STAGES THÉORIQUES PPL

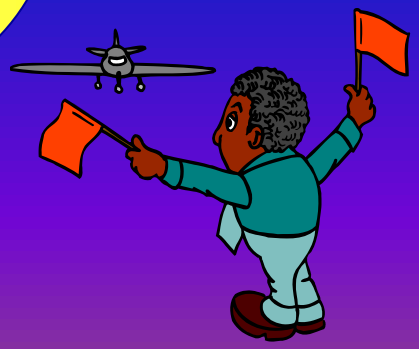
LES INSTRUMENTS DE BORD

CONTRÔLE DU PILOTAGE ET DU GMP

ANDRÉ PARIS

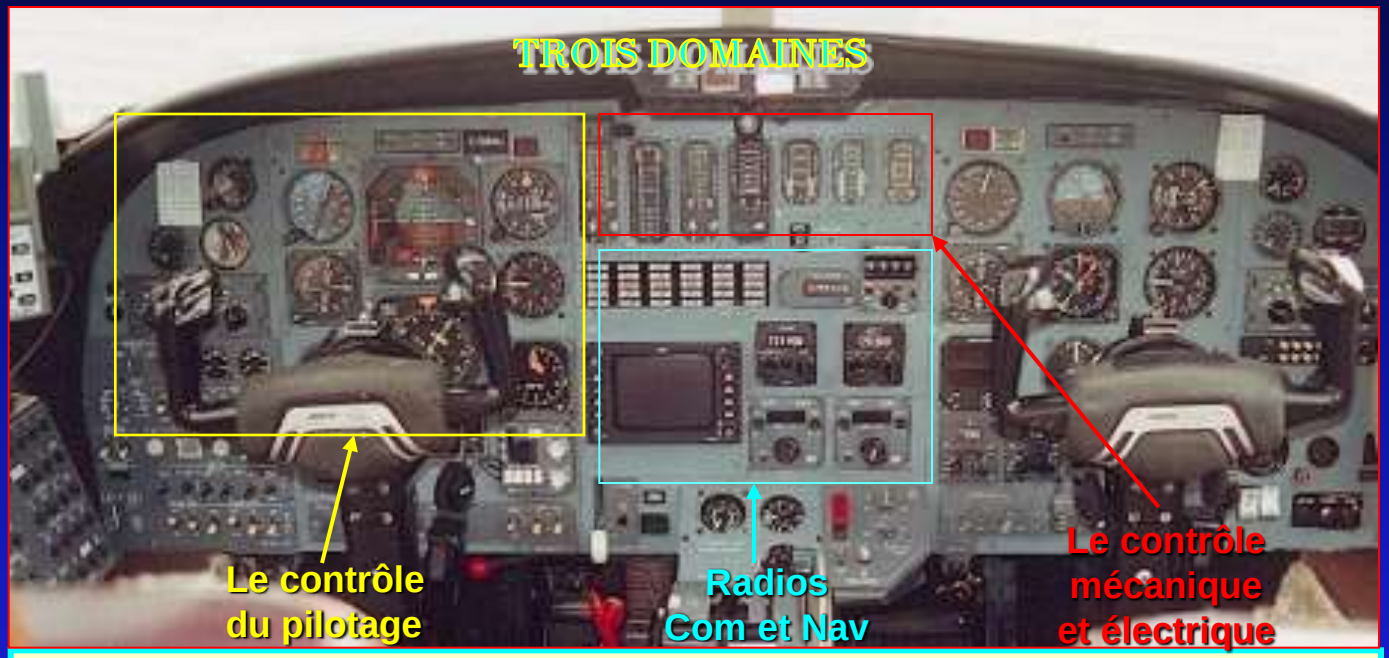
INSTRUMENTS DE BORD

- Organisation des tableaux de bord
- Le compas et ses imperfections
- Les instruments dédiés au pilotage
- Les circuits de pression statique et totale
- L'anémomètre
- Les erreurs instrumentales de l'anémomètre
- Les vitesses caractéristiques
- L'altimètre
- L'interprétation de l'information altimétrique
- Le variomètre
- Le circuit de dépression
- Les gyroscopes
- L'horizon artificiel
- Le conservateur de cap
- Le coordinateur de virage et la bille
- Les vérifications séquentielles



LES INSTRUMENTS DE CONTRÔLE

Aides à la décision et autocontrôle de l'action



Objectifs :

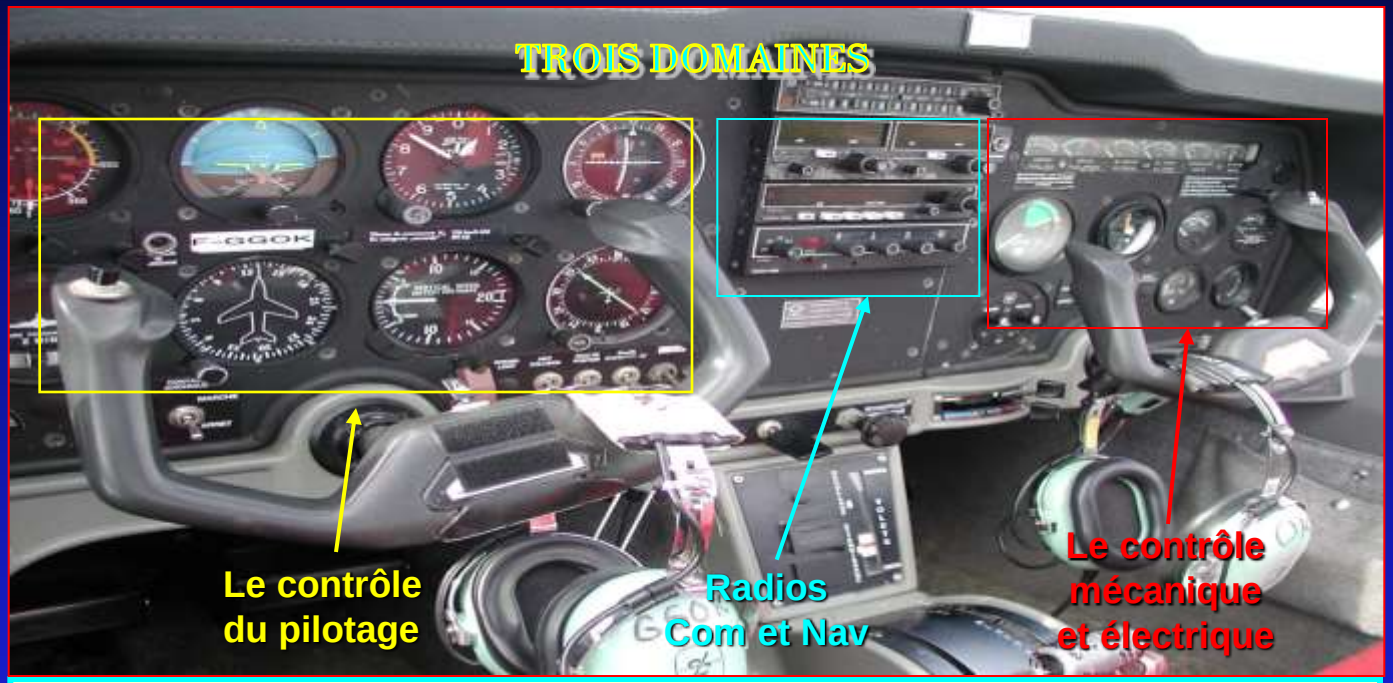
- faciliter l'action
- permettre un autocontrôle rapide
- accroître la réaction
- limiter l'ambiguïté
- destresser donc favoriser l'efficacité

