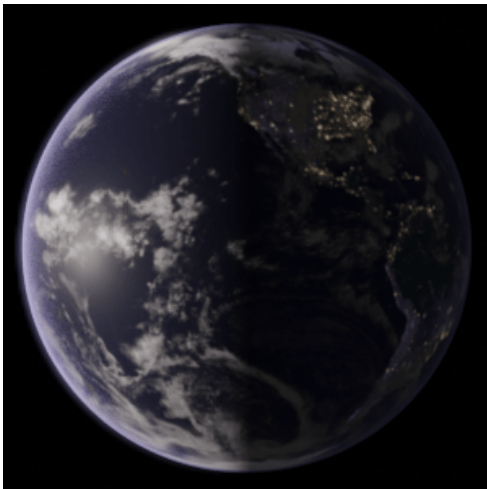


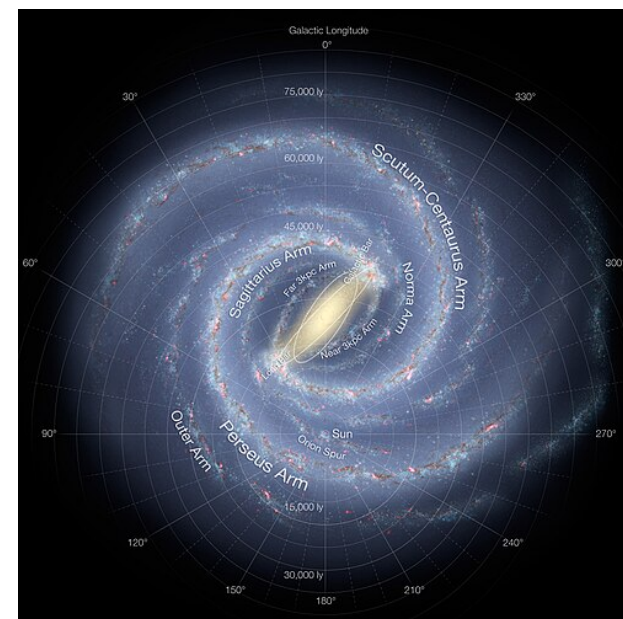
# Théorie navigation aérienne







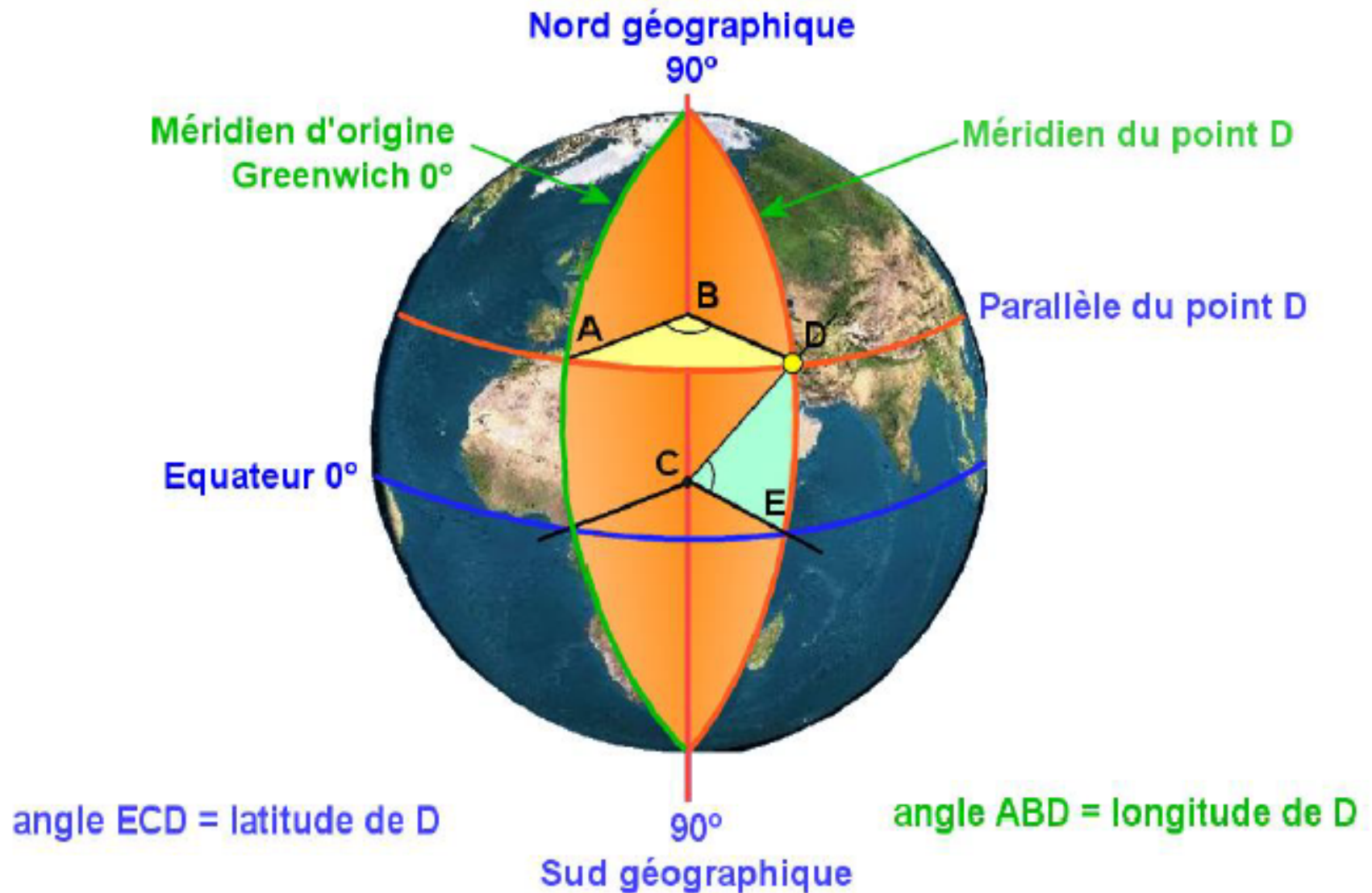
# Sommaire



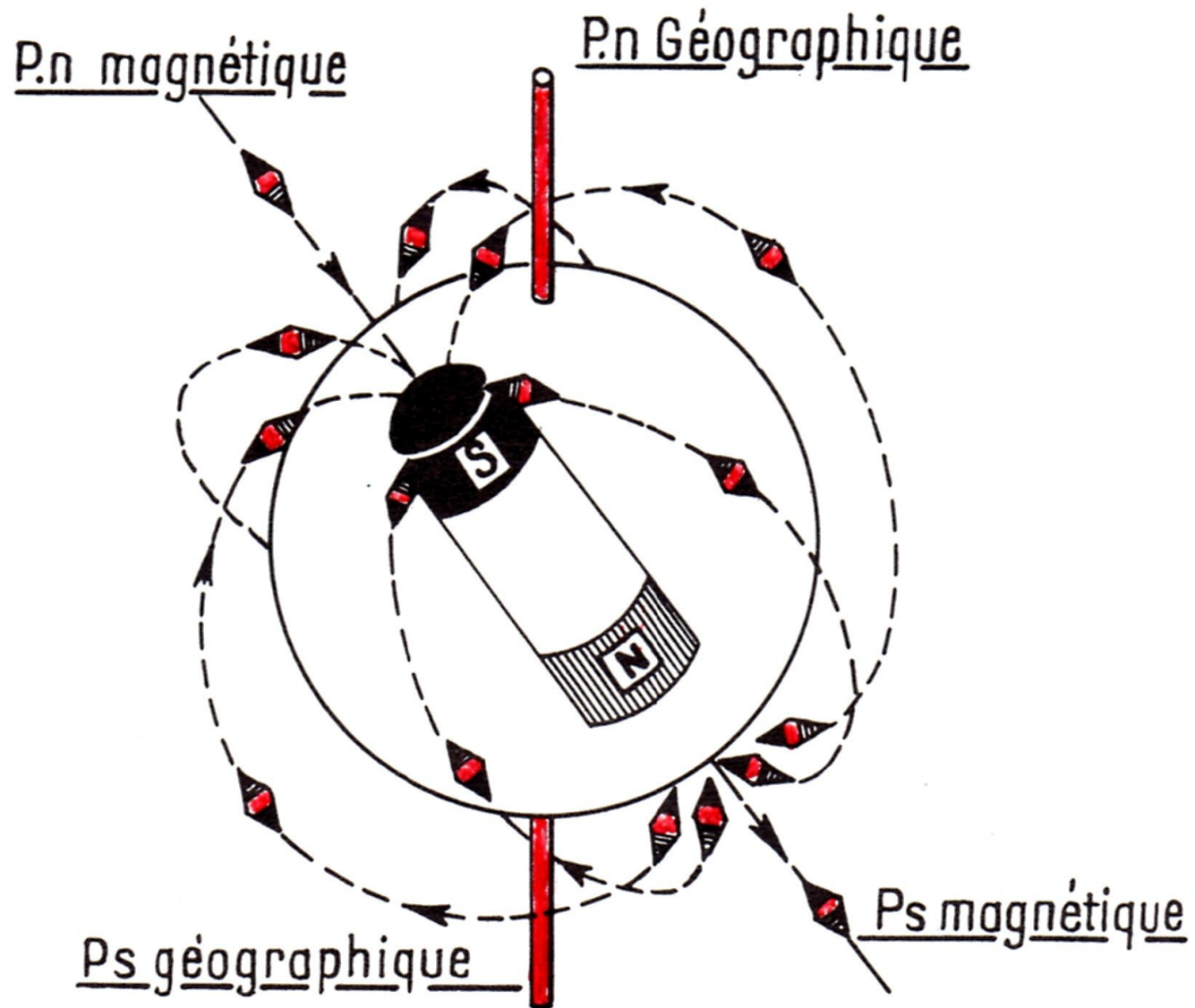
- 1 . DESCRIPTION DE LA TERRE
2. CARTOGRAPHIE DE LA TERRE
3. MODES ET RÉFÉRENCES EN NAVIGATION
4. TRIANGLE DES VITESSES ET INFLUENCE DU VENT
5. TRANSPONDEUR
5. CALCUL RAPIDE



# DESCRIPTION DE LA TERRE

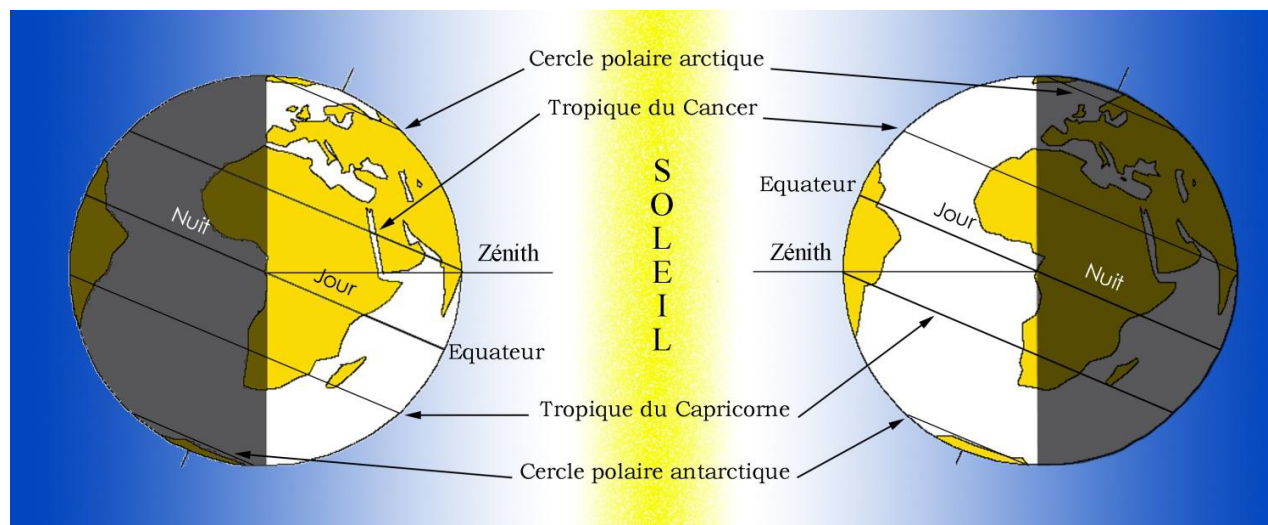


# Magnétisme terrestre





- ✧ La terre est une patatoïde, boule aplatie aux pôles.
- ✧ Rayon d'environ 6370 Km.
- ✧ Notions de grands cercles (équateur et méridiens 1/2 )
  - ✧ Et petits cercles : parallèles.
- ✧ Positionnement en 3 dimensions :
  - ✧ Lat, Lon, Alt.
- ✧ La terre tourne sur son axe N/S de  $360^\circ$  en 24hrs donc  $1^\circ$  en 4'
- ✧ Elle est inclinée d'un angle de  $23^\circ 26'$  (obliquité - tropiques)
- ✧ Elle tourne autour du soleil
  - ✧ En fonction des saisons durée du jour varie : nuit aéronautique (+/-30min)
