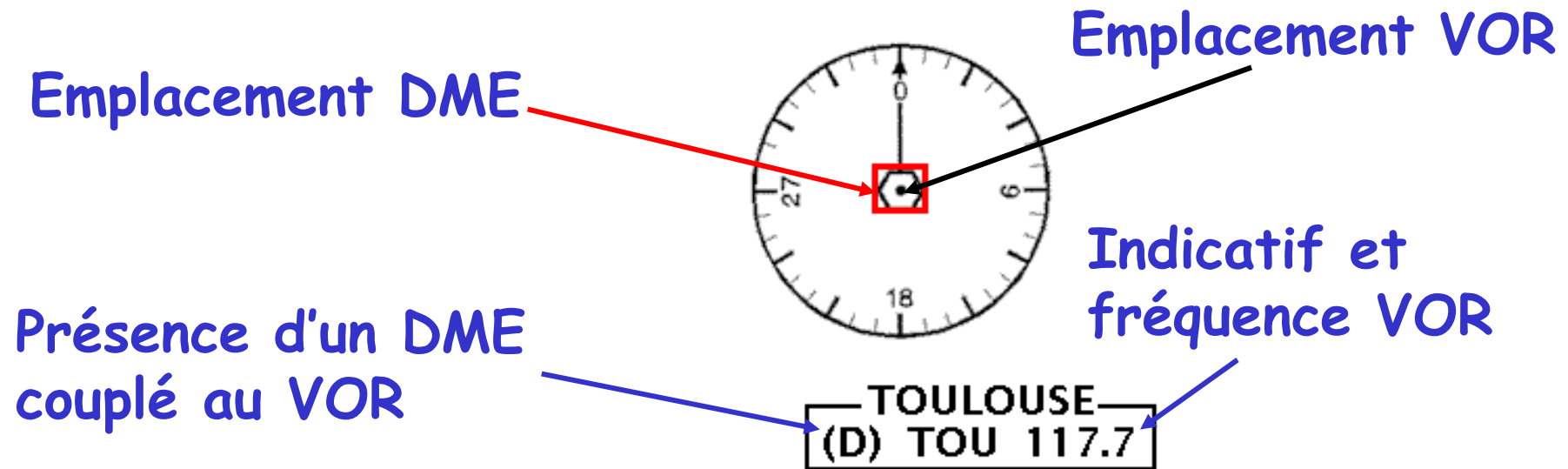
# DME - Distance Mesuring Equipment

Le DME est apparié - soit à un VOR  
- soit à un ILS

L'affichage de la fréquence VOR ou ILS permet la réception effective de la distance DME.

En écoute, l'indicatif DME est reçu en alternance avec celle du VOR  
(2 fois indicatif VOR puis 1 fois indicatif DME)

Représentation sur les cartes de vol à vue



# DME - Distance Mesuring Equipment

Mise en œuvre / Indicateur :

Sélecteur vitesse sol ou temps pour rejoindre la station

Distance DME

Fréquence active

Activer le sélecteur de fréquences



Sélection des fréquences

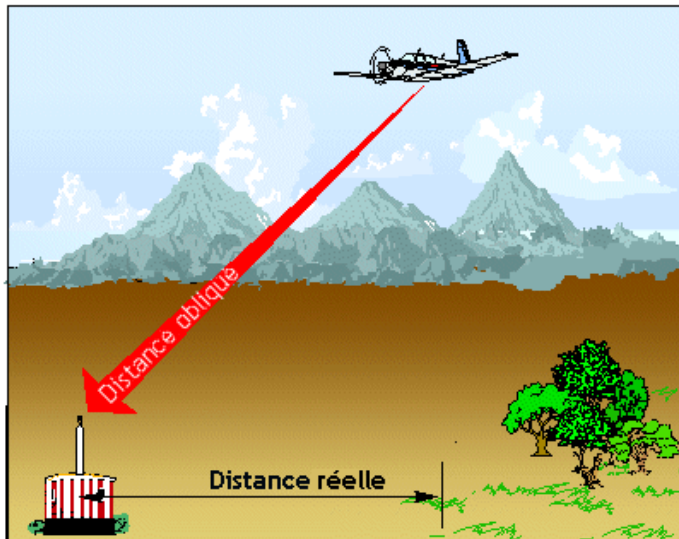
Interrupteur Marche / Arrêt



# DME - Distance Measuring Equipment

- Précision : 0,2 Nm
- Information disponible directement
- Portée visuelle

L'émetteur ne peut être interrogé que par un nombre limité d'appareils (inférieur à 200)

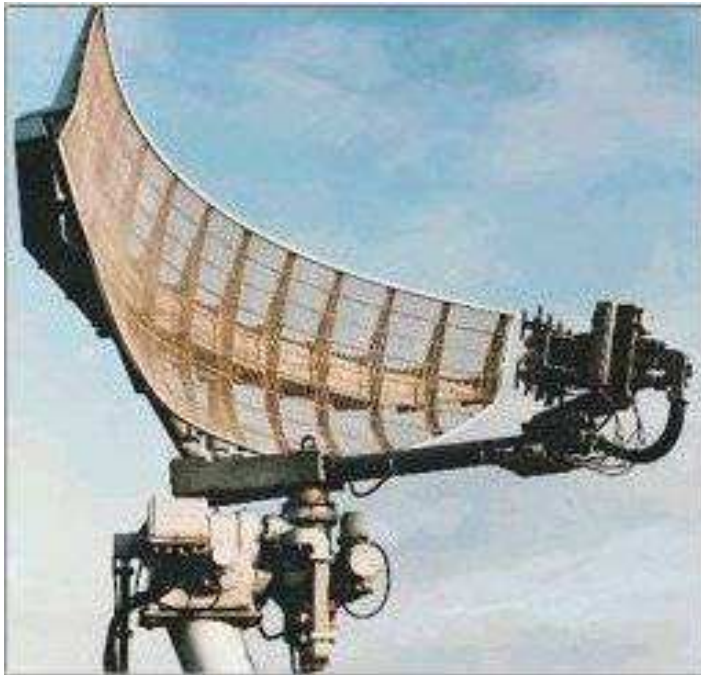


L'indication reçue est la distance oblique station - avion.

L'erreur augmente quand l'avion se rapproche de l'émetteur

# RADAR

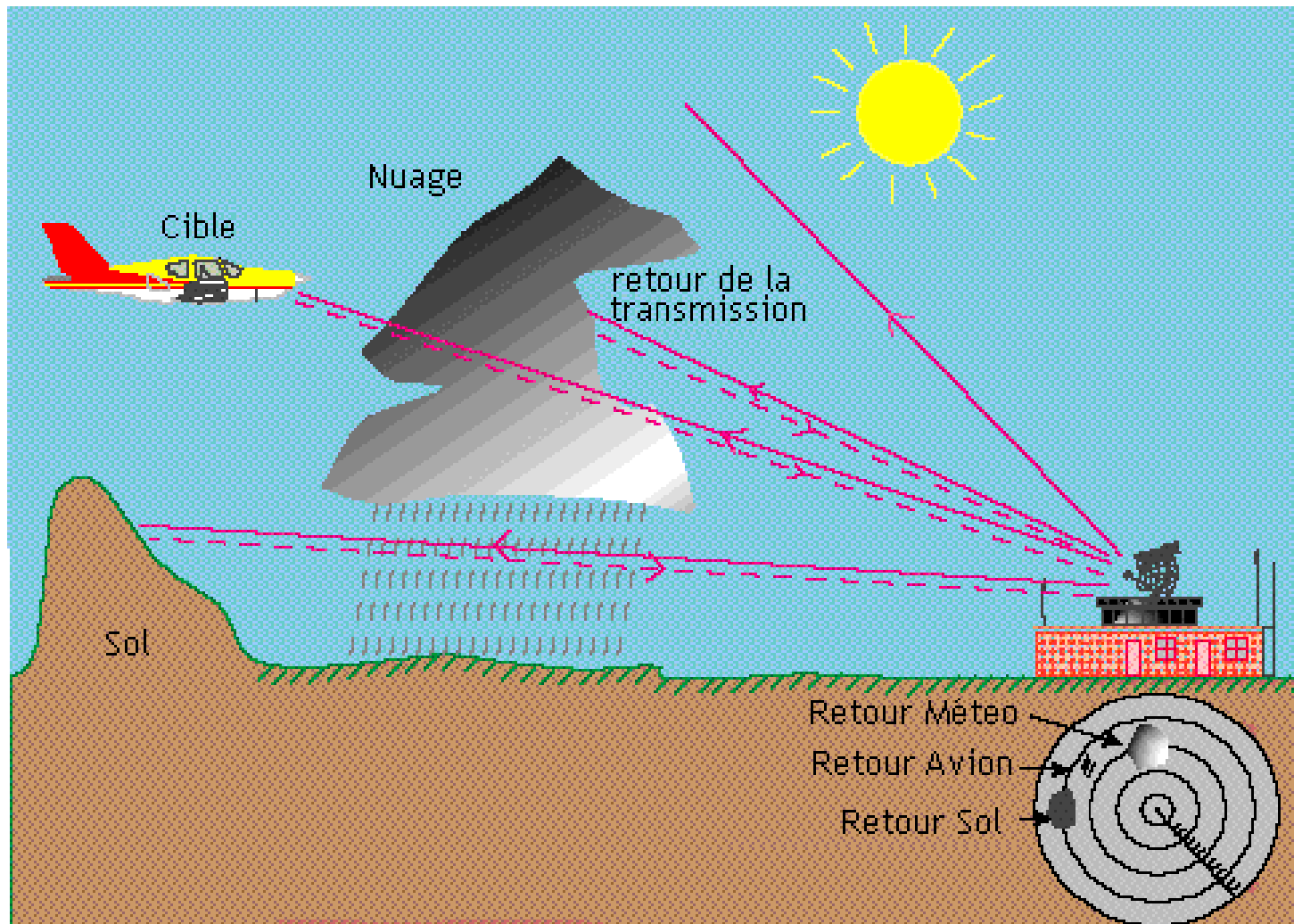
Au sol, une antenne parabolique tournant sur elle-même, émet des impulsions radioélectriques de courtes durées à très hautes fréquences. Après réflexion sur un obstacle, ces impulsions sont reçues sur un récepteur associé à l'antenne.