Les points-clés de son efficience :

- organisation structurée et banalisée
- fonds d'indicateur colorés
- utilisation séquentielle
- limitation aux informations pertinentes
- possibilité de croisement des informations

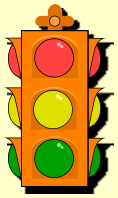
LES INSTRUMENTS DE CONTRÔLE

Aides à la décision et autocontrôle de l'action

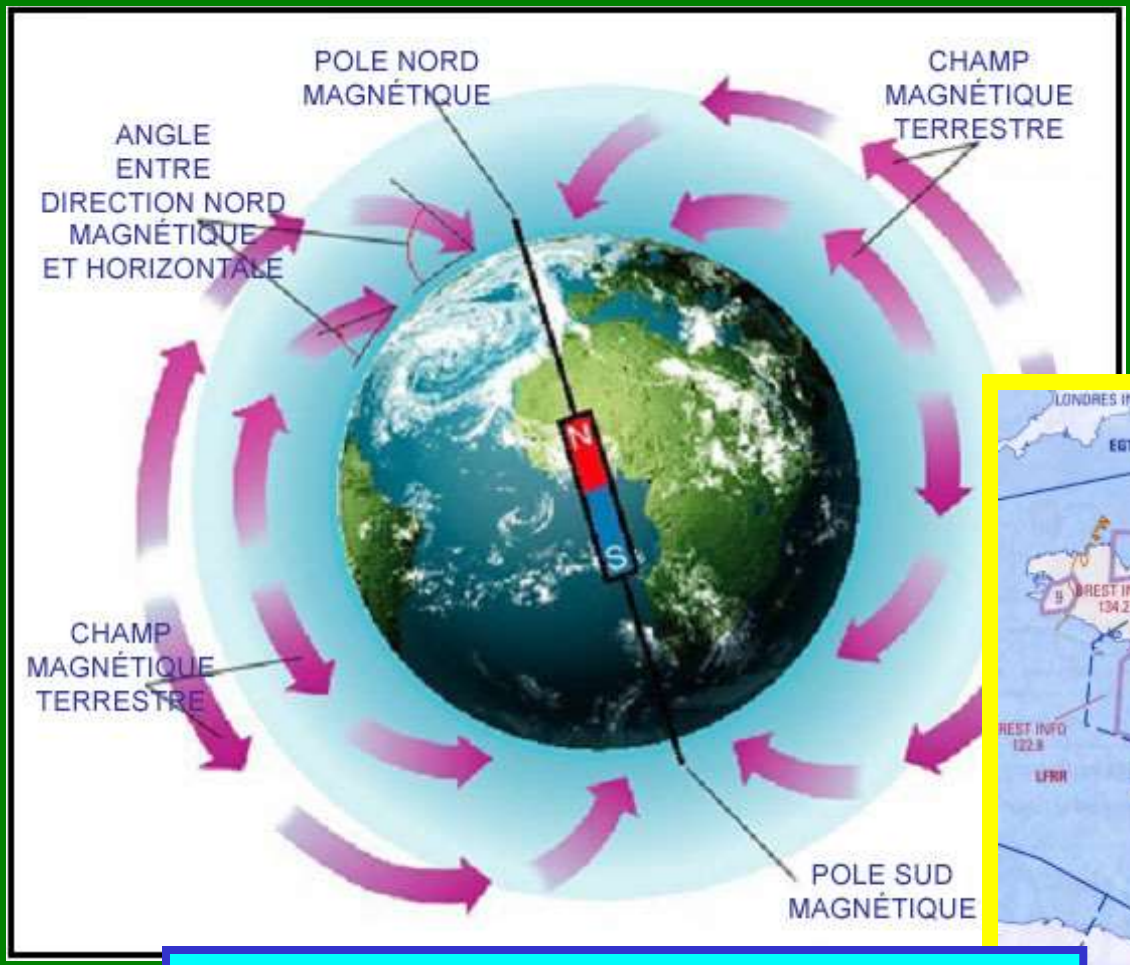


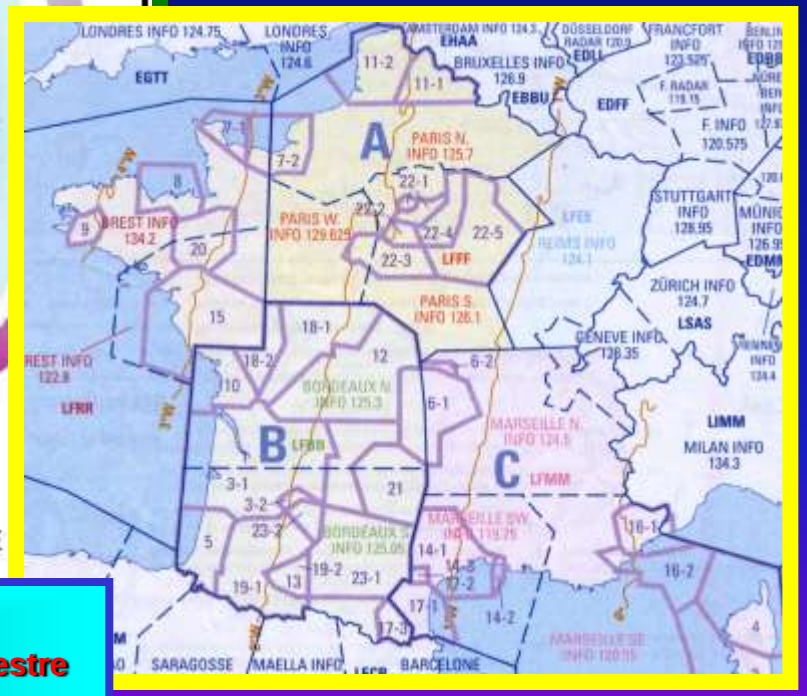
Prise en compte du facteur humain et de la relation homme-machine :

- organisation similaire sur tous les avions
  - reconnaissance de son domaine
  - réconfort moral et efficacité accrue
  - actions et réactions amplifiées
- emplacement des indicateurs identique
- fonds d'indicateur colorés



LE CHAMP MAGNÉTIQUE TERRESTRE



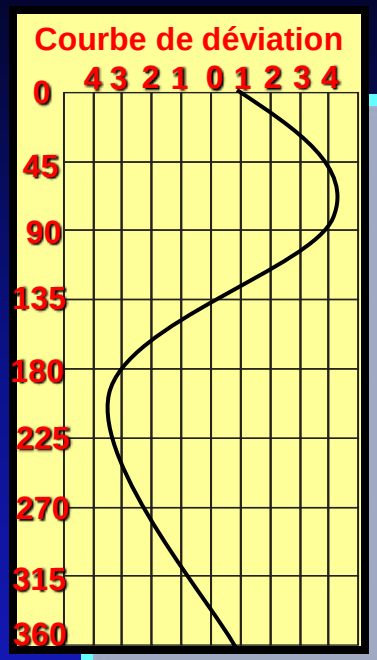


Particularités :

- Champ magnétique non parallèle à la surface terrestre
- Valeur du champ magnétique terrestre variable
- Déclinaison magnétique variable
  (décroissance annuelle de l'ordre de 7 minutes d'angle.

Lignes d'égale déclinaison : ISOGONES

LE COMPAS MAGNÉTIQUE



Flotteur

Capsules d'expansion

Eclairage instrument

Alimentation électrique

Ligne de foi

Rose des caps

Vitre

Bol étanche

Ligne de foi

Attelage magnétique

Vis de compensation

Remplissage

Aimants de compensation

Rose des caps

Mécanisme de compensation

Tableau des déviations

LE COMPAS MAGNÉTIQUE

PROBLEMES FONDAMENTAUX LIÉS AU FONCTIONNEMENT DU COMPAS

- Champ magnétique terrestre non parallèle à l'horizontalité (En France, inclinaison magnétique = 64 °).

Solution : Mise en place d'un contrepoids (balourd) sur le côté sud du barreau aimanté, (correspondant au Nord affiché de la rose des caps).

- Champ magnétique perturbateur à proximité du compas, influence des masses métalliques de l'avion (fers durs et fers doux) et des équipements électriques (radios, alimentation, etc).

Solution : Compensation du compas (courbe de déviation) Blindage et position de l'appareillage électrique.

- Difficulté d'optimiser la sensibilité et le milieu turbulent ambiant

Solution : Faire évoluer l'attelage magnétique sur un pivot (sensibilité) Amortissement du flotteur dans une enceinte remplie d'un liquide autolubrifiant, incongelable et transparent.

