

Instruments

1

2

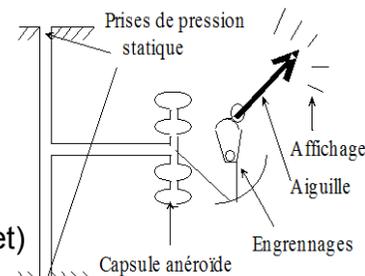
I. Les instruments barométriques. Altimètre

- La pression atmosphérique ↓ quand z ↑.
- La mesure de p donne z.
- Altimètre = baromètre gradué en z.
- L'altimètre peut être calé en pression.
- L'altitude z se donne en m ou en ft (feet)

$$Z(m) = \frac{z(ft) \times 3}{10} \quad z(ft) = \frac{Z(m) \times 10}{3}$$

ft en standard, m dans les pays de l'ex URSS et pour le planeur

- Exemple : 500ft = 2000m =



3

I. Les instruments barométriques. Altimètre

- Lecture :
 - + petite aiguille = x10000ft
 - Moyenne = x1000ft
 - Grande = x100ft
- Calages :
 - Ajuste la référence
 - QFE = 0m piste (hauteur)
 - QNH = 0m mer (altitude)
 - 1013 = STD (FL)
- Erreurs instruments
 - Temp. (z surestimée par temps froid).
 - Z réelle ≠ z indiquée.



4

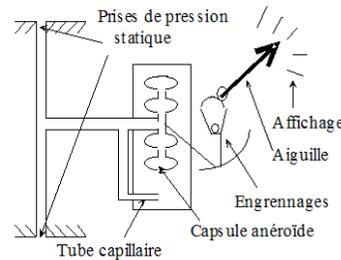
I. Les instruments barométriques. Variomètre

- Baromètre différentiel : mesure Δp sur un temps Δt .

- Vitesse verticale :

$$V_z = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

- Erreurs :
 - DT du boîtier
 - Temps de réponse (3 à 5 s)
 - Surestime V_z en altitude (30% à 11 000m)



5

I. Les instruments barométriques. Variomètre

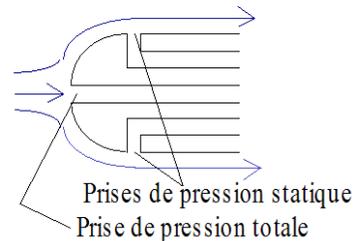
- Partie supérieure du cadran : $V_z > 0$
- Partie inférieure du cadran : $V_z < 0$
- Graduation en ft/min ou m/s
 - ft/min en standard
 - m/s pour les pays de l'ex URSS et les planeurs



6

I. Les instruments barométriques. Anémomètre

- Baromètre différentiel entre :
 - Pression totale p_t ou pression d'impact p_i
 - Pression statique p_s
- Mesure de p_t par sonde de Pitot et de p_s par les prises statiques ou mesure par sonde de Pitot double (schéma)



- Théorème de BERNOULLI :

$$p_t = p_s + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$$

- Calcul de la vitesse :

$$v = \sqrt{2 \cdot \left(\frac{p_t - p_s}{\rho} \right)}$$

7

I. Les instruments barométriques. Anémomètre

- Les vitesses de l'avion :
 - V_i , V_c ou CAS : vitesse indiquée et vitesse calibrée = vitesses lue sur l'instrument avec les corrections de position des prises d'air. Les écarts à l'atmosphère standard ne sont pas corrigés. CAS =
 - V_v ou TAS : C'est la vitesse réelle de l'avion dans l'air (corrigée des écarts de l'atmosphère à l'atmosphère standard). Pour V_i fixée, V_v augmente avec l'altitude. TAS =
 - V_p : composante horizontale de la V_v . Utile pour la navigation.
 - V_s ou GS : vitesse sol. C'est la V_p corrigée de la vitesse du vent. Essentielle en navigation. GS =

8

I. Les instruments barométriques. Anémomètre

- Les vitesses particulières :
 - VNE : Never Exceed
 - VNO : Normal Operating
 - VFE : Flaps Extended
 - VLE – VLO : Landing gear Extended et Landing gear Operating