- ✧ Coordonnées géographiques en degré minutes secondes
  - ✧ Ex :  $48^\circ 41' 32''$  N et  $006^\circ 13' 34''$  E (Essey LFSN)



# Unités utilisées en navigation aérienne

*Ces unités sont héritées de la navigation maritime.*

*Les marins utilisaient des unités de mesure comme les brasses, les coudées et les pieds pour mesurer la distance parcourue en mer. Cependant, ces unités de mesure étaient souvent imprécises et variaient d'un navire à l'autre.*

*Au début du XVIIIe siècle, l'astronome anglais Edmund Halley a proposé d'utiliser la longitude comme unité de mesure pour la navigation en mer. Edmund Halley a suggéré que **chaque degré de longitude équivaldrait à 60 milles marins**, ce qui signifie qu'un mille marin correspondrait à une minute d'arc de longitude le long de l'équateur terrestre.*

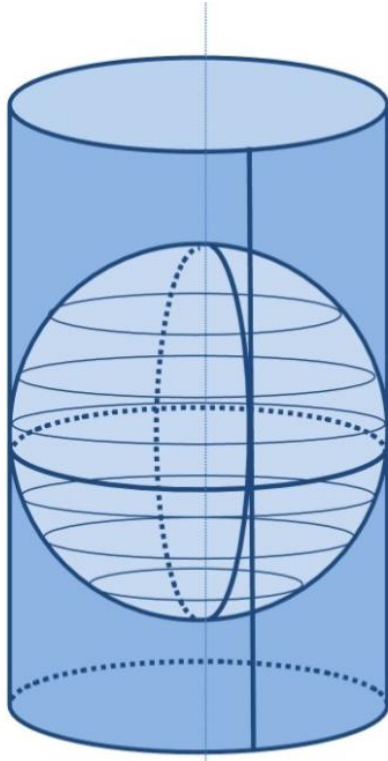
*En 1929, la Conférence internationale de Londres sur la sécurité en mer a adopté le mille nautique comme unité de mesure standard pour la navigation maritime internationale.*