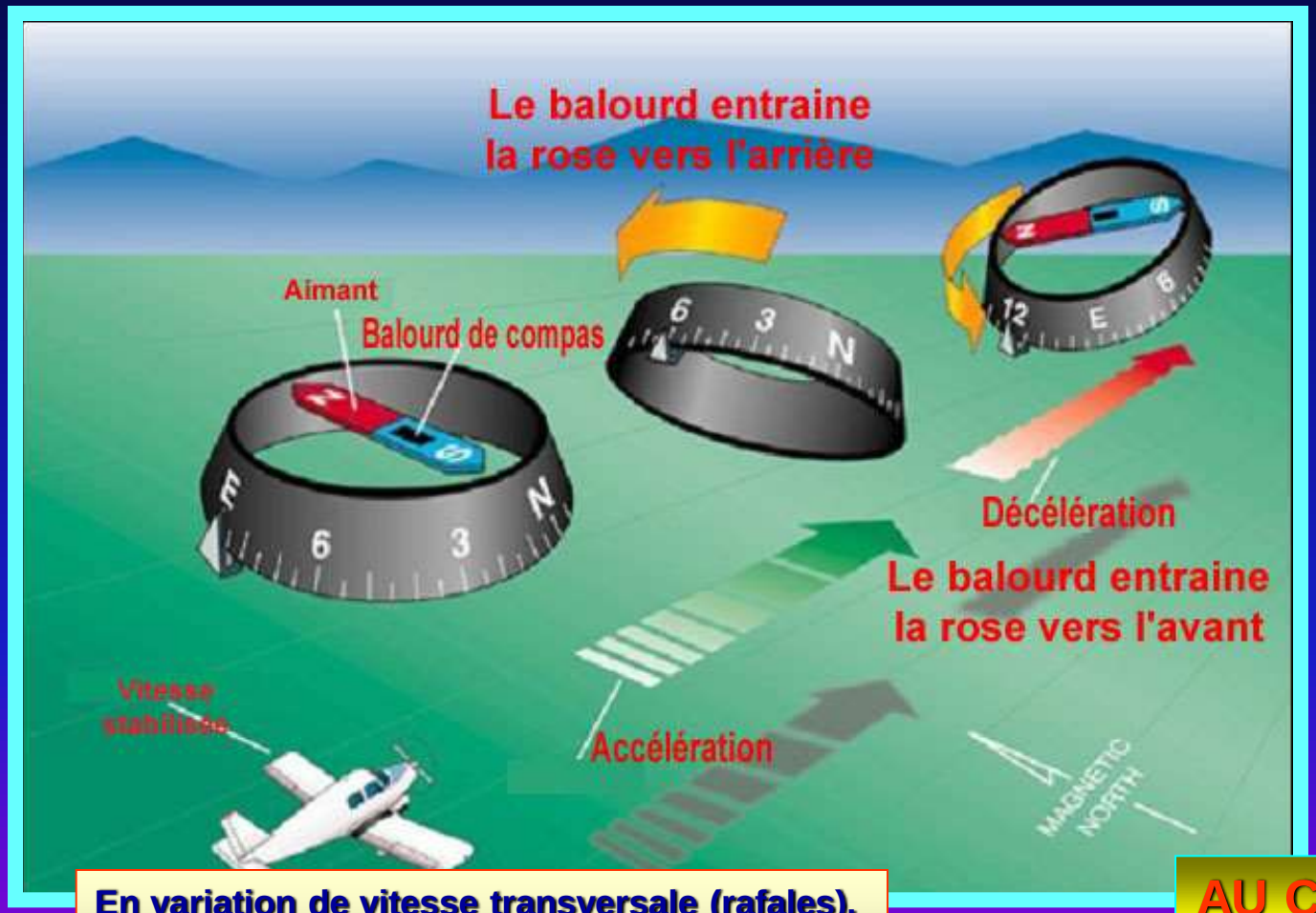
LE COMPAS MAGNÉTIQUE

L'ERREUR INSTRUMENTALE

- Erreurs dues aux variations de vitesse longitudinales
- Erreurs dues aux variations de vitesse transversales
- Erreurs dues aux changements de cap et de nord
- Erreurs dues aux variations de déclinaison magnétique
- Erreurs dues aux champs magnétiques perturbateurs
- Erreur due au phénomène de parallaxe

LE COMPAS MAGNÉTIQUE

Erreurs dues aux variations de vitesse



AU CAP EST
En accélération,
le cap compas diminue
(balourd entraîné
vers l'arrière)

AU CAP EST
En décélération,
le cap compas augmente
(balourd entraîné
vers l'avant)

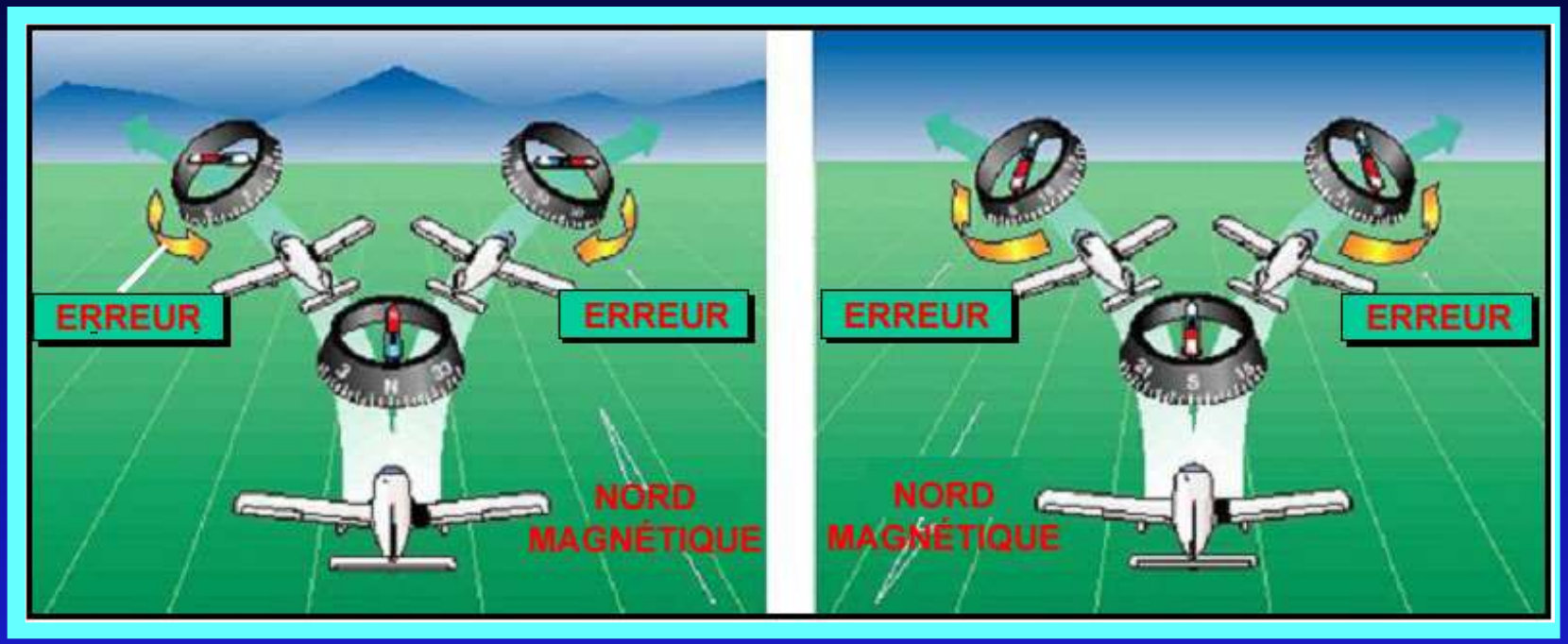
AU CAP OUEST
Accélération,
cap compas augmente
Décélération
cap compas diminue

En variation de vitesse transversale (rafales),
on dit que la rose est paresseuse au cap nord
et nerveuse au cap sud

AU CAP NORD ET SUD
Pas d'altération significative
du cap compas

LE COMPAS MAGNÉTIQUE

Erreurs dues aux changements de cap et de nord



En virage, le flotteur est soumis au problème de poids apparent.
Le plan de la rose des caps reste parallèle au plan des ailes
et le balourd est entraîné par la force centrifuge.