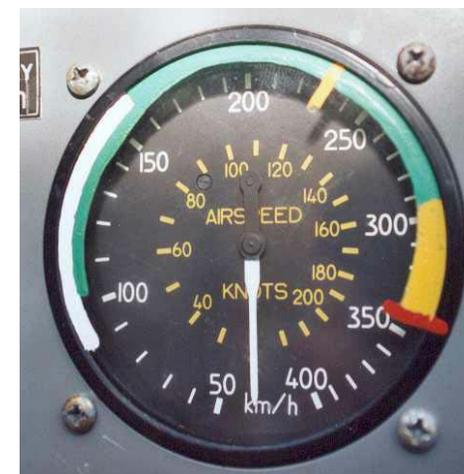
9

I. Les instruments barométriques. Anémomètre

- Anémomètre = Badin
- Arcs de couleur :
 - Blanc : volets
 - Vert : vol normal
 - Orange: entre VNO et VNE
 - Trait rouge : VNE
- Unités :
 - Km/h
 - M.p.h (1,609 km/h)
 - Knots = Kt (1,852 km/h)

$$V_{kmh} = V_{kt} \times 1,852$$

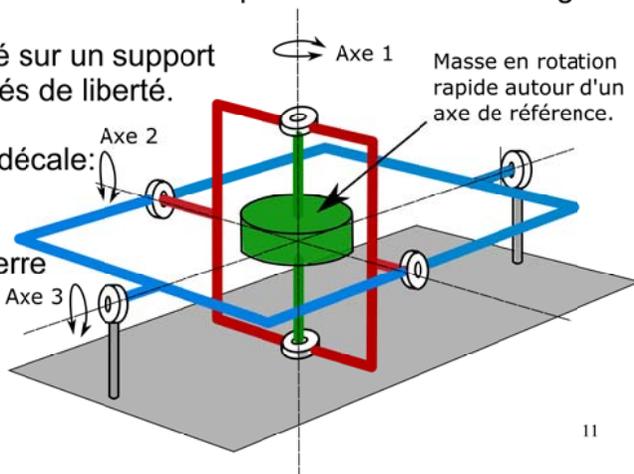
$$V_{kt} = \frac{V_{kmh}}{1,852}$$



10

II. Les instruments gyroscopiques. Le gyroscope

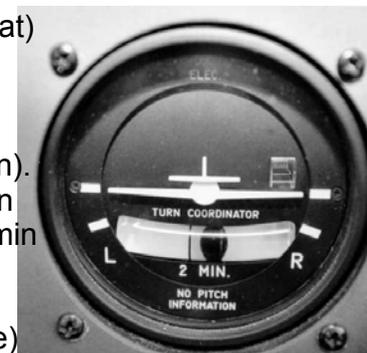
- Gyroscope = masse en rotation rapide autour d'un axe = toupie (démonstration).
- Par inertie l'axe de rotation se conserve quand la masse est bougée.
- Le gyroscope est monté sur un support autorisant de 1 à 3 degrés de liberté.
- L'axe du gyroscope se décale:
 - Par précession
 - par frottements
 - par la rotation de la Terre
 - par les mouvements de l'avion
- Il faut le recalibrer régulièrement.



11

II. Les instruments gyroscopiques. L'indicateur de virage.

- Gyroscope à un degré de liberté (axe de tangage de l'avion lorsque les ailes sont à plat)
- En virage la maquette avion (ou l'aiguille) est inclinée dans le sens du virage et l'inclinaison donne le taux de virage (en °/min).
 - 1 grad = taux standard = taux 1 = 180°/min
 - 1/2 grad = taux 1/2 std = taux 1/2 = 360°/min
- Couplé à la bille (indicateur de dérapage) :
 - La bille indique la symétrie (ou dissymétrie) du vol
 - Elle se décale du côté du vent relatif.
- Pour voler symétriquement:
 - "Le pied chasse la bille".
 - "Le pied tire le fil".



12

II. Les instruments gyroscopiques. Le conservateur de cap.

- = Directionnel. Basé sur un gyroscope à 2 degrés de liberté.

- Axe de référence = direction locale du Nord magnétique (Nm) dans le plan horizontal.

- Couplé à un compas magnétique (boussole) pour le calage initial et le recalage en vol.

- Le compas magnétique n'est pas fiable d'erreur sur le cap!