Le temps aller-retour et l'orientation de l'antenne permettent de situer l'écho visualisé sur un écran.



# RADAR



Des radars embarqués à bord de certains avions utilisent ce principe pour détecter les formations nuageuses plus ou moins denses

# RADAR

Radar primaire : utilise le principe général du radar

Ne peut détecter un avion volant à basse altitude  
Les fortes précipitations peuvent créer de "faux échos"

Radar secondaire ou radar de surveillance (SSR) : généralement associé au radar primaire

Le radar envoie une interrogation à l'aéronef dont le transpondeur de bord fournit une réponse.

La réponse est décodée puis envoyée sur le scope radar sous la forme d'un écho associé à une étiquette

Cette étiquette peut comporter l'indicatif avion, son altitude ...

Nb : tous les transpondeurs sont obligatoirement alticodeurs (transmission de l'altitude avion)

# TRANSPONDEUR DE BORD

Il s'agit de l'équipement de bord qui permet de répondre au radar secondaire

Sur demande du contrôle, permet d'afficher un signal particulier sur le scope pour confirmer l'identification avion

Marche (émission activée)

Arrêt

Code affecté au vol

Sélection de la transmission d'altitude avion



Position d'attente, aucune émission

Sélection des digits du code affecté par le contrôle

# TRANSPONDEUR DE BORD

Rappel des codes spéciaux :

Détresse : code 7700

Panne radio : code 7600

Détournement : code 7500

VFR en zone contrôlée sans code spécifique assigné : code 7000

# Le cheminement

## Principe :

Consiste à suivre des lignes naturelles ou artificielles

## Quand et pourquoi :

Chaque fois que la météo est dégradée et que votre navigation vous amène à suivre un axe naturel ou artificiel

Par choix du pilote

## Comment :

En vol, se placer à droite de l'axe à suivre. Assurer une vigilance extérieure accrue car cette méthode est souvent utilisée lors de mauvaises conditions météorologiques

## Choix des repères :

Les fleuves et rivières importantes

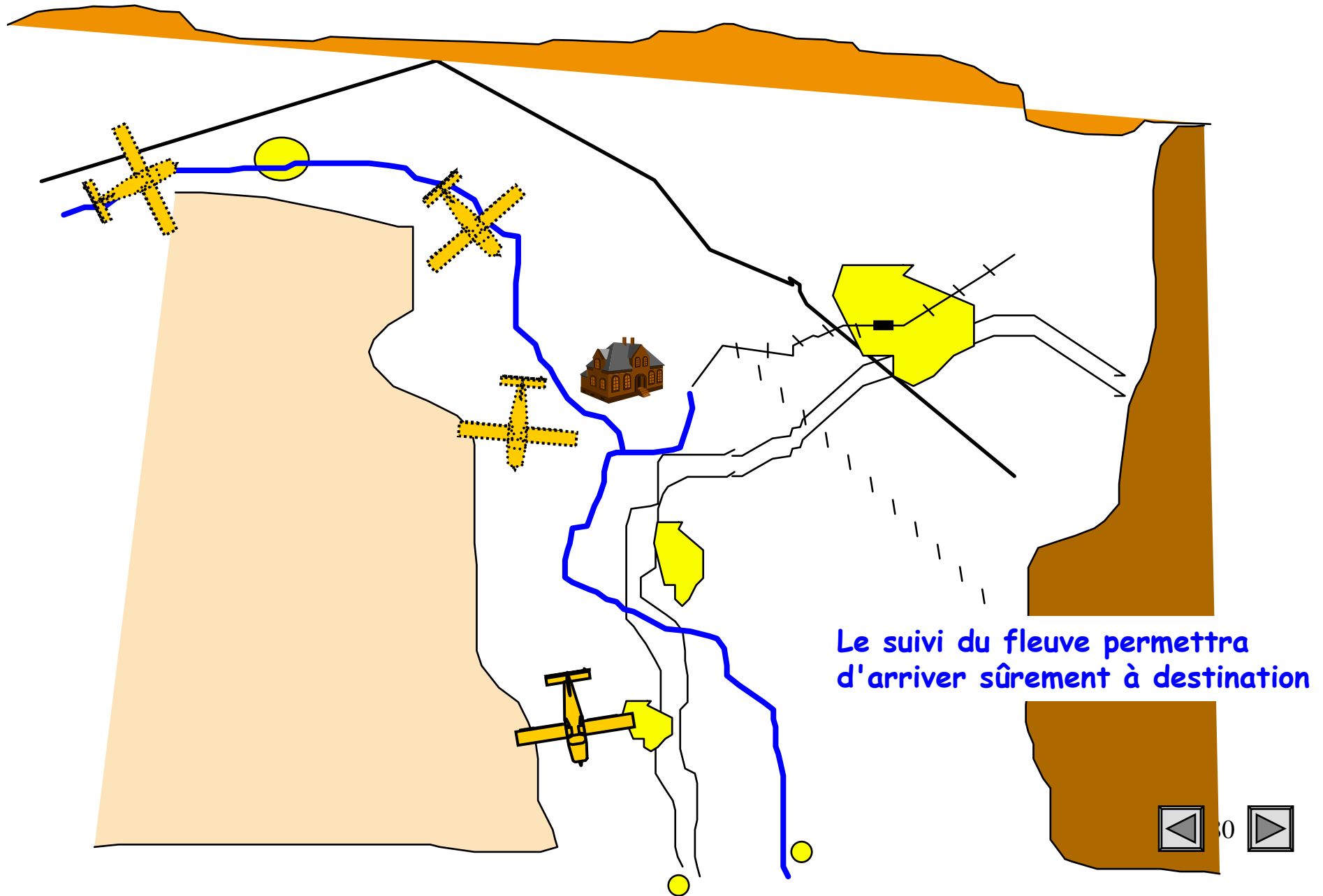
Les autoroutes et routes principales

Les voies ferrées

Les côtes et vallées

Les lignes HT en régions boisées

# SUIVI DE LA NAVIGATION





# L' estime

- ◆ Principe :

La position de départ étant connue, il faut déterminer une  $R_m$  à suivre pour rejoindre le point de destination. On en déduit un temps de vol compte-tenu de la distance et des performances de l'avion.

- ◆ Quand et pourquoi :

C'est le principe de base de la navigation et le moyen le plus rapide pour arriver à destination.