- ▶ Distance : Nautique Nm (valeur 1 Nm) représente une minute d'angle sur un grand cercle (1929).
- ▶ Vitesse : Noeuds Kts 1Kt= 1Nm/h
- ▶ L'heure UTC temps universel coordonné

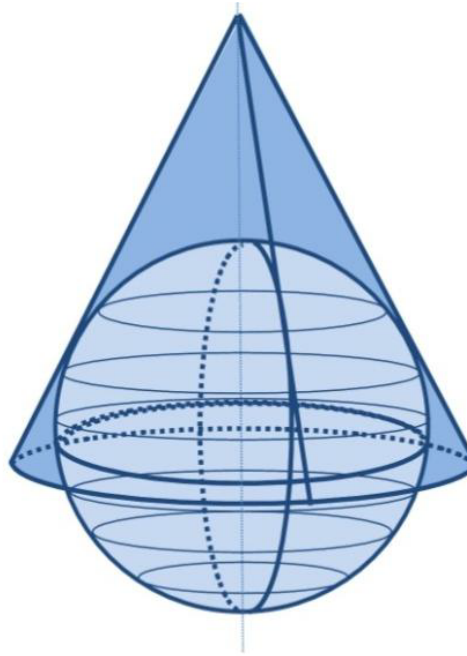


# Cartographie

- ✧ Mettre à plat la terre afin d'en réaliser une carte
- ✧ Projection soit cylindrique soit conique.

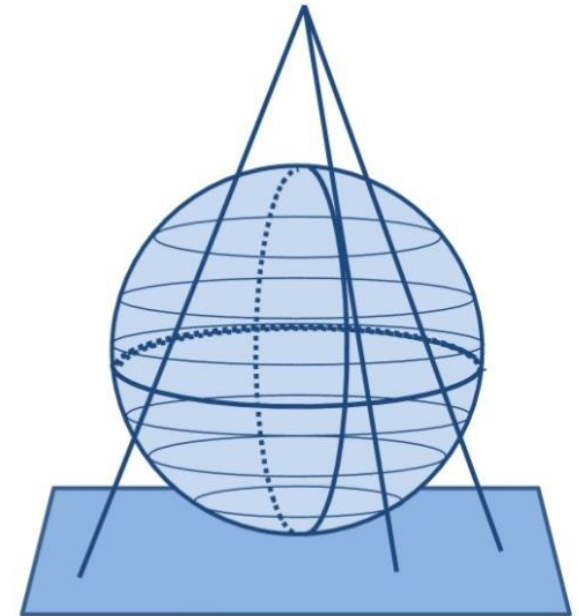


Projection  
cylindrique



Projection  
conique

[www.regard-sur-la-terre.over-blog.com](http://www.regard-sur-la-terre.over-blog.com)



Projection  
azimutale

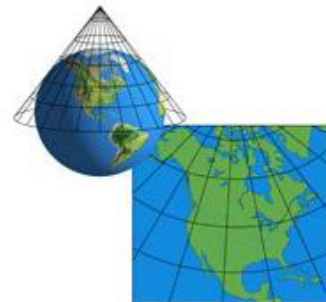
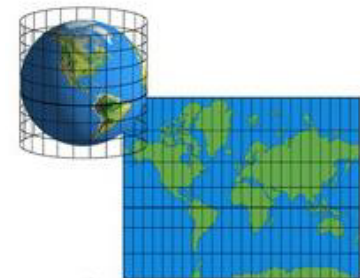
# Tout système de projection altère des éléments de la surface considérée.

- Conservation des angles => conformes
- Conservation des surfaces => équivalentes
- Conservation des distances autour d'un point => équidistantes

Pour des représentations faibles étendues, il existe des projections qui répondent à 2 sinon 3 de ces conditions.

Projections connues :

- Projection cylindrique de **MERCATOR**
- Projection conique de **LAMBERT**



**Les carte aéronautiques sont au canevas LAMBERT**

**Notion d'échelle :**

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



# Loxodromie Orthodromie



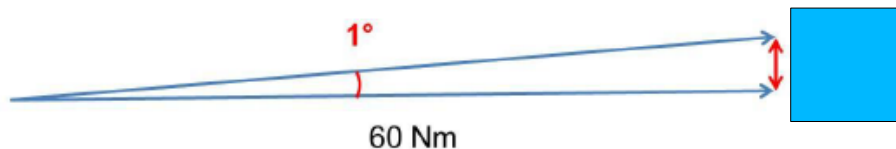
- Type de carte ? Méridiens parallèles / parallèles pas équidistants.
- La ligne droite (**loxodromie**) n'est pas le chemin le plus court ...
- **Orthodromie** projection d'un grand cercle passant par les 2 points est la distance la plus courte. Utilisé sur des grandes distances.
  - Vol coupe les différents méridiens sous différents angles. Complicite la navigation.

**Angle de route constant = Loxodromie = Nav à l'estime.**

# Contrôle

Terre diamètre 40000 Km.

- ▶ Calcul valeur 1 Nm en km.
- ▶ Distance entre 2 points :
  - ▶ 1 - 48°53'N 006°12'E
  - ▶ 2 - 49°01'N 005°52'E
- ▶ 28 cm sur OACI 1/500 000
  - ▶ 56 km
  - ▶ 28 Nm
  - ▶ 140 km
  - ▶ 280 km





# Modes de navigation

## Le cheminement :

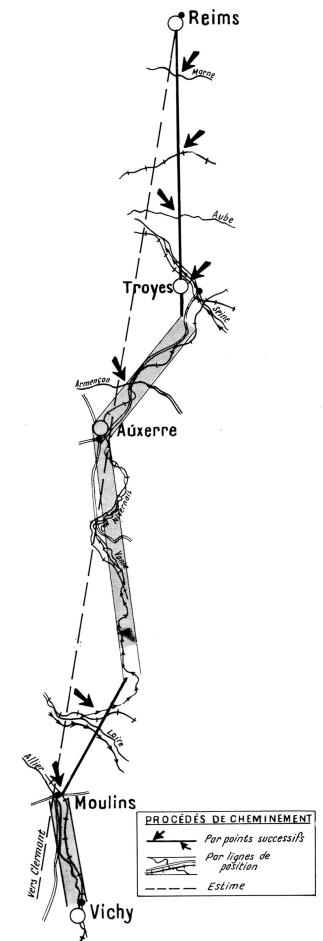
Consiste à suivre des lignes naturelles

- Pratique par beau temps ;
- Repères disponibles ;
- Rester à proximité de ces repères.

## L'estime :

Consiste à déduire sa position en fonction de sa route et de sa dernière position connue.

- Repose sur les instruments :
  - Compas (déviations, précision);
  - Vitesse propre;
  - Chrono
  - Estimation du vent.
- 1 - Déterminer cap avion et vitesse à afficher
- 2 – déterminer la route suivie et la vitesse sol.