- Le directionnel présente une erreur beaucoup plus faible :

- 4° max à 20° d'inclinaison
- 10° max à 45° d'inclinaison
- 18° max à 60° d'inclinaison



13

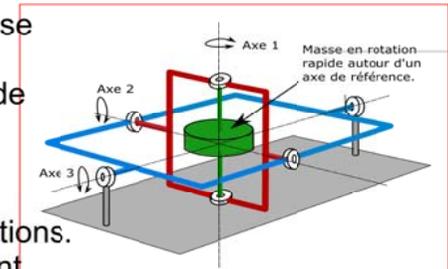
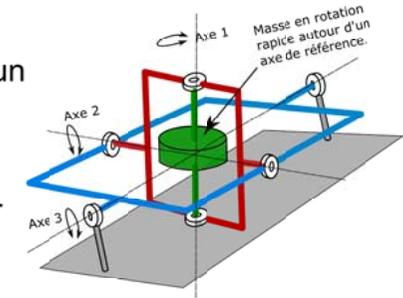
II. Les instruments gyroscopiques. L'horizon artificiel.

- L'horizon artificiel est basé sur un gyroscope à 2 degrés de liberté asservi à un pendule.

- La masse est en rotation autour de la verticale locale.

- Une maquette représentant l'horizon est solidaire de la masse en rotation et une représentant l'avion est solidaire du tableau de bord.

- L'horizon précessionne et se décale sous l'effet des accélérations.
=> il faut le recalcr régulièrement.



14

II. Les instruments gyroscopiques. L'horizon artificiel.

- Maquette de l'horizon:
 - Bleu = ciel (ou blanc)
 - Marron = terre (ou noir)
 - Position fixe dans l'espace bouge par rapport à l'avion
 - Graduations pour lire l'assiette de l'avion

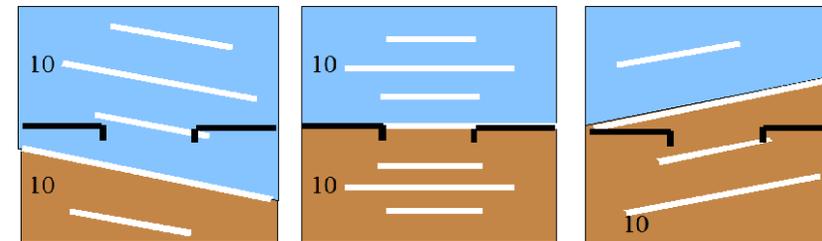
- Maquette de l'avion :
 - Fixe par rapport à l'avion
 - Index solidaire en haut pour lire l'inclinaison

- Bouton de recalage.



15

II. Les instruments gyroscopiques. L'horizon artificiel.



- Position 1 :

- Position 2 :

- Position 3 :

16

Les instruments digitaux.

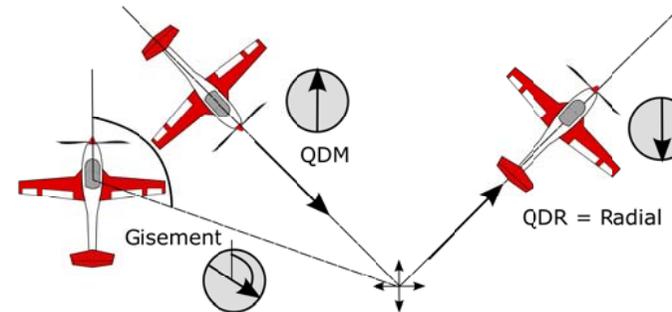
regroupement des principaux instruments de pilotage sur un unique écran digital : HA, Conservateur de cap, Anémomètre, Altimètre, Variomètre ...



17

III. Les instruments de Radionavigation. Le Radiocompas ou ADF.

- ADF = balise sol + récepteur embarqué.
- Une aiguille indique la direction de la balise sur une rose des cap :
 - Fixe => donne un gisement entre l'axe de l'avion et la direction de la balise.
 - Directionnelle (= RMI) => donne un QDM pour atteindre la balise.