- ◆ Comment :

Lors de la préparation du vol, on mesure une  $R_m$  et on calcule un temps sans vent ( $T_{sv}$ ).

Au moment de la réalisation, on calcule un cap magnétique ( $C_m$ ) et un temps effectif ( $T_e$ ) en fonction des dernières conditions météo.

# L' estime

## ◆ Choix des repères :

Les fleuves, rivières, lacs importants

Les autoroutes et routes à grande circulation

Les voies ferrées multiples

Les côtes et vallées

Les lignes HT en régions boisées

Villes et aéroports importants

## ◆ Facteurs influents :

Le vent

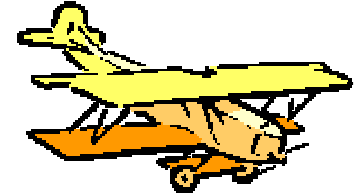
La nébulosité

La précision du pilote

Les changements d'altitude et de niveau de vol

# L'estime élémentaire

Permet de rejoindre 2 points par la ligne droite (trajet le plus direct)



Nécessite de connaître :

- l'angle  $R_m$  entre le Nord magnétique et la route à suivre
- la distance  $D$  à parcourir en Nm
- compte tenu de la vitesse d'en déduire le temps sans vent
- compte tenu du vent d'en déduire :
  - le cap à prendre pour suivre la route
  - le temps réel avec vent

# La radionavigation

- ◆ Principe : Suivre un axe radioélectrique ou baliser un point ou une entrée/sortie de zone.
- ◆ Les instruments :
  - Le radiocompas (ADF)
  - Le VOR
  - Le GPS (avec RAIM)
- ◆ Utilisation : voir cours RNav

La radionavigation est parfois le seul recours du pilote VFR en transit maritime.

Les règles de l'air l'imposent dans le cas du VFR sans la vue du sol (VFR on top avec contact obligatoire avec un organisme de contrôle).

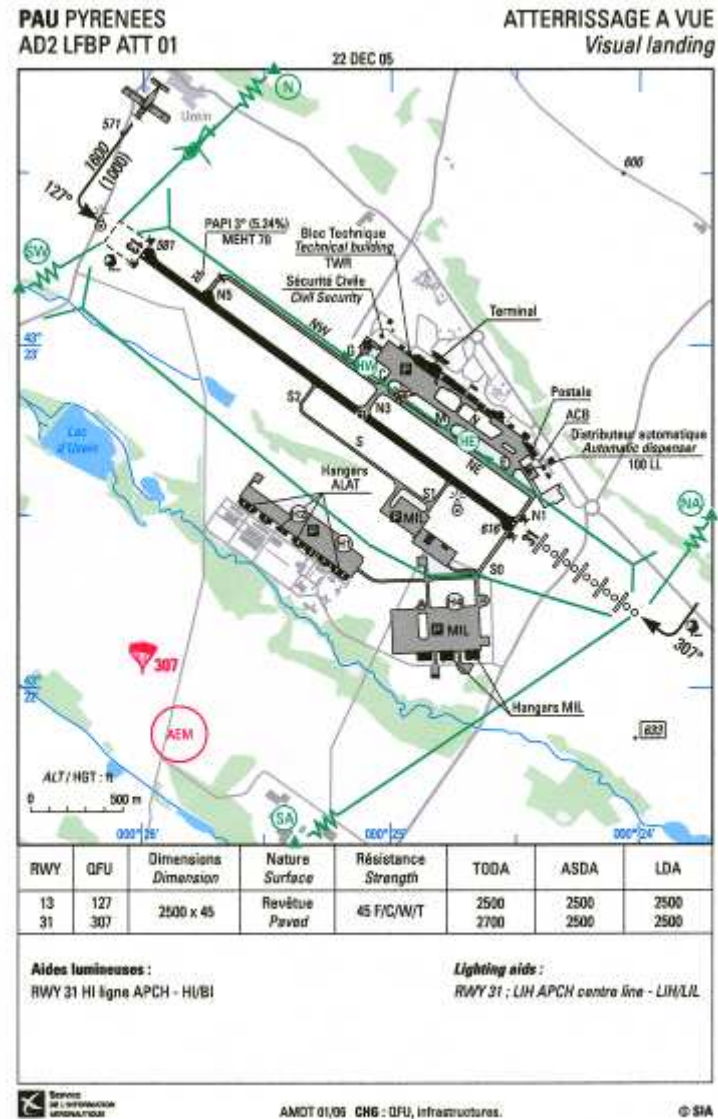
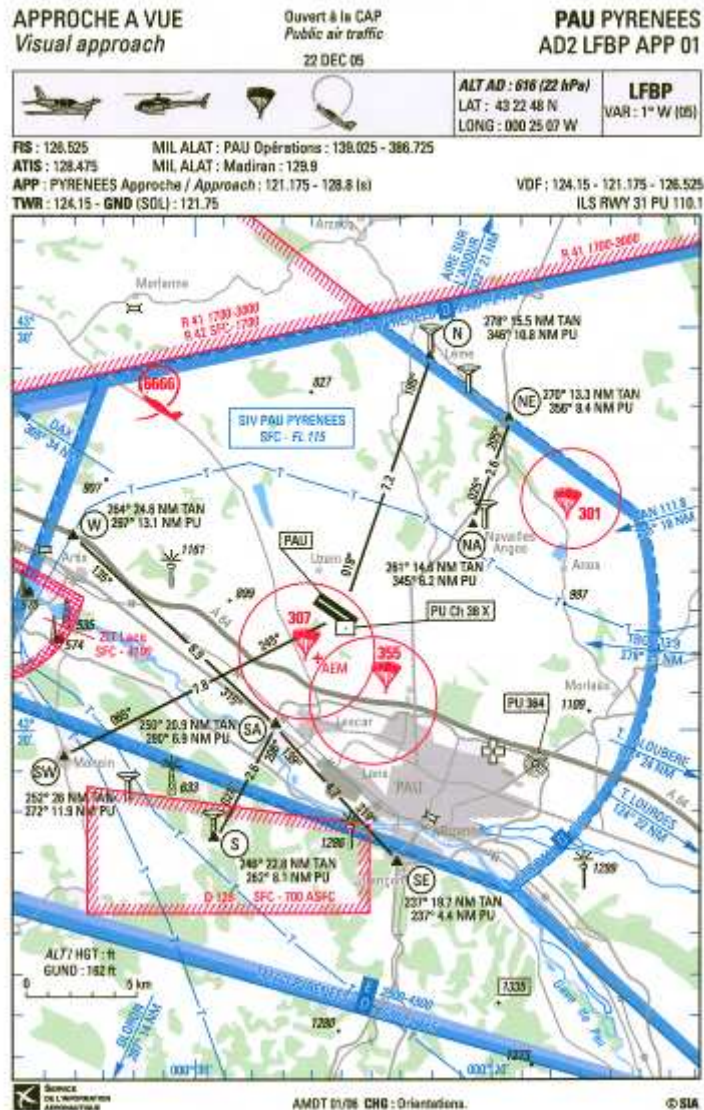
# Les cartes et manuels utilisés en navigation

Cartes de navigation à vue au 1/500.000, les plus utilisées en préparation du vol et durant le vol

Cartes de navigation au 1/1.000.000  
(surtout utilisées en préparation du vol avec tous les espaces et zones particulières mais peu utilisables en navigation à vue car beaucoup moins de repères)