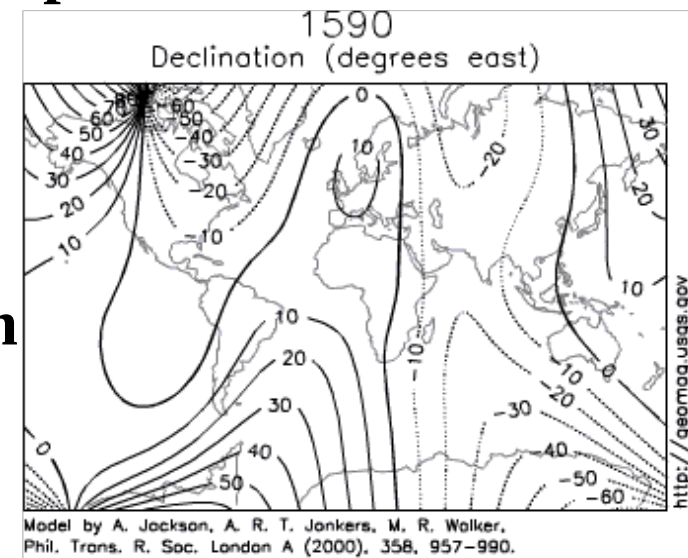
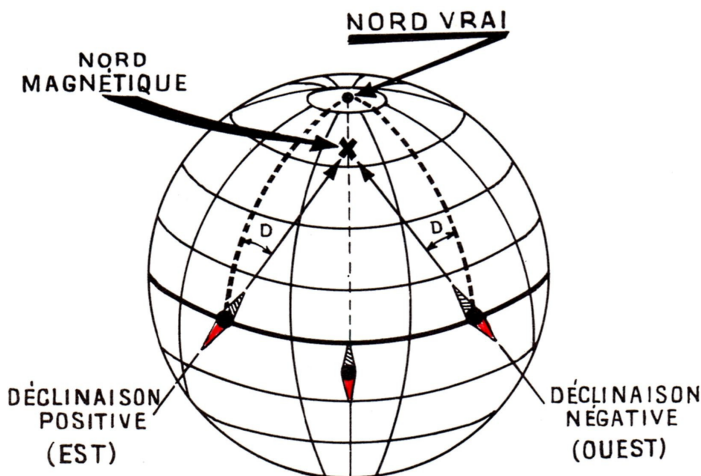
# REFERENCES EN NAVIGATION

Pour naviguer il faut déterminer :

- une **route** pour évaluer le **cap** à suivre ;
- et la **distance** à parcourir pour évaluer le **temps** de vol.

Les références :

- Nord **vrai** ou nord géographique ;
- Nord **magnétique**
  - Différence = Déclinaison magnétique **Dm**



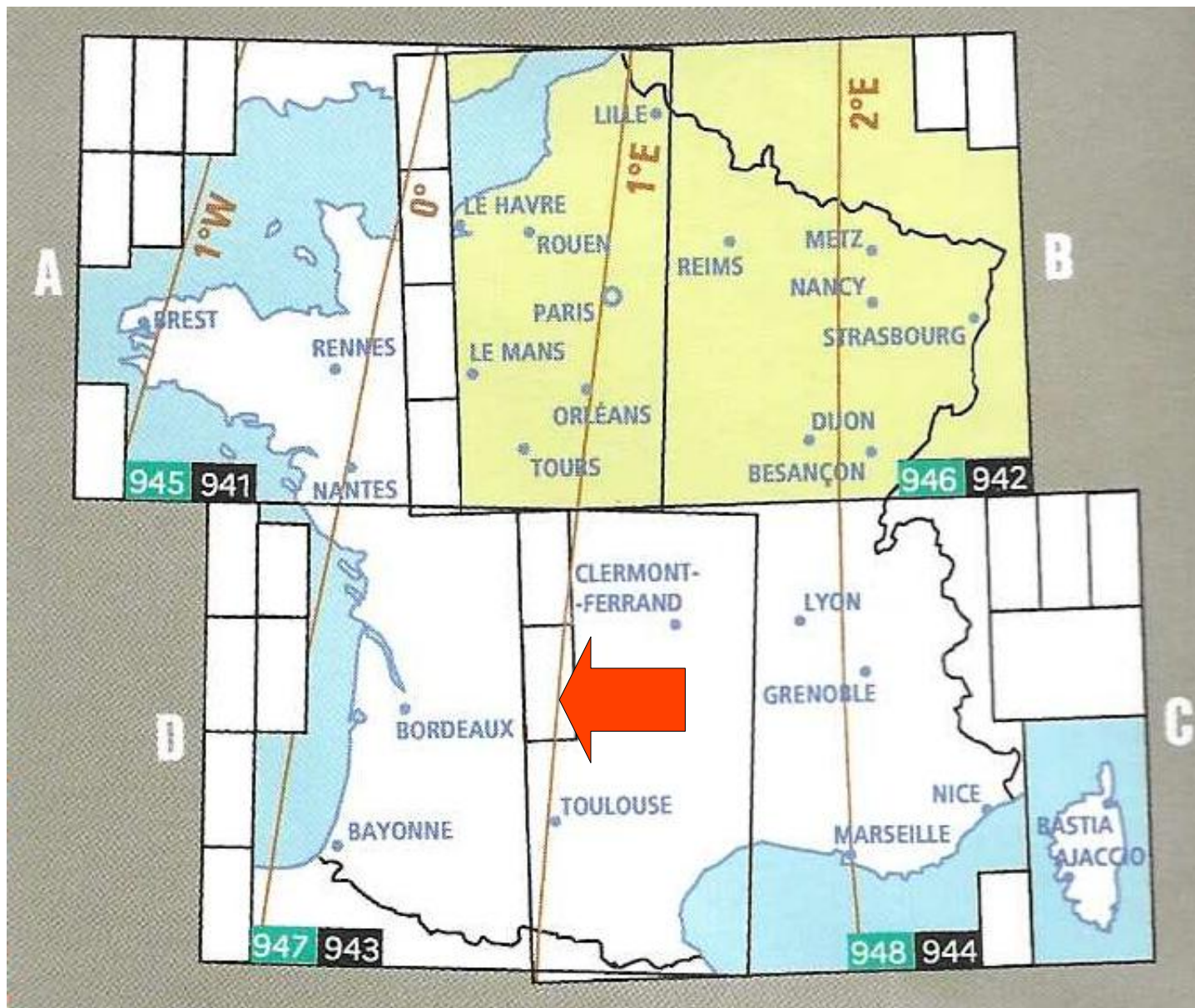
$$Dm = 3^{\circ} \text{ W ou } Dm = -3^{\circ}$$

$$Dm = 2^{\circ} \text{ E ou } Dm = +2^{\circ}$$

Dm varie en fonction du lieu et du temps (1°/ 6 ans).

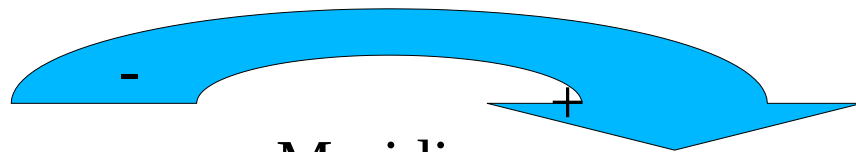
Lignes isogones : courbes d'égale déclinaison.