18

III. Les instruments de Radionavigation. Le Radiocompas ou ADF.

- 2 types : L et NAV
 - L pour guider les avions sur l'axe de piste en finale
 - NAV pour faire de la radionavigation

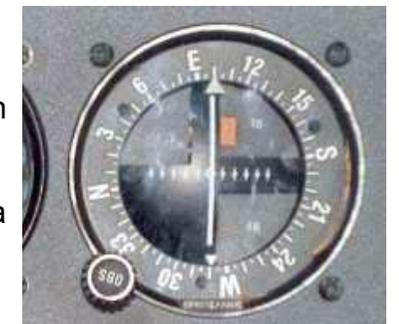
Type	Fréquences	Puissance (W)	Portée (Nm)	Précision
L	200-1750 kHz (MF)	< 50	30	± 2°
NDB	idem	50 à 5000	50 à 200	± 3 à 5°

- Avantages :
 - Bonne portée et information permanente
 - Robuste, répandu, simple et bon marché
- Inconvénients :
 - Précision moyenne
 - Sensible aux orages et la nuit

19

III. Les instruments de Radionavigation. Le VHF OmniRange = VOR

- VOR = balise sol + récepteur embarqué.
- Parfois l'indication se présente comme un RMI.



- Pour plus de précision d'affichage, OBS à barre verticale :
 - un bouton permet d'afficher le QDM à suivre.
 - si la barre est centrée, l'avion est sur le QDM choisi.
 - l'écart entre la barre et le centre représente l'écart angulaire entre le QDM actuel et celui désirée (pour +/- 10°)
 - Un indicateur TO / FROM indique le secteur dans lequel se positionne l'avion par rapport à la balise et au QDM sélectionné.

20

III. Les instruments de Radionavigation.

Le VHF OmniRange = VOR

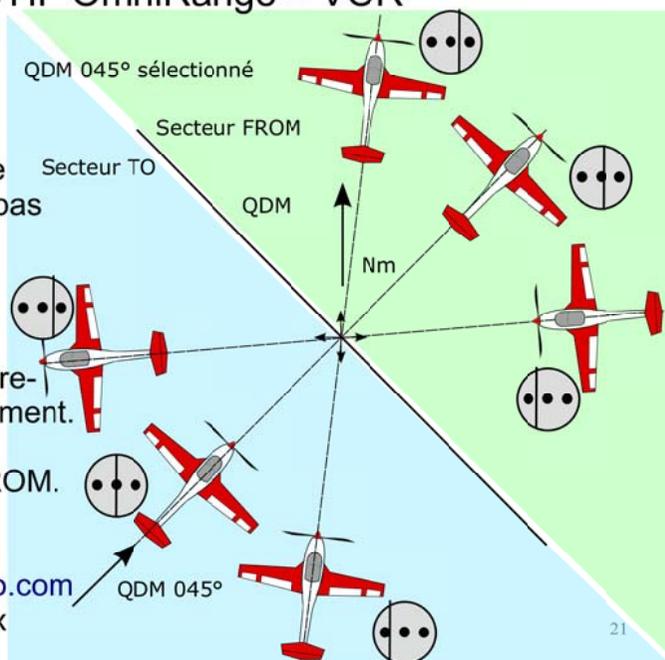
- Indications du VOR selon le secteur et le Cm de l'avion

- L'indication dépend de la position de l'avion, pas de son cap.

- VOR directionnel en secteur TO si Cm en rapprochement et contre-directionnel en éloignement.

- Inverse en secteur FROM.

- Simulateur de VOR:
http://www.luizmonteiro.com/learning_vor_sim.aspx



III. Les instruments de Radionavigation.

Le VHF OmniRange = VOR

- 2 types : T et NAV
 - T (terminal) pour guider les avions sur l'axe de piste en finale
 - NAV pour faire de la radionavigation

Type	Fréquences	Puissance (W)	Portée (Nm)	Précision
NAV	112-118 MHz (VHF)	100	200	± 2 à 3°
T	108-112 MHz (10 ièmes pairs)	10 à 50	25	± 2°

- Avantages :
 - Fiable et précis
 - Insensible aux perturbations météo
- Inconvénients :
 - Portée limitée
 - Précision insuffisante pour un ATR en mauvaises conditions.

III. Les instruments de Radionavigation.

Le Distance Measuring Equipment = DME

- Le DME est apparié à un VOR et donne la distance oblique entre l'aéronef et la balise.