Cartes d'approche à vue ou cartes VAC utilisables au sol et en vol

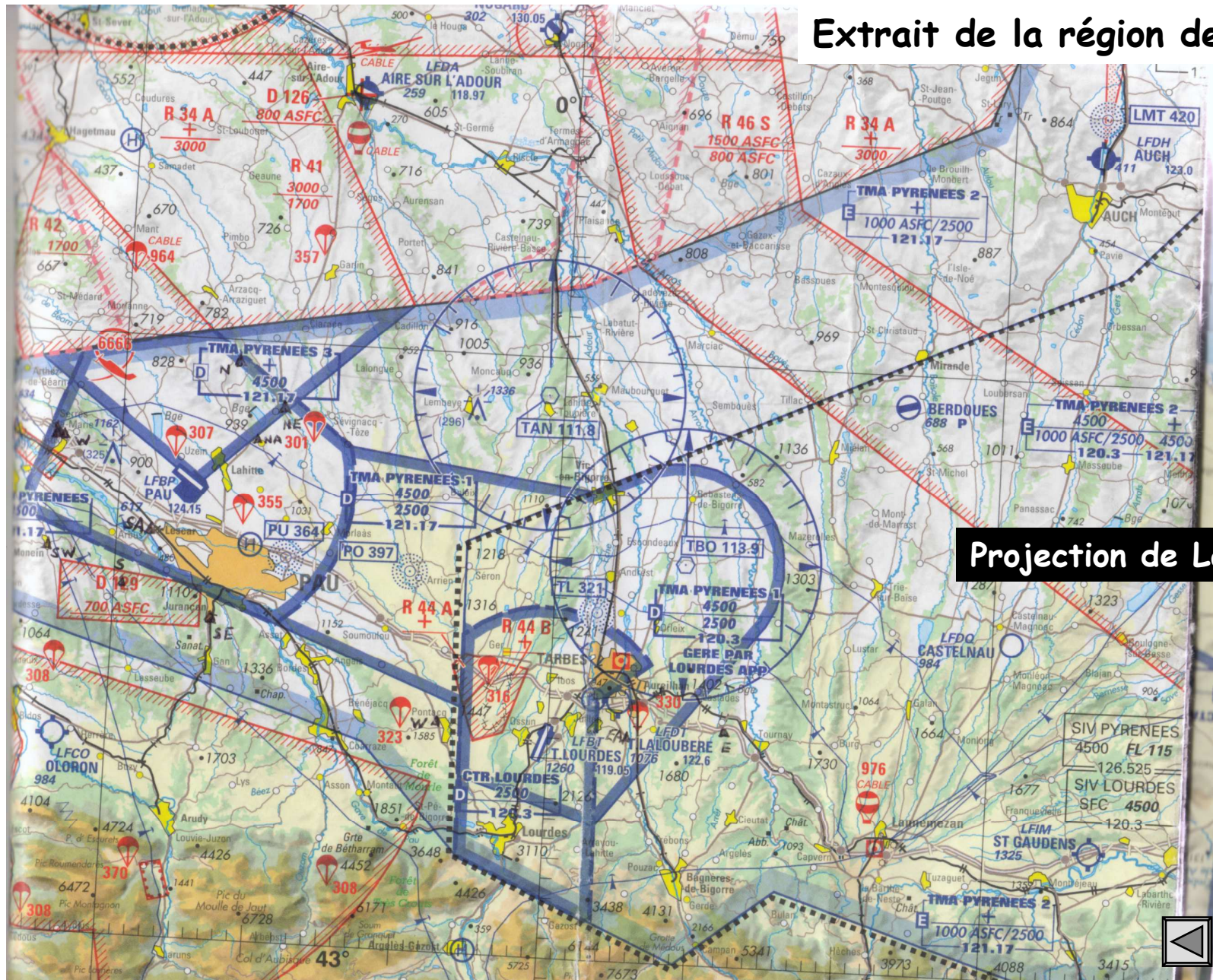
# Les cartes et manuels utilisés en navigation





# CARTE DE NAVIGATION A VUE 1/500.000

Extrait de la région de PAU



Projection de Lambert





# CARTE DE NAVIGATION A VUE 1/500.000

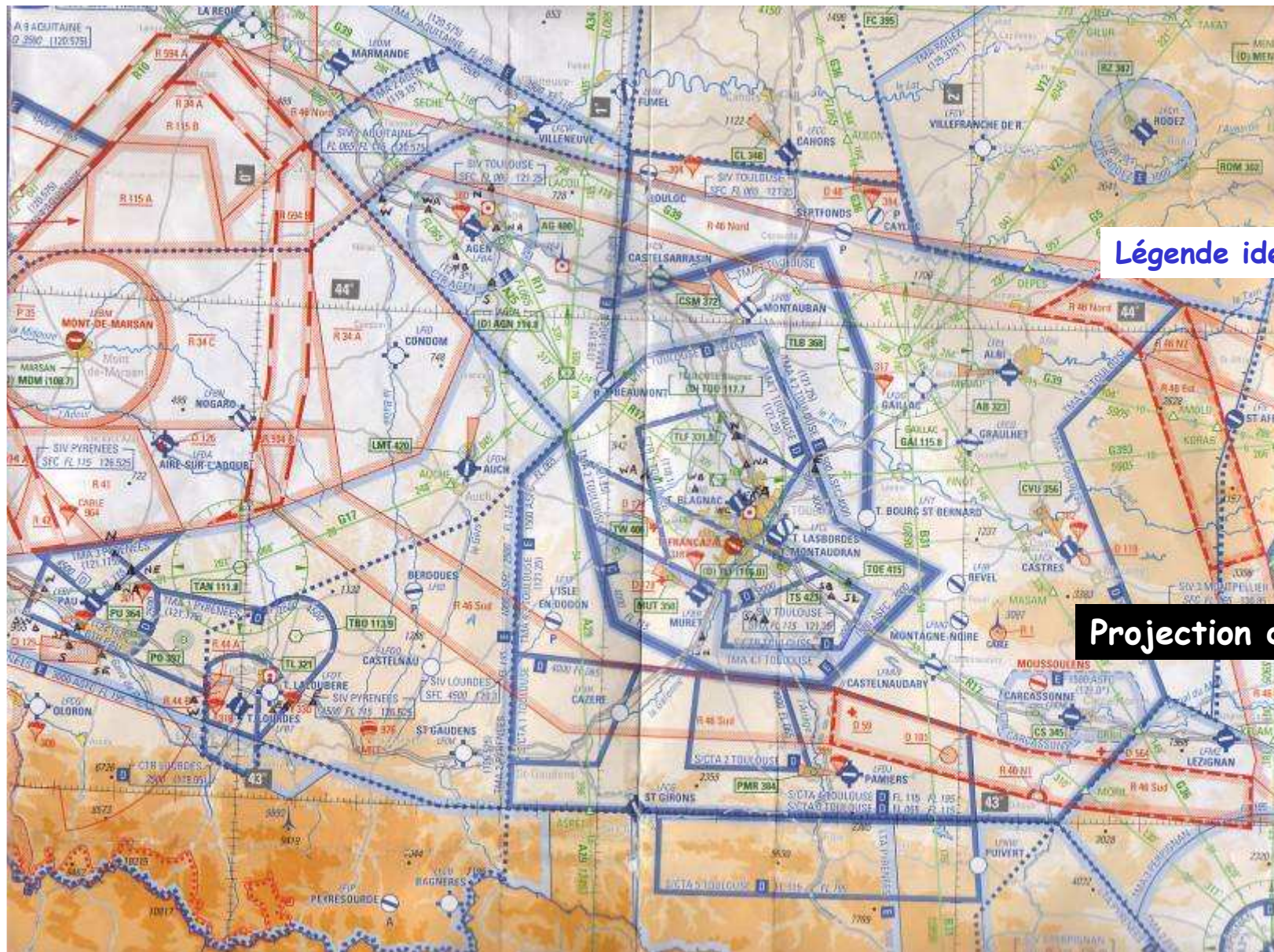
## Représentation des aérodromes (extrait de la légende)

| AÉRODROMES  | Aérodrome ayant une piste en dur<br><i>Airport with paved runway</i> |  |   | Bande ou<br>plateforme<br><br><i>Unpaved<br/>runway or<br/>landing-strip</i> | Hélistation<br><br><i>Heliport</i>   | Hydro-<br>aérodrome<br><br><i>Seaplane<br/>landing<br/>area</i> |
|---|--|--|---|--|--|---|
|   | supérieure<br>à 2300 m<br><i>longer than<br/>7500 ft</i>             | de 1000 à<br>2300 m<br><i>from 3200<br/>to 7500 ft</i> | inférieure à<br>1000 m<br><i>shorter than<br/>3200 ft</i> |  |  |   |
| Ouvert à la circulation aérienne publique<br><i>Open to public air traffic</i>  |  |  |   |  |  |   |
| Agréé à usage restreint ou hélistation<br>destinée au transport public à la demande<br><i>Approved for restricted use or heliport<br/>intended for non-scheduled public transport</i>                           |  |  |   |  |  |   |
| Réservé aux administrations de l'État<br><i>Reserved for French state aircraft</i>  |  |  |   |  |  |   |
| Codage<br><i>Coding</i>   | LFBI<br>POITIERS   |  |   |  | AD désaffecté<br><i>abandoned AD</i>   |   |
| Nom de AD<br><i>Name of AD</i>  | 423  |  |   |  | Fréquence Tour, AFIS ou A/A<br><i>Tower, AFIS or A/A Frequency</i>                                 |   |
| Altitude en pieds<br><i>Elevation in feet</i>   | 118.5  |  |   |  | si AD classé altiport<br><i>for AD classified altiport</i><br>si AD privé<br><i>for private AD</i> |   |
| En France : en l'absence de fréquence attribuée, utiliser<br>123.5 MHz sur AD et 130.0 MHz sur altiports.<br><i>In France : when no frequency is given use 123.5MHz<br/>for AD and 130.0 MHz for altiports.</i> |  |  |   |  |  |   |