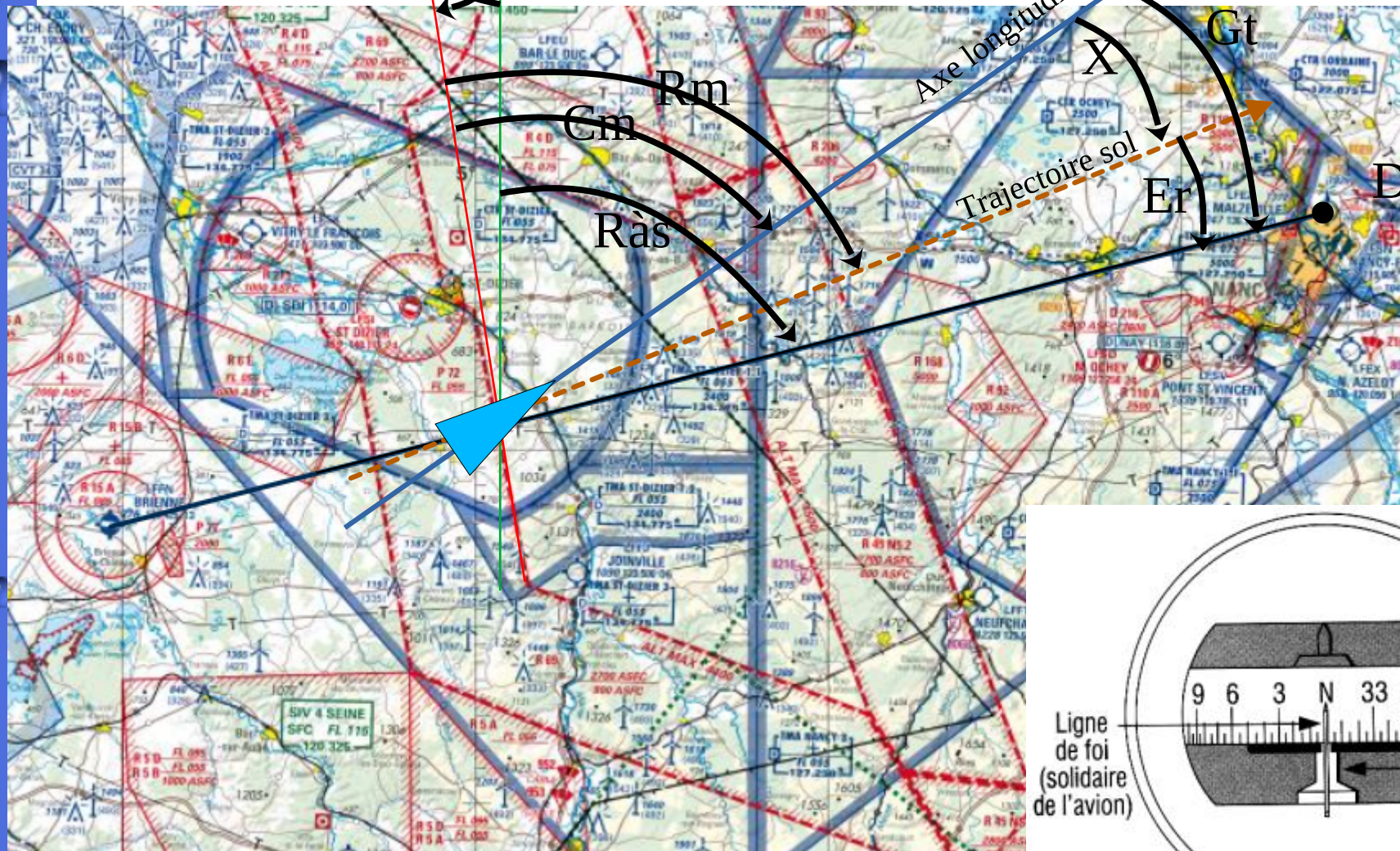






Meridien

Nm    Nv



Axe longitudinal ULM

Gt

Destination

Er

Ligne de foi (solidaire de l'avion)

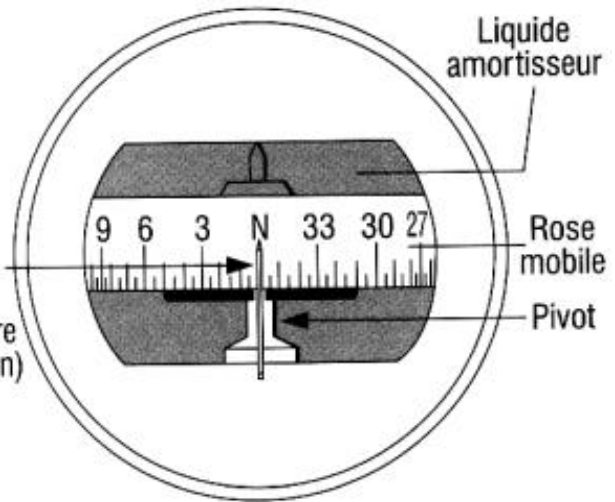
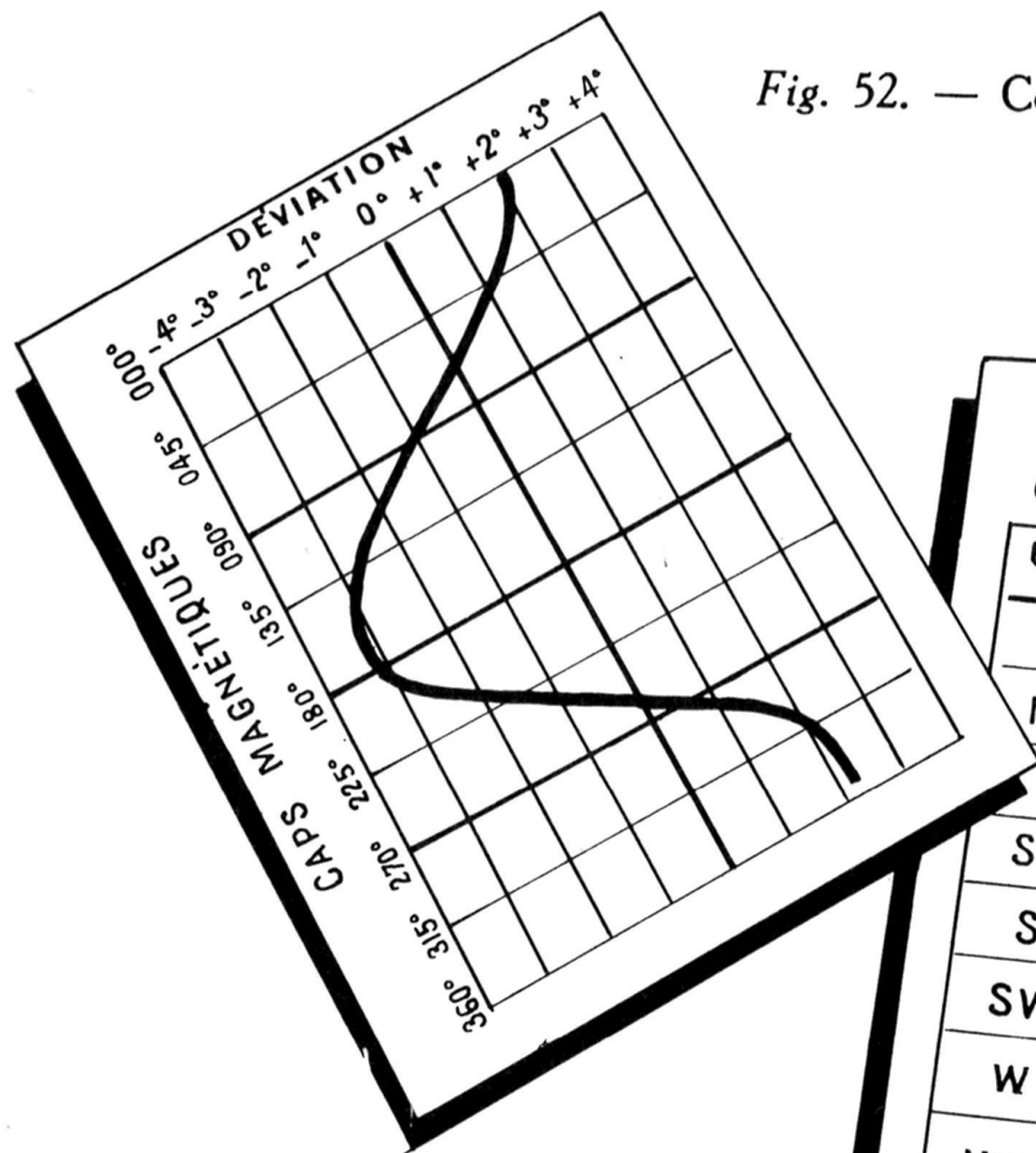