Vers le Nord	Vers le Nord	Vers le Sud	Vers le Sud
pour un virage à gauche	pour un virage à droite	pour un virage à gauche	pour un virage à droite
la rose va au-delà	la rose va en deça	la rose va en deça	la rose va au dela

LES INSTRUMENTS DÉDIÉS AU PILOTAGE

Anémomètre

Horizon artificiel

Altimètre

Montre de bord

Coordinateur de virage et Bille

Conservateur de cap

Variomètre

INSTRUMENTS ANÉMO-BAROMÉTRIQUES

Ils utilisent les propriétés liées à la pression de l'air.
Une sonde (appelée tube Pitot) disposée sur l'avant du fuselage ou de la voilure permet de mesurer une pression totale à un endroit où l'écoulement de l'air autour de l'avion est arrêté.

Des prises disposées dans des orifices sur le fuselage de l'avion permettent de mesurer une pression statique à un endroit où l'air a une vitesse nulle.

La vitesse de l'avion par rapport au vent relatif peut alors être déduite de la différence entre pression totale et pression statique.

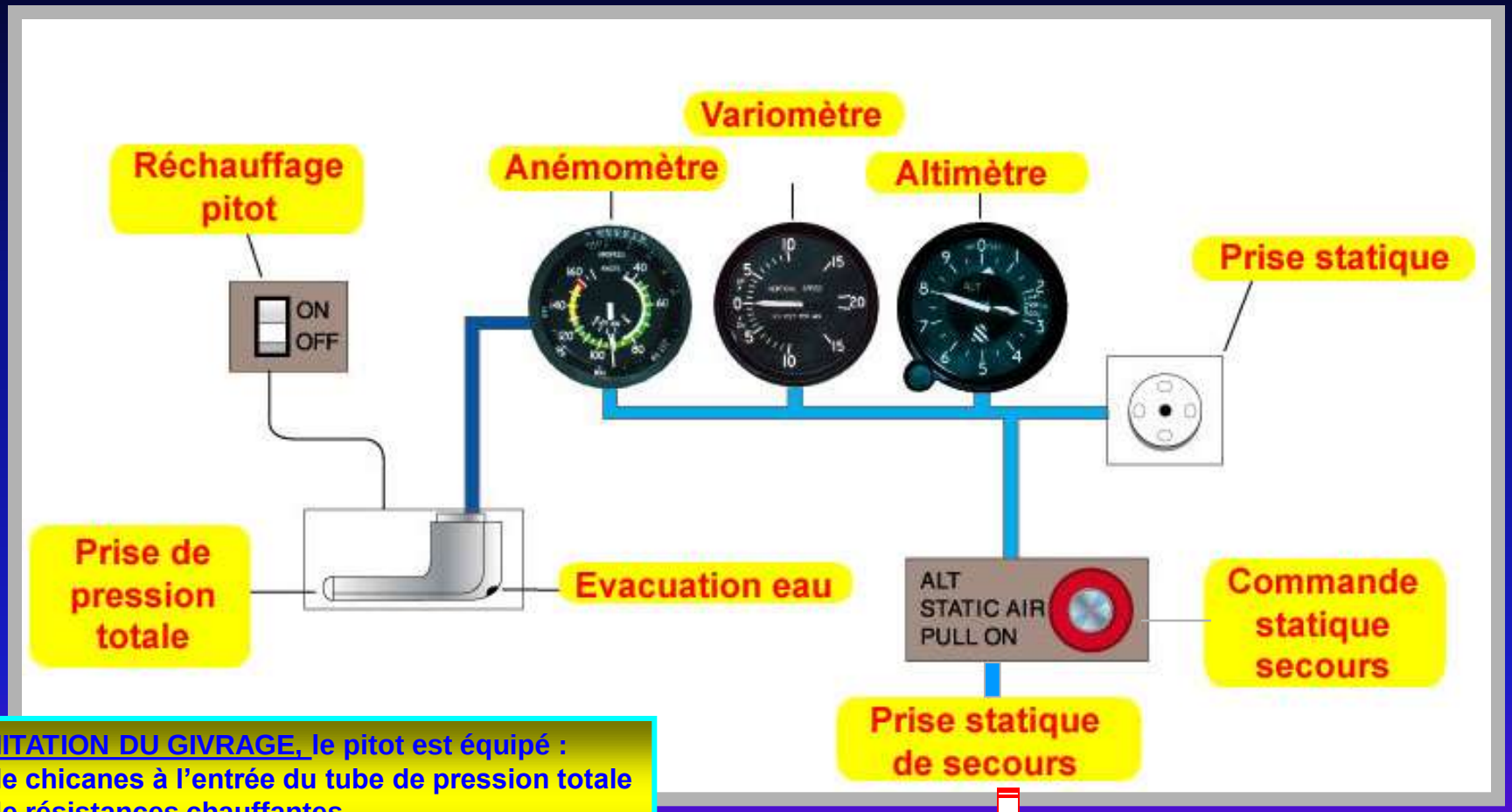
TROIS PRINCIPAUX INSTRUMENTS UTILISENT CES PROPRIÉTÉS

ANÉMOMÈTRE

ALTIMÈTRE

VARIOMÈTRE

CIRCUITS DE PRESSION STATIQUE ET TOTALE



<u>LIMITATION DU GIVRAGE,</u> le pitot est équipé :

- **de chicanes à l'entrée du tube de pression totale**
- **de résistances chauffantes**
- **d'une évacuation d'eau**