# CARTES DE NAVIGATION AU 1/1.000.000 ou CARTES DES ZONES PARTICULIERES

Toutes les classes d'espace ou zones du sol au FL 195



Légende idem 500.000

Projection de Lambert



APPROCHE A VUE  
Visual approach

Ouvert à la CAP  
Public air traffic  
22 DEC 05

PAU PYRENEES  
AD2 LFBP APP 01

# LES CARTES VAC

Carte d'approche

**ALT AD : 616 (22 hPa)**  
LAT : 43 22 48 N  
LONG : 000 25 07 W

**LFBP**  
VAR : 1° W (05)

FIS : 126.525  
MIL ALAT : PAU Opérations : 139.025 - 386.725  
RTIS : 128.475  
MIL ALAT : Madiran : 129.9  
APP : PYRENEES Approche / Approach : 121.175 - 128.8 (s)  
VDF : 124.15 - 121.175 - 126.525  
ILS RWY 31 PU 110.1

Nom du terrain et indicatif 4 lettres OACI

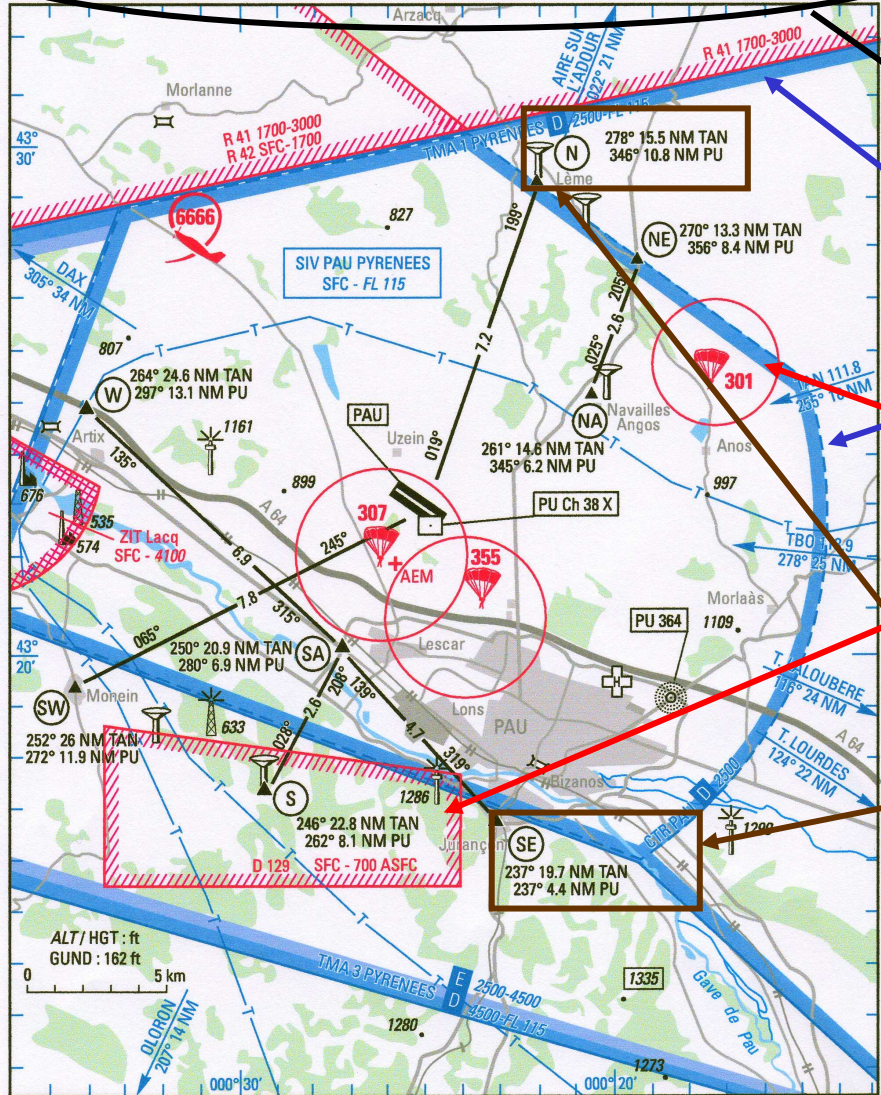
Altitude / Coordonnées / Déclinaison

Fréquences utilisables