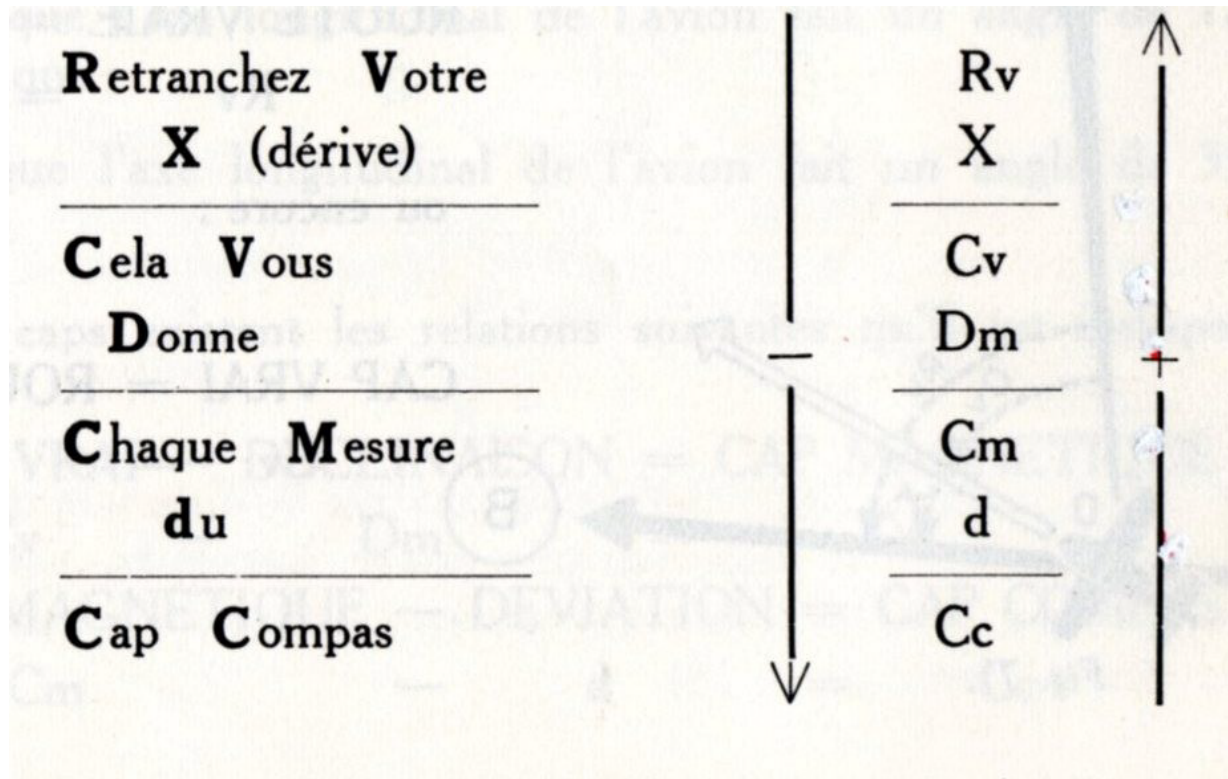
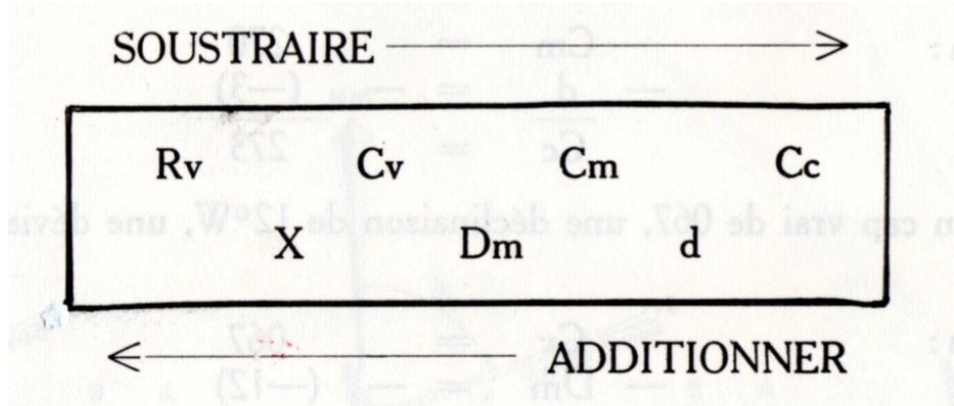


Fig. 52. — Courbe de régulation.



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

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



Quelle est la valeur du Cc lorsque la Rv etant de 060, on mesure une derive de +6° ?  
Prendre une Dm de 6°W et une déviation de -2° . 62

# Triangle des vitesses et influence du vent

## ⇒ Effet du vent

- ⇒ À prendre en compte dans la préparation du vol.

## ⇒ Influence sur les vitesses :

- ⇒ Par rapport à la masse d'air **Vp**

- ⇒ Correction de densité  $V_p = V_i + 1\%$  (par 600ft de Zp)
- ⇒ Correction de température  $V_p = V_i \pm 1\%$  (5°C d'écart / T° std)
- ⇒ Se souvenir : +haut, +chaud, +vite

- ⇒ Vent.

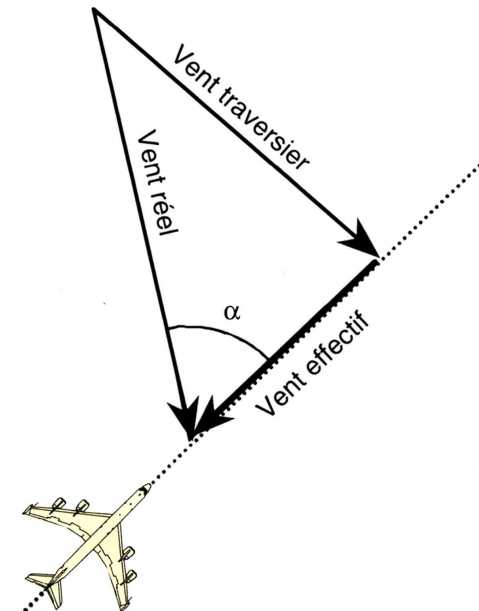
- ⇒ Fourni par la météo ex 08011KT
- ⇒ On en déduit la vitesse sol Vs
- ⇒ Donc la dérive

- ⇒  $V_e = V_w \cdot \cos \alpha$  et  $V_t = V_w \cdot \sin \alpha$

- ⇒  $X_{\max} = F_b \cdot V_w$

- ⇒  $X(^{\circ}) = X_{\max} \cdot \sin \alpha$   $\alpha$  angle au vent

- ⇒ Avec Facteur de base  $F_b = 60/V_p$



## ⇒ Calcul temps sans vent

- ⇒  $TSV(\min) = D/V_p \cdot 60 = D \cdot F_b$



Cm 255° Vp 150 Km/h (80 Kt)