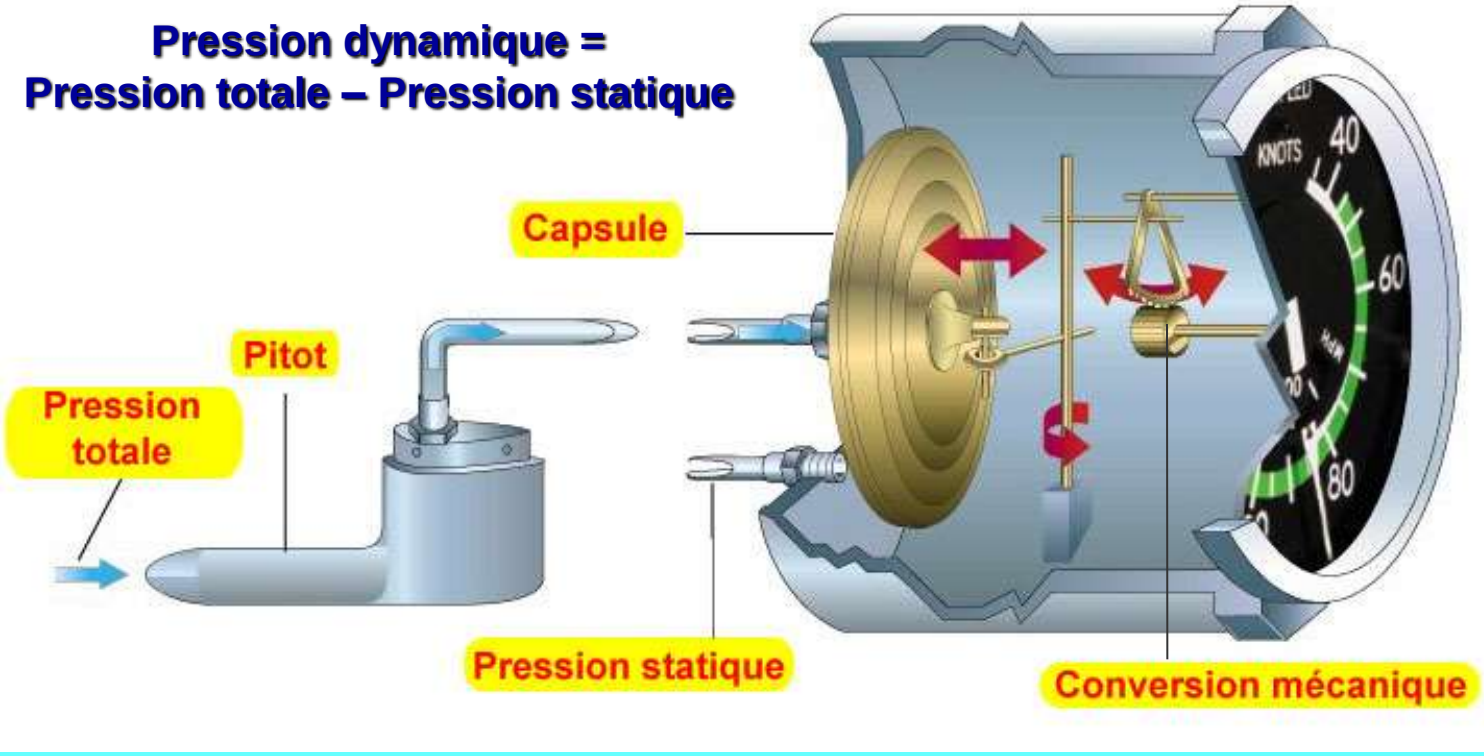
<u>L'utilisation du statique de secours entraîne (cabine en surpression) :</u>

- **Indication alti plus faible que réelle**
- **Indication vario accuse momentanément une amorce de descente**
- **Indication badin plus faible que réelle**

L'ANÉMOMETRE

FONCTIONNEMENT BASÉ SUR LA MESURE D'UNE DIFFÉRENCE DE PRESSION CONVERTIE EN VITESSE

Pression dynamique = Pression totale – Pression statique



CONVERSION DE PRESSION EN VITESSE

jusqu'à 500 km/h : Loi de Bernoulli
Domaine compressible : Loi de Saint Venant
En supersonique : Loi de Rayleigh

L'ANÉMOMETRE

Index de pression / température

VSO

VNE

VS

Vitesse indiquée (IAS)

VNO

VFE

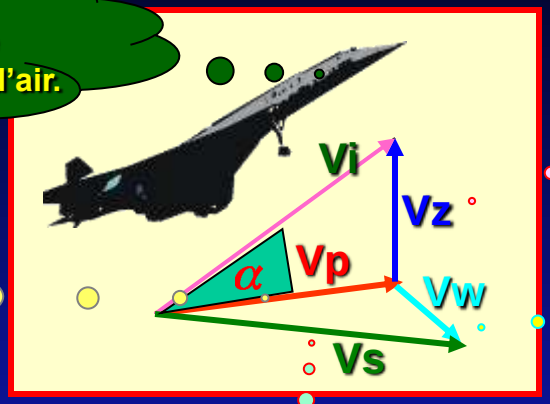
Réglage
de la compensation d'erreur
température / pression

Vitesse
vraie (TAS)

VITESSES CARACTÉRISTIQUES

Vi = vitesse aérodynamique de l'avion par rapport à la masse d'air.