Délimitations classes d'espace

Zones particulières

Points d'entrées / sorties de la TMA

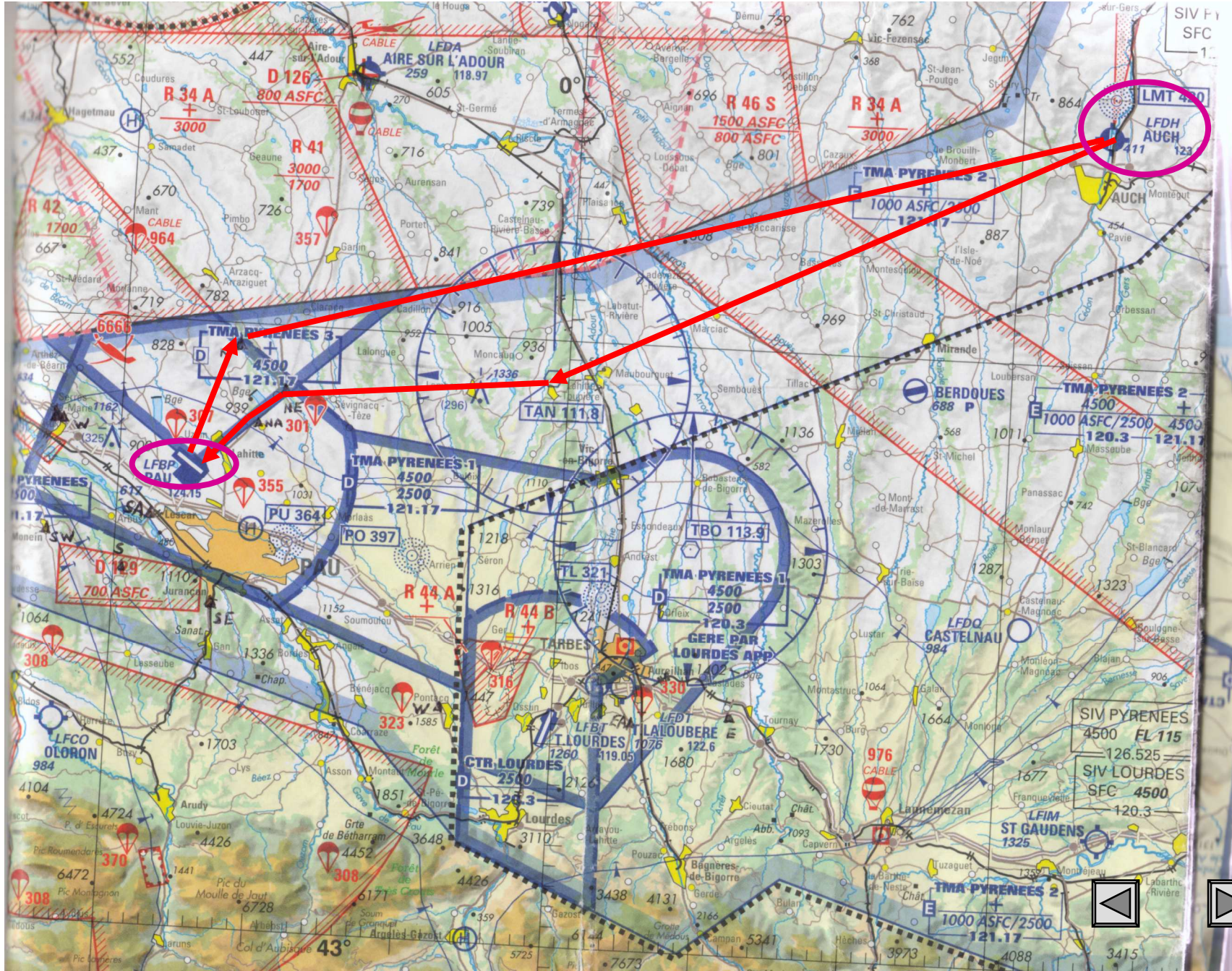








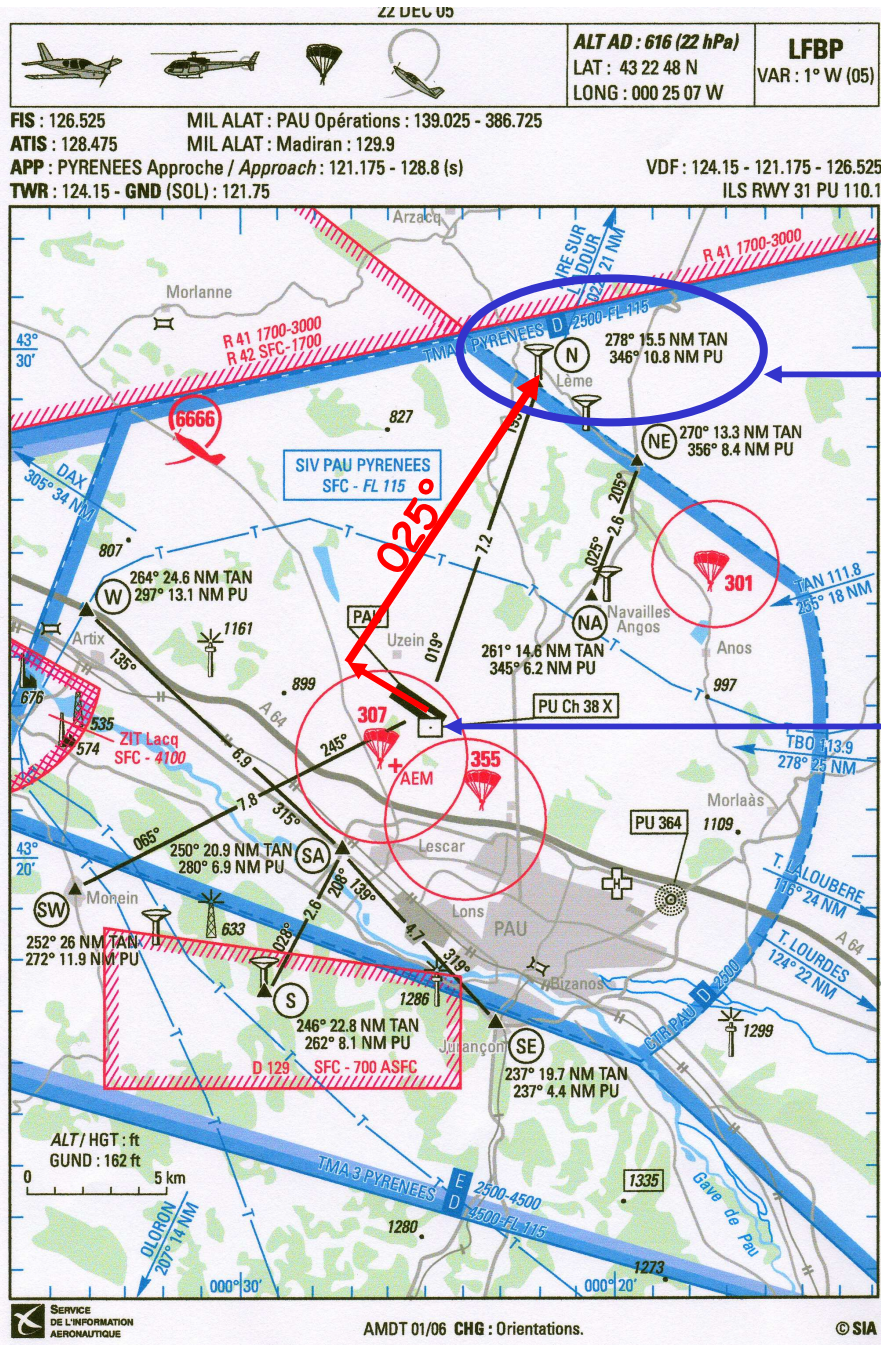
# PREPARATION D'UNE NAVIGATION PAU / AUCH / PAU





# PREPARATION D'UNE NAVIGATION PAU / AUCH / PAU

## Première branche



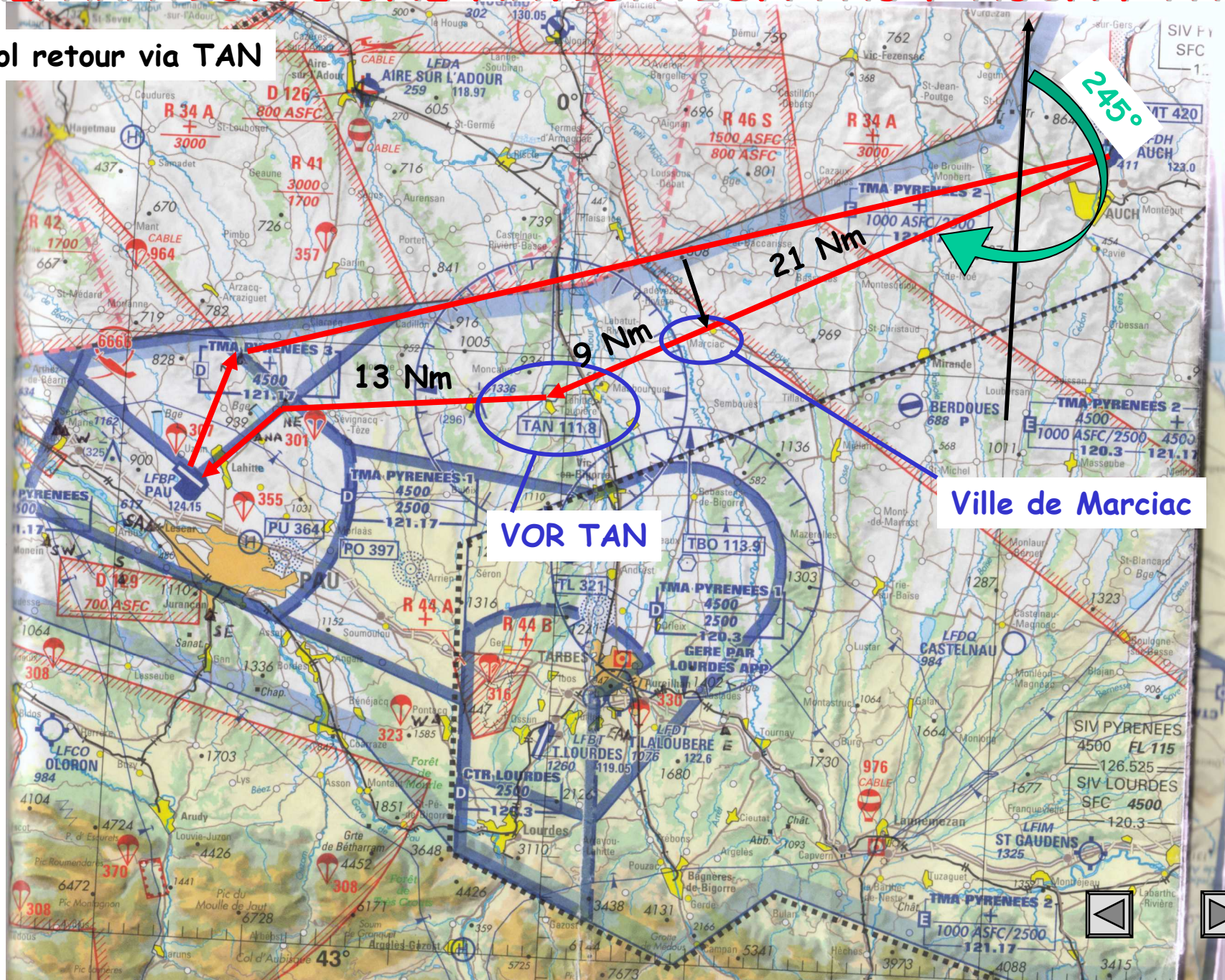
Jusqu'au point Novembre

Depuis le décollage



# PREPARATION D'UNE NAVIGATION PAU / AUCH / PAU

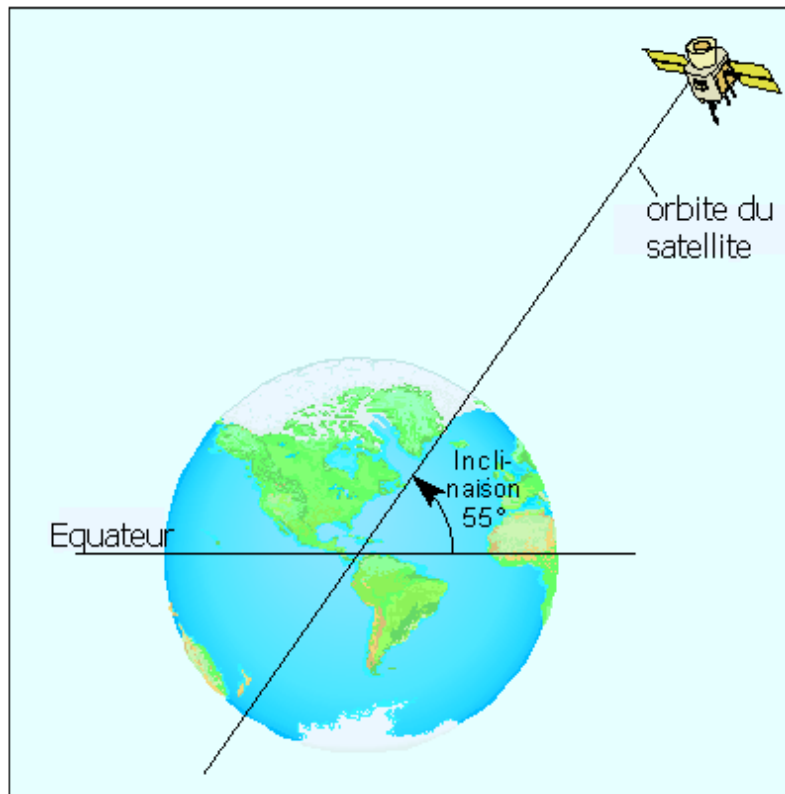
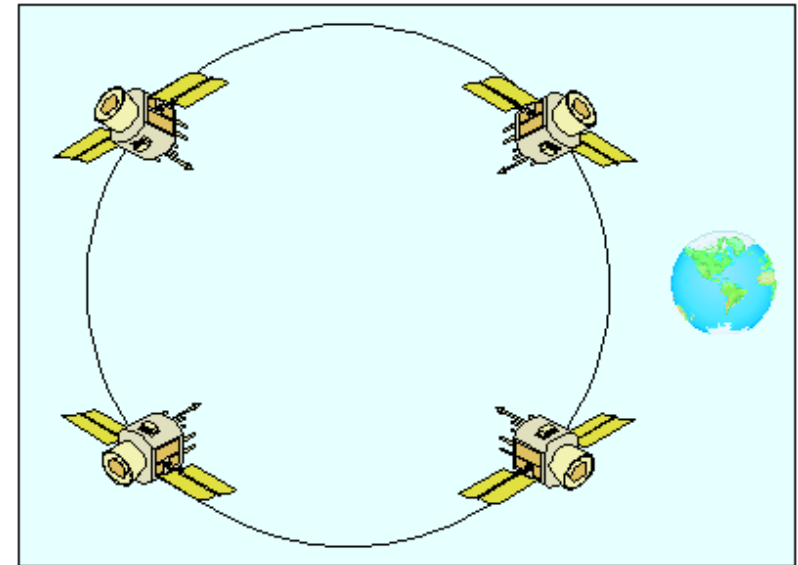
Vol retour via TAN





# TECHNIQUE DE POSITIONNEMENT

Les satellites sont répartis en 6 orbites, chacune ayant 4 satellites à une altitude approximative de 20200 km.



Une inclinaison de  $55^\circ$  a été choisie pour que la réception des signaux soit suffisante à toutes les latitudes. Avec cette