Vw : 315° 20Kt

⇒  $\alpha$  Veff Vt

⇒ Vs X Rm

$$Fb = 60/80 = 3/4$$

$$\alpha = 315 - 255 = 60^\circ$$

$$V_{eff} = V_w * \cos \alpha = 20 * 0,5 = 10 \text{ Kt}$$

$$V_t = V_w * \sin \alpha = 20 * 0,866 = 18 \text{ Kt}$$

Ve de face donc Vs = Vp = Ve

$$V_s = 140 - 18 = 122 \text{ Km/h}$$

$$X_{max} = Fb * V_w = 3/4 * 20$$

$$X_{max} = 15^\circ$$

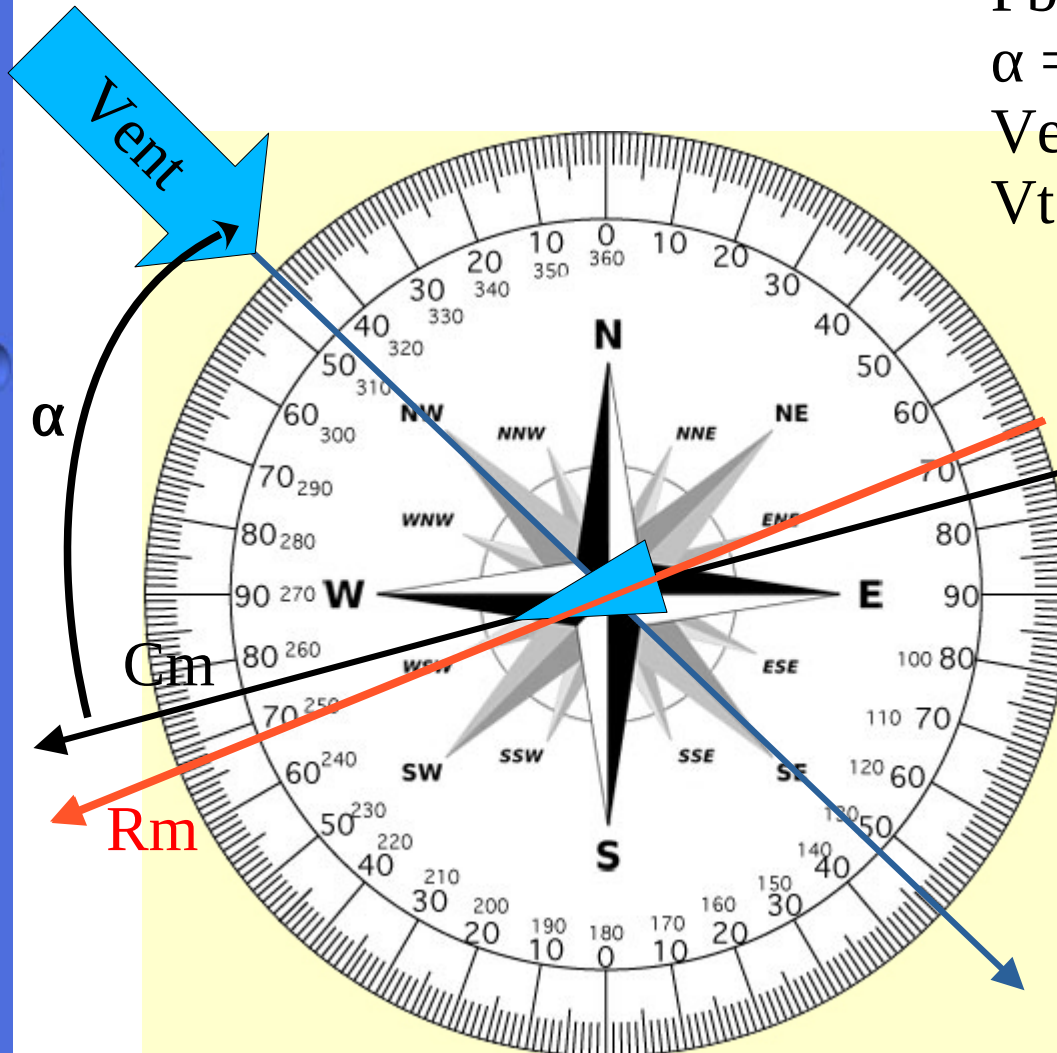
$$X = X_{max} * \cos \alpha$$

$$X = 15 * 0,5 = 7,5^\circ$$

dérive gauche de 7,5° donc -7,5°

$$R_m = C_m + X$$

$$R_m = 255 - 7 = 248^\circ$$



# ✧ Rayon d'action

✧ Point équitemps :

✧ Point où il faudra autant de temps pour aller à la destination que pour revenir au point de départ

$$PET (Nm) = D \times \frac{VsR}{VsA + VsR}$$

✧ Point de non retour :

✧ Point à partir duquel un avion ne pourra plus revenir au point de départ.

$$PNR (Nm) = T \times \frac{VsA \times VsR}{VsA + VsR}$$

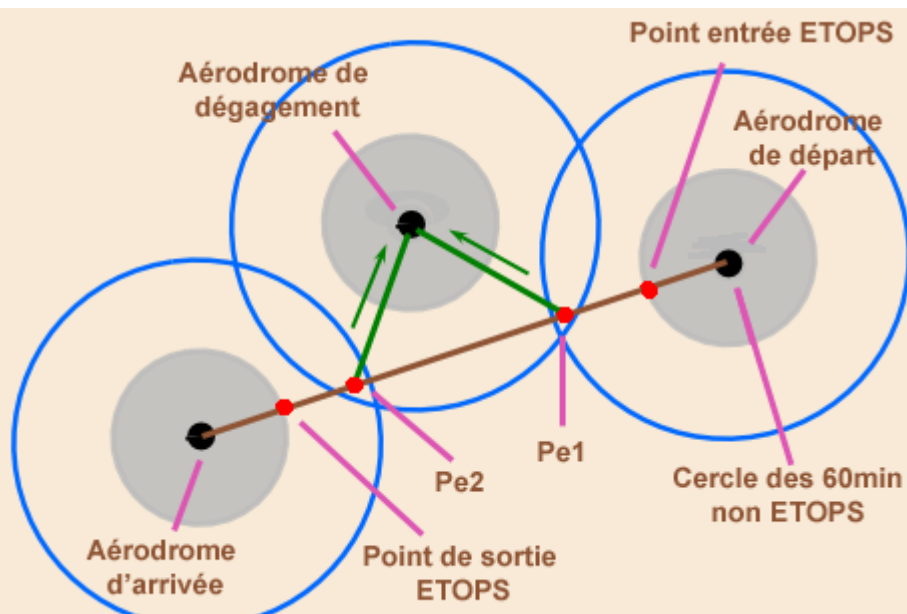
$$PNR = T \times \frac{VsR}{VsA + VsR}$$

Ex distance de A à B 540 Nm et **autonomie** (T) de 4h

Vs aller = 140Kts Vs retour = 170Kts

PET = 296 Nm

PNR = 307 Nm et PNR en temps = 131 min soit 2h 11 min



Extended-range Twin-engine Operation Performance Standards **ETOPS** est un règlement de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) permettant aux avions commerciaux équipés de deux moteurs d'utiliser des routes aériennes comportant des secteurs à plus d'une heure d'un aéroport de secours donc, en particulier, les parcours océaniques.

# Le transpondeur « squawk »

✧ E/R qui répond à un radar secondaire de surveillance (SSR).