Vz = vitesse verticale de l'avion



Vp = vitesse horizontale de l'avion

Vw = vitesse du vent

Vs = vitesse sol

De l'information lue à l'information réelle… MÉMO = ICE Tea

VI Vitesse indiquée
IAS Indicated Air Speed

Vp Vitesse propre

Correction d'installation (1 à 2 Kt)

VC Vitesse conventionnelle
CAS Calibrated Air Speed

Vv Vitesse vraie
TAS True Air Speed

Correction de pente (Vp =Vv.cos α)

Correction de compressibilité (V > 250 Kt)

EV Equivalent de vitesse
EAS Equivalent Air Speed

Correction de densité (1% par 600 ft 1% par 5°C)

VITESSES CARACTÉRISTIQUES

ANÉMOMÈTRE AVEC CORRECTION MANUELLE DE LA VITESSE INDIQUÉE EN VITESSE VRAIE (TAS)

Exemple :
Vol à 6000 ft ,
Tempé ext = + 25°C, Vi = 175 MPH

Le calcul de la vitesse vraie donnerait :

CORRECTION DÛE A LA DENSITÉ
1% / 600 ft donc pour 6000 ft = 6000/600 = 10%

CORRECTION DÛE A LA TEMPÉRATURE
1% par 5° C de différence
Tempé standard à 6000 ft = + 15° - (2° x 6) = + 3° C
Tempé ext (OAT) = + 26°C,
Différence de tempé = 26 - 3 = 23° C (soit 25° environ)
Correction tempé = 25 / 5 = 5 %.

La vitesse vraie (TAS) = 175 + (10%) + (5%) = 202 MPH

<u>Corrections</u>
+ 1% par 600 ft
+ 1% par 5°(standard)

Le simple réglage par la molette de l'arc blanc supérieur (mettre le 6 de l'altitude en face de +26 la tempé extérieure) indique directement la vitesse vraie dans l'arc blanc inférieur soit : 202 MPH, alors que la vitesse non corrigée Vi = 175 MPH.
<u>Précision :</u> ces corrections de vitesse sont valables en Kt, MPH ou km/h.

VITESSES CARACTÉRISTIQUES

VNE Vitesse maxi à ne jamais dépasser

VNO Vitesse maxi en air turbulent

VFE Vitesse maxi volets tous sortis

VS Vitesse de décrochage avion lisse

VSO Vitesse de décro config atterrissage

V1 Vitesse de décision

V2 Vitesse de sécurité au décollage

VMC Vitesse minimum de contrôle

Vx Vitesse de meilleure pente de montée

Vy Vitesse de meilleure taux de montée

Vz Vitesse verticale de montée

VA Vitesse de calcul en manoeuvre

VB Vitesse de calcul en air turbulent

VC Vitesse de calcul en piqué

VLE Vitesse maxi train sorti

VLO Vitesse maxi de sortie du train

L'ALTIMETRE

L'altimètre est un baromètre gradué en mesure de distance.

Aiguille des dizaines de milliers de pieds

Aiguille des milliers de pieds

Aiguille des centaines de pieds

Pression de référence 29,92 In Hg = 1013 hPa

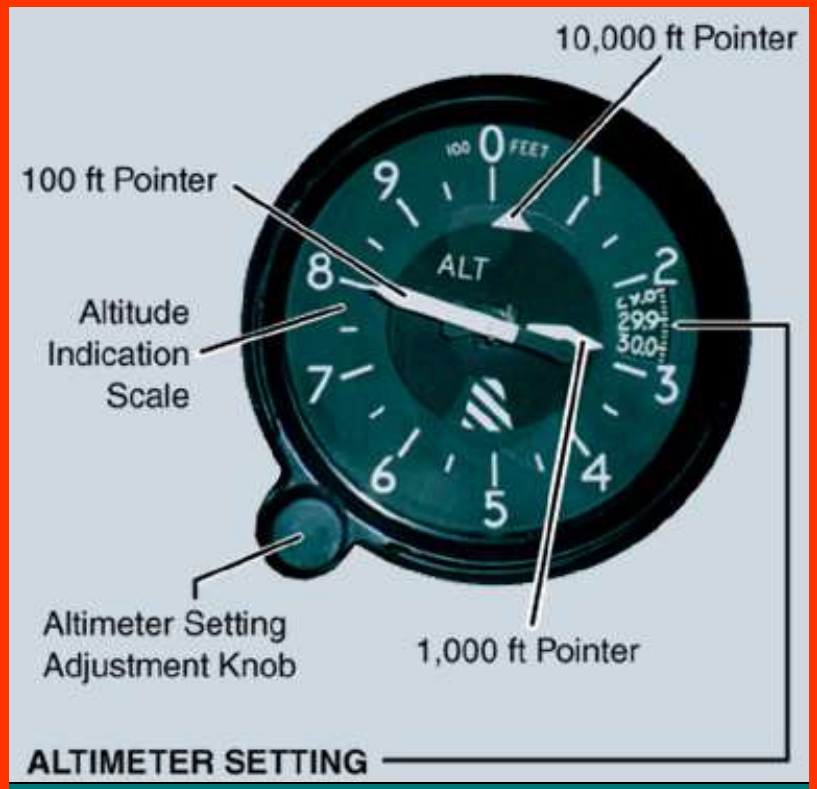
Molette de réglage de la référence

Témoin altitude < 10000 ft

La référence de mesure est réglable (calage altimétrique)
et peut prendre par exemple comme point de référence :

- la pression standard
- la pression au niveau de la mer
- la pression au sol.