architecture de système, le GPS fournit une position en trois dimensions, une référence de temps et des données de vitesse précises.

# TECHNIQUE DE POSITIONNEMENT

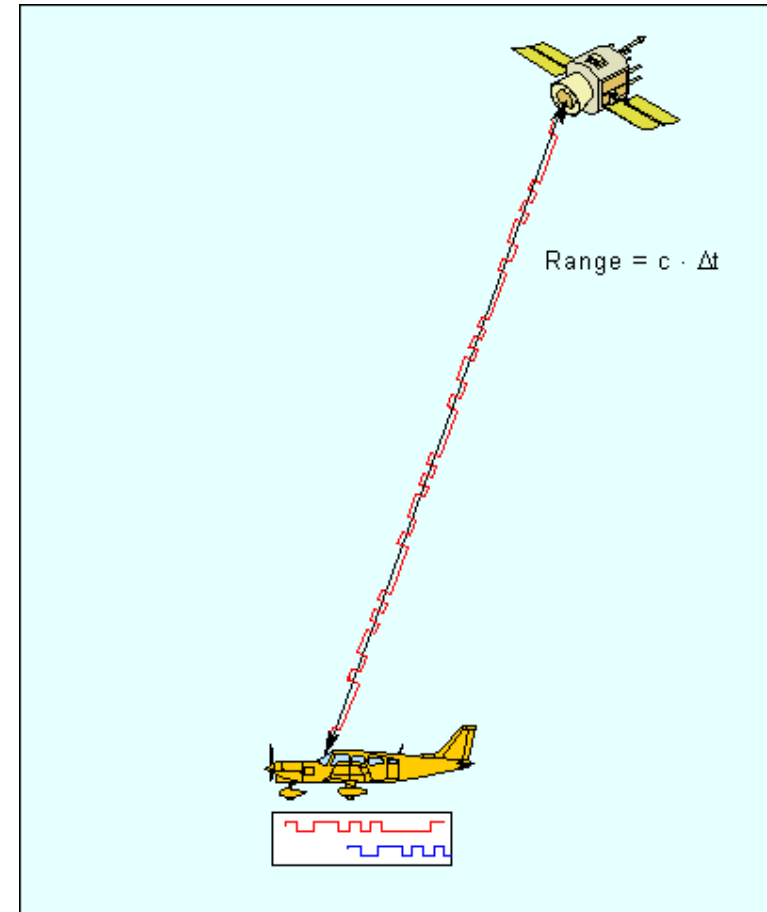
Pour obtenir une position, la distance jusqu'aux satellites doit être déterminée.

Elle est obtenue en mesurant le temps mis par un signal transmis du satellite pour atteindre le récepteur.

La valeur du décalage est égal au temps de propagation des signaux des satellites.

Avec l'équation :

Distance = Vitesse de la lumière \* Temps de propagation (Distance =  $c \cdot \Delta t$ ) il est facile de déterminer la distance de chaque satellite reçu.





# PRECISION du POSITIONNEMENT

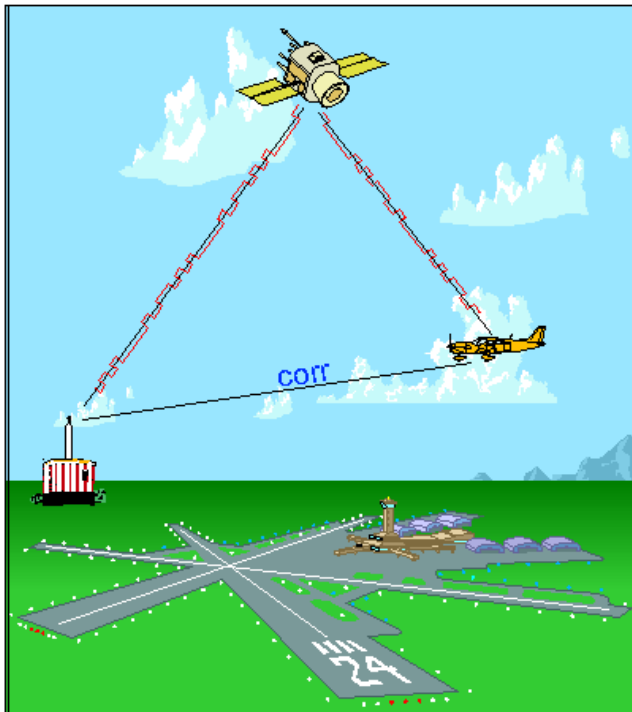
La précision obtenue suivant la qualité du récepteur est de l'ordre de 23 m.