- ✧ Géré par un contrôleur aérien.
- ✧ Chaque transpondeur a un identifiant unique attribué par la DGAC.
- ✧ En liaison avec l'altimètre
  
- ✧ Fonctionne avec 3 modes ACS
  - ✧ Mode A : uniquement identification SSR affichée
  - ✧ Mode C : + Atl pression Zp (**1013hPa**) par 100ft (13 = 1300ft = FL13).
  - ✧ Mode S : + immat ou indicatif, N° de vol, Alt de vol sélectionnée par le pilote, +++
  
- ✧ Cas particuliers :
  - ✧ 7000 : standard VFR Europe
  - ✧ 7700 : détresse
  - ✧ 7600 : panne radio
  - ✧ 7500 : **détournement**
  
- ✧ ADS-B :
  - ✧ Détermine sa position par rapport aux satellites (GNSS)
  - ✧ Informations plus précises + prévention des collisions.





Les codes « 7000 »

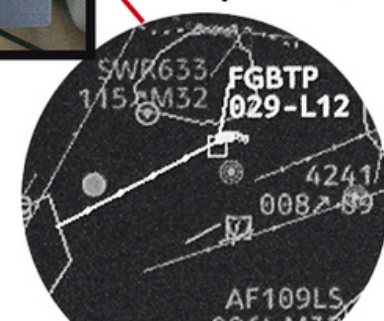


French Air Force  
Niveau 150

Liner compagnie IBERIA  
en descente du niveau 113



Aviation générale  
F-GBTP  
2 900 pieds QNH



# Éléments de calcul mental

↗ Nm → KM  $1\text{Nm}=1,852\text{KM}$

↗  $D^2 - (D^2 * 0,1^{3/4})$

↗  $170\text{Nm} = 170^2 - (170^2 * 0,1^{3/2}) = 340 - 25 = 315$

↗ Km → Nm

↗  $D/2 + D/2 * 0,1^{3/4}$

↗  $160 \rightarrow 80 + 80 * 0,1^{3/4} = 80 + 6 = 86 \text{ Nm}$

↗ Relation assiette / Vz / Vp

↗  $1^\circ = \pm 200\text{ft/min} = \pm 5 \text{ Kt}$

↗ Unités de vitesse

↗  $1 \text{ m/s} \sim 200\text{ft/min} \sim 2 \text{ Kt} \sim 4 \text{ Km/h}$

↗  $1\text{L} \rightarrow 0,72\text{Kg}$

## ➤ Relation vitesse / temps /distance

- $Fb = 60 / Vp(kt)$
- $1/Fb = \text{distance en Nm parcourue en 1 minute}$
- Temps sans vent  $Tsv(min) = D . Fb$

## ➤ Effet du vent

- Estimation vent en altitude : à +1000ft → +30° et x2
- $Xmax(^{\circ}) = Fb . Vw(kt)$
- $X(^{\circ}) = Xmax . Sin\alpha$      $\alpha$  angle au vent
- $Veff = Vw . Cos\alpha$
- $Vs = Vp + Veff$
  
- Temps avec vent  $Tav = D / Vs$

1 – LFEZ – LFSJ (Sedan) – 73 Nm –  $Vp = 80Kt$

$$Fb=3/4 \quad Tsv = 73*3/4 = 55' \text{ par calcul } 54'$$

2 - Cap au 300°     $Vp = 80 \text{ kt } (150km/h)$      $W 33020kt$

$$Xmax = 15^{\circ} \quad X=15*Sin30^{\circ}=7,5^{\circ} \quad Ve=20*Cos30^{\circ}=17Kt$$
$$Vs = 80-17=63Kt \quad R=292^{\circ} \quad Tav=1,15=1h10'$$



## ⇒ **V<sub>p</sub>**

- ⇒ Correction de densité  $V_p = V_i + 1 \% \text{ (par 600ft de } Z_p)$
- ⇒ Correction de température  $V_p = V_i \pm 1 \% \text{ (5°C d'écart / T° std)}$

⇒  $V_p = 80 \text{ kt à FL60 à } 0 \text{ ft } 15^\circ \text{ à } 6000 \text{ ft } +8^\circ \text{C} \rightarrow \text{ en ISA ?}$

*Atmosphère standard (ISA) : à 0ft .. 15°C .. 1013,25 hPa  
Et variation 2°C par 1000ft ou 6,5°C / km et -1hPa / 28ft*

$$\Rightarrow \text{FL60} = 15 - 6 \times 2 = +3^\circ \text{C Std}$$

Correction T°  $\Delta V_p = 80 \times 1 \% = 1 \text{ Kt}$

Correction densité  $\Delta V_p = 80 \times 10\% = 8 \text{ Kt}$

$$V_p = 80 + 1 + 8 = 89 \text{ Kt}$$

## ⇒ Calcul **plan**

⇒ ° en % et inversement

$$\Rightarrow 3^\circ \times (10/6) = 5 \%$$

$$\Rightarrow 5\% \times (6/10) = 3^\circ$$

## ⇒ **Vario** pour suivre un plan de descente

$$\begin{aligned} \Rightarrow V_z(\text{ft/min}) &= V_s(\text{kt}) \times \text{Pente}(\%) & 54 \times 5 &= 270 \text{ ft/min} \\ &\bullet 54 \times 8 &= 432 \text{ ft/min} \end{aligned}$$

## ⇒ Top of Descent (**TOD**)

$$\Rightarrow D(\text{Nm}) = \Delta \text{FL} / \text{Plan}(\%) \quad (35-20)/3 = 5 \text{ Nm}$$

$$\Rightarrow T(\text{min}) = \Delta Z / V_z(\text{ft/min}) \quad (3500-2000)/500 = 3'$$

# Glossaire

Cc	Cap compas	TA	Transit altitude- Altitude de transition
Cm	Angle de cap magnétique	°C	Température de l'air en degrés centigrades
cos	Cosinus	T	Temps (en minutes ou secondes)
Ct	Coefficient de correction	Tav	Temps en tenant compte du vent
Cv	Angle de cap vrai	Tsv	Temps sans vent
$\Delta \delta$	Variation ou correction	Veff	Vitesse du vent effectif
$\delta m$	Déviations du compas magnétique	Vi	Vitesse indiquée par votre instrument
Dm	Déclinaison magnétique	Vno	Vitesse à ne jamais dépasser en atmosphère agitée
D	Distance	Vp	Vitesse propre (ou air)
Fb	Facteur de base	Vsol	Vitesse par rapport au sol
FL	Flight level- Niveau de vol	Vt	Vitesse du vent traversier
FPL	Flight Plan- Plan de vol	Vw	Vitesse du vent (W comme wind)
ft/mn	feet per minute- pieds par minute	Vz	Vitesse verticale
HEA	Heure estimée d'arrivée	WPT	Waypoint
IGN	Institut géographique national	X	Angle de dérive
ISA	International standard atmosphere- Atmosphère standard	Z	Altitude
kmh	Kilomètre par heure		
kt	knot- nœud		
Lognav	Feuille ou journal de navigation		
METAR	Message d'observation météorologique régulière pour l'aviation		
mn	Minute		
NM	Nautical mile- Mile nautique		
NDB	Non directional radio beacon- Radio balise non directionnelle		
NOTAM	Notice to airmen- Avis aux aviateurs		
Ng, Nv	Nord géographique ou nord vrai		
Nm	Nord magnétique		
$\alpha$	Angle au vent		
P(%)	Pente (tangente) d'un plan en % par rapport à l'horizontale		
QFU	Orientation magnétique de la piste en service		
QDR	Relèvement magnétique d'un point à une référence (Radial)		
QDM	Cap magnétique pour aller d'un point vers un autre		
Radial	Relèvement magnétique d'un point à une référence		
Rv	Angle de route vraie		
Sin	sinus		