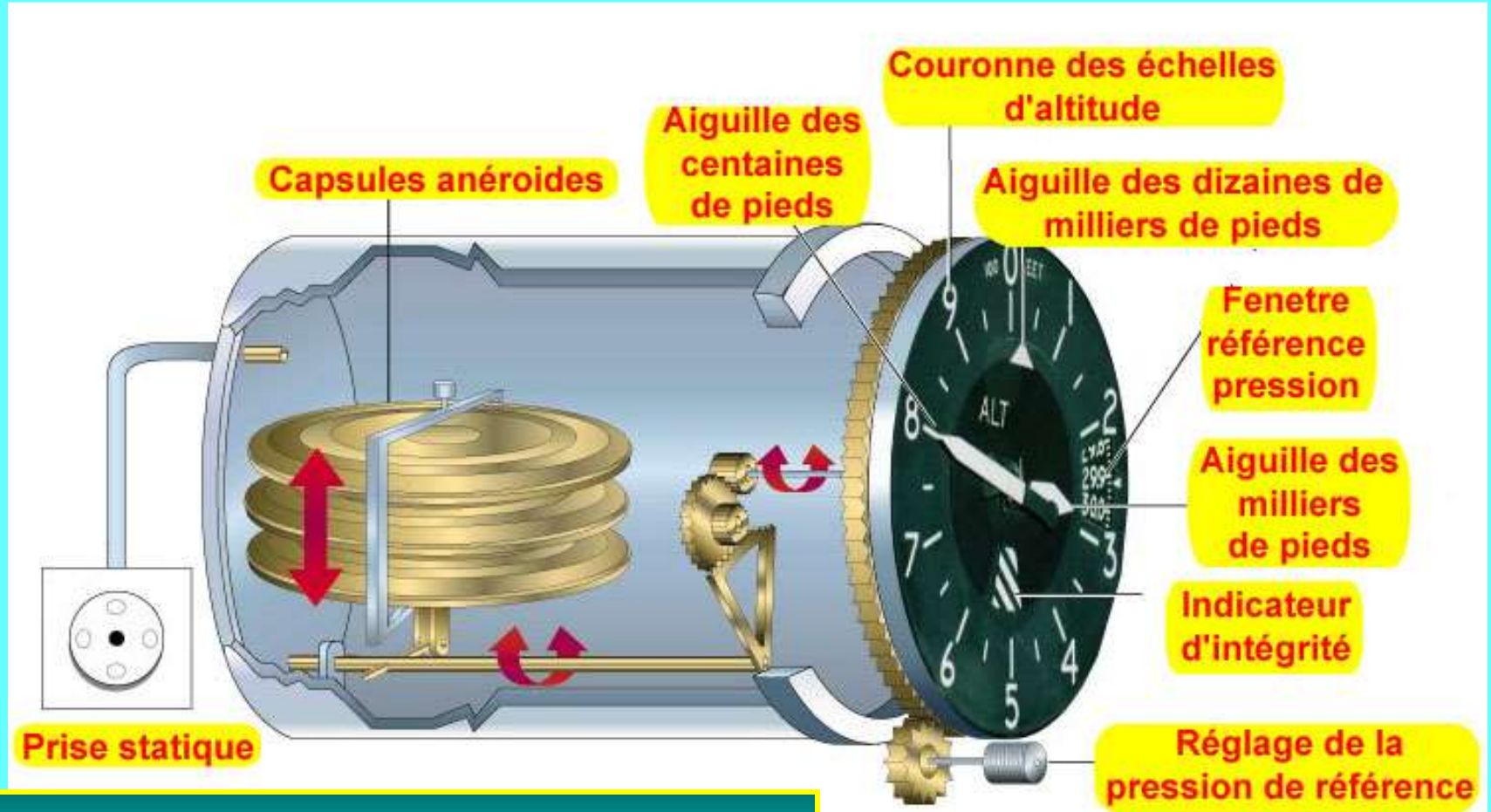
L'ALTIMETRE



Altimètre à 3 aiguilles

Altimètre à tambour

L'ALTIMETRE



IMPERFECTIONS DE L'ALTIMETRE :

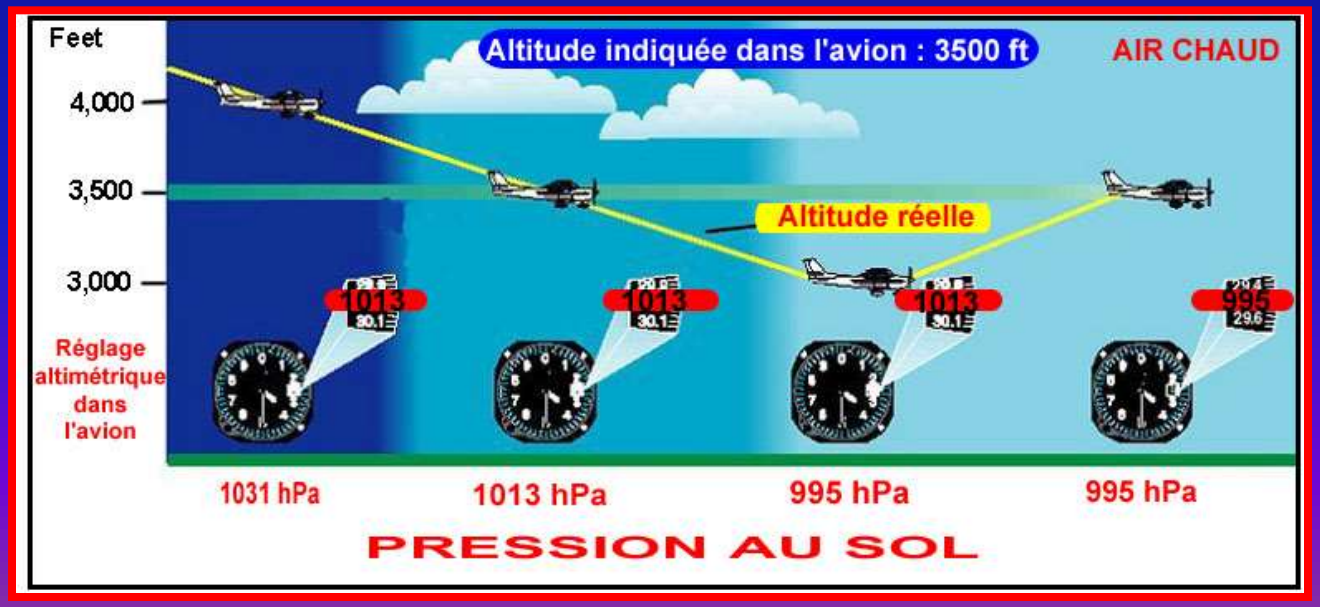
- Erreurs instrumentales (hystérésis, mobilité, justesse, ...)
- Erreurs dues aux conditions extérieures (pression, tempé)
- Erreurs de statique (choix de la position de la prise, ...).

L'ALTIMETRE

IMPERFECTIONS DE L'INSTRUMENT

TEMPÉRATURE

Plus froid = plus bas



PRESSION

Plus faible = plus bas

LE VARIOMETRE