Type	Fréquences	Puissance (W)	Portée (Nm)	Précision
DME	1025-1215 MHz (UHF)	100	200 à 400	1/10 Nm + 0,2 % D

- Avantages:
 - Bonne portée
 - Capacité de 100 appareils simultanément
 - Précision correcte
 - Pas sensible à la météo

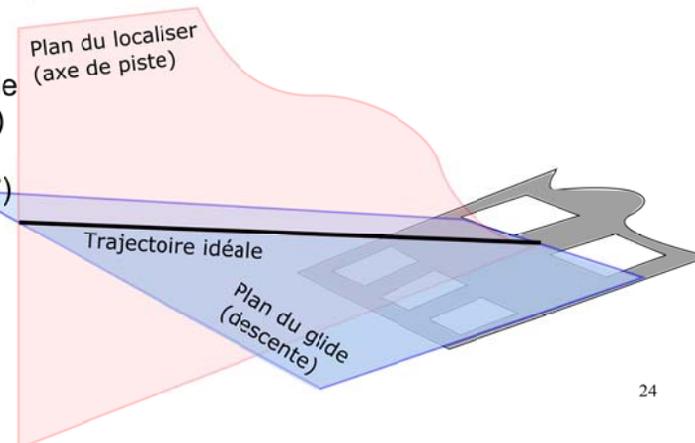
- Inconvénient :
 - Donne une distance oblique

III. Les instruments de Radionavigation.

L'Instrument Landing System = ILS

- 2 balises sol et 1 récepteur embarqué.
- Balises:
 - Localizer = LOC : donne l'axe de la piste; précision > VOR
 - Glide : donne la pente idéale de descente (à 2,5°).

- Info sur OBS:
 - Barre horizontale = LOC (+/- 2,5°)
 - Barre verticale = Glide (+/- 0,5°)



III. Les instruments de Radionavigation. L'Instrument Landing System = ILS

- Barre verticale = axe de piste
 - Centrée = dans l'axe
 - A gauche = trop à droite
 - A droite = trop à gauche
- Barre horizontale = plan de descente
 - Centrée = sur le bon plan
 - En haut = trop bas (danger)
 - En bas = trop haut
- Corrections pour centrer les aiguilles.
- Attention à ne pas "tricoter"!



25

III. Les instruments de Radionavigation. L'Instrument Landing System = ILS

- Sur les instruments digitaux, l'ILS est couplé à l'horizon artificiel, au badin, à l'altimètre, au variomètre ...
- Il se limite à de simples indexes sous l'horizon pour le LOC et sur le côté pour le Glide.



- On glide on track ...

26

III. Les instruments de Radionavigation. L'Instrument Landing System = ILS

- ILS:

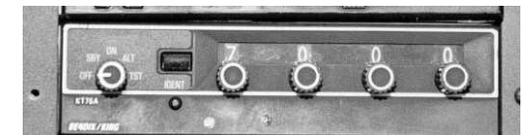
Type	Fréquences	Puissance (W)	Portée (Nm)	Précision
ILS	108-112MHz (10 ièmes impairs)	Loc : 100/Glide : 30	25/10 à ± 10° axe	1/10° / 1/100°

- Avantages :
 - Fiable et précis
 - Peu coûteux
 - Couplage au PA possible
- Inconvénients :
 - Nécessite un calibrage régulier
 - 1 seule piste et 1 seul QFU par ILS

27

III. Les instruments de Radionavigation. Le transpondeur.

- Le transpondeur ou IFF (Identification Friend or Foe) est un émetteur repéré par un radar secondaire.
- L'IFF émet un code qui est affiché sur les écrans radar.
- Le code est donné par un contrôleur ou correspond à des situations particulières:
 - 7700 = ...
 - 7600 = ...
 - 7500 = ...
 - 1300 = ...
 - 7000 = ...



- Certains "modes" sont réservés aux militaires.

28

III. Les instruments de Radionavigation. Le Global Positioning System = GPS

- Système de navigation par satellites. Donne la position en 3 dimensions.
- Couplé aux instruments de l'avion il permet de déterminer précisément le vent et les heures estimées d'arrivée.
- C'est une aide précieuse pour la navigation IFR et VFR.
- Les modèles les plus précis permettent des approches de précision
- Seuls les GPS intégrés au tableau de bord et couplés aux autres instruments et moyens de radionavigation sont homologués.
- **Attention** : les GPS portables ont une précision et une fiabilité souvent bien moindre que ce qu'imaginent les pilotes.

29

IV. Exemples de panneaux d'instruments

- Planche de bord d'un DA 40 :



30

IV. Exemples de panneaux d'instruments

- Planche de bord d'un EMB 145 :



31

IV. Exemples de panneaux d'instruments

- Simulateur de l'école Gilles POLOME Aviation :



32