Même quand la précision du GPS est de 23m, il est possible d'utiliser une "astuce" pour obtenir des informations fiables avec une précision jusqu'à 1m.

Le GPS différentiel (DGPS) nécessite une station de référence. La position de cette station de référence est exactement connue.

Elle reçoit des signaux de navigation en provenance des satellites et calcule une position comme un récepteur normal. La position mesurée est comparée avec la position stockée. La différence entre les positions est l'erreur de position. L'erreur ainsi calculée est transmise omnidirectionnellement à l'avion aux alentours de la station.

L'avion muni d'un récepteur GPS peut inclure cette valeur à sa propre position mesurée et optimiser la précision jusqu'à 1m. Lorsqu'un des satellites est défectueux, la station GPS est capable de le détecter et de générer une alarme.



Lorsqu'un avion est hors de portée de la plupart des stations DGPS, une autre possibilité de découvrir si un satellite est défectueux (donc une position non fiable) est appelée Receiver Autonomous Integrity Monitoring (RAIM) = Surveillance autonome d'intégrité du récepteur .

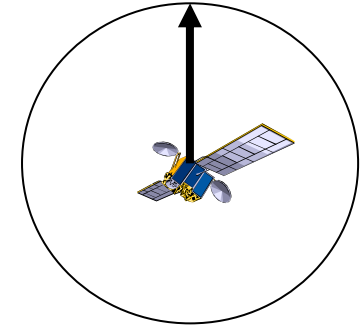
Un récepteur capable de faire du RAIM peut, avec l'aide de satellites GPS supplémentaires, découvrir de lui-même un satellite transmettant des signaux défectueux.

Il va ignorer ce satellite, en utilisant d'autres satellites pour naviguer.

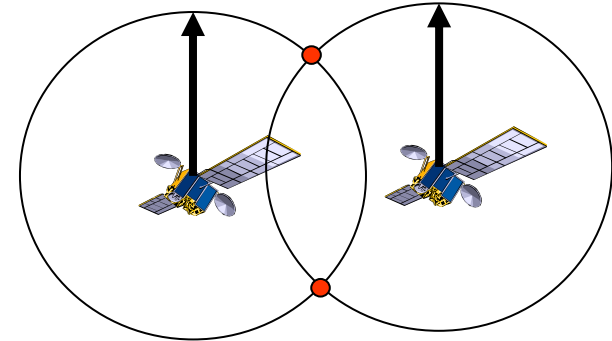
# TECHNIQUE DE POSITIONNEMENT

En résumé :

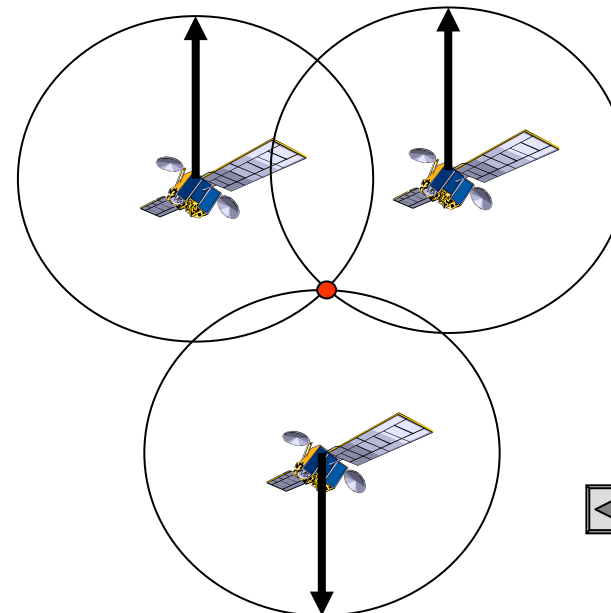
A) On détermine la distance séparant le récepteur d'un satellite, le cercle représente les positions possibles sur 360°



B) Avec 2 satellites : deux positions possibles

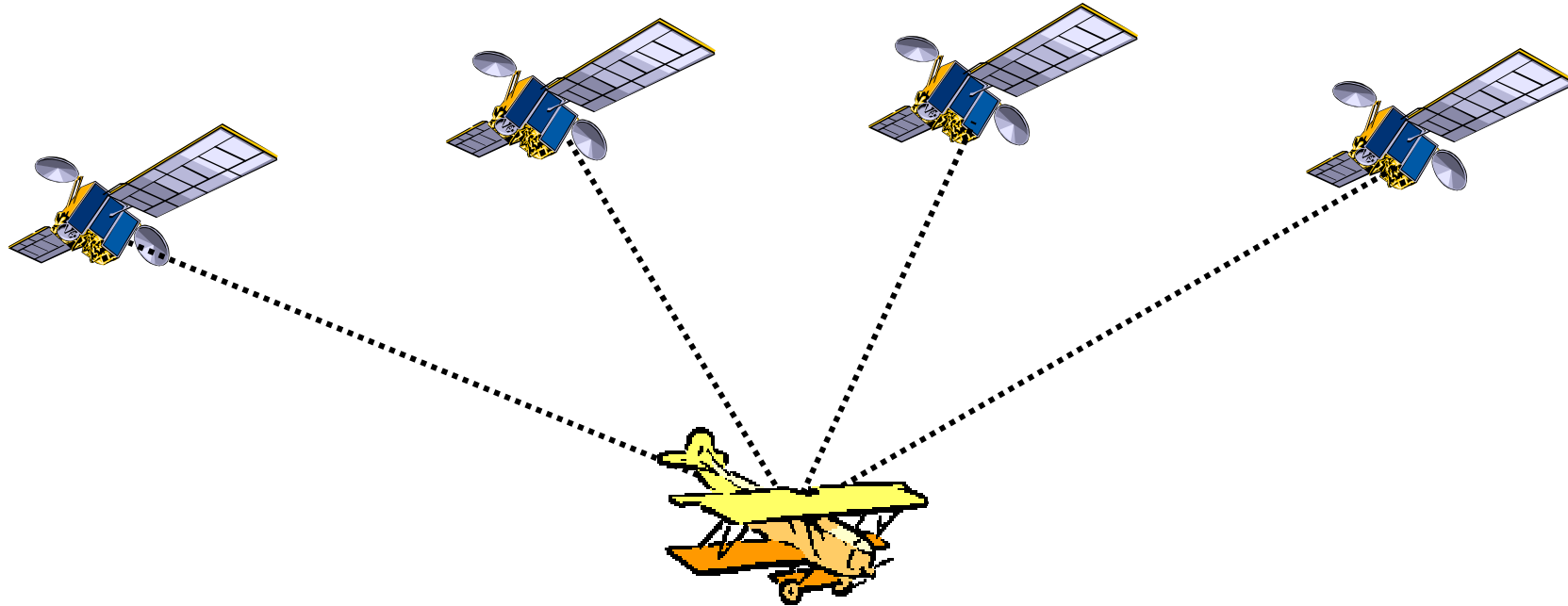


C) Avec 3 satellites : une seule position possible



# TECHNIQUE DE POSITIONNEMENT

En résumé :



D) La réception des signaux de 4 satellites permettra de valider le calcul des distances

E) Pour calculer les distances, chaque satellite est équipé de plusieurs horloges atomiques périodiquement recalées.

Le récepteur est muni d'une horloge de moindre précision, ce qui constitue une inconnue supplémentaire

# UTILISATION DU G P S

**La programmation du G.P.S. est "chronophage".**

Préparer le maximum au sol avant la mise en route

**Le système ne peut pas remplacer l'intelligence humaine**

Sa logique n'est pas forcément la votre !

**Il faut savoir garder un sens critique par rapport aux informations délivrées par le G.P.S.**

Attention aux valeurs entrées (les calculs seront toujours justes quelles que soient les données introduites !) -

[cf erreurs de coordonnées → W à la place de E !?!!)

**Faire preuve de bon sens**

C'est une aide à la navigation, le moyen principal pour naviguer reste le cap et la montre avec contrôle sur la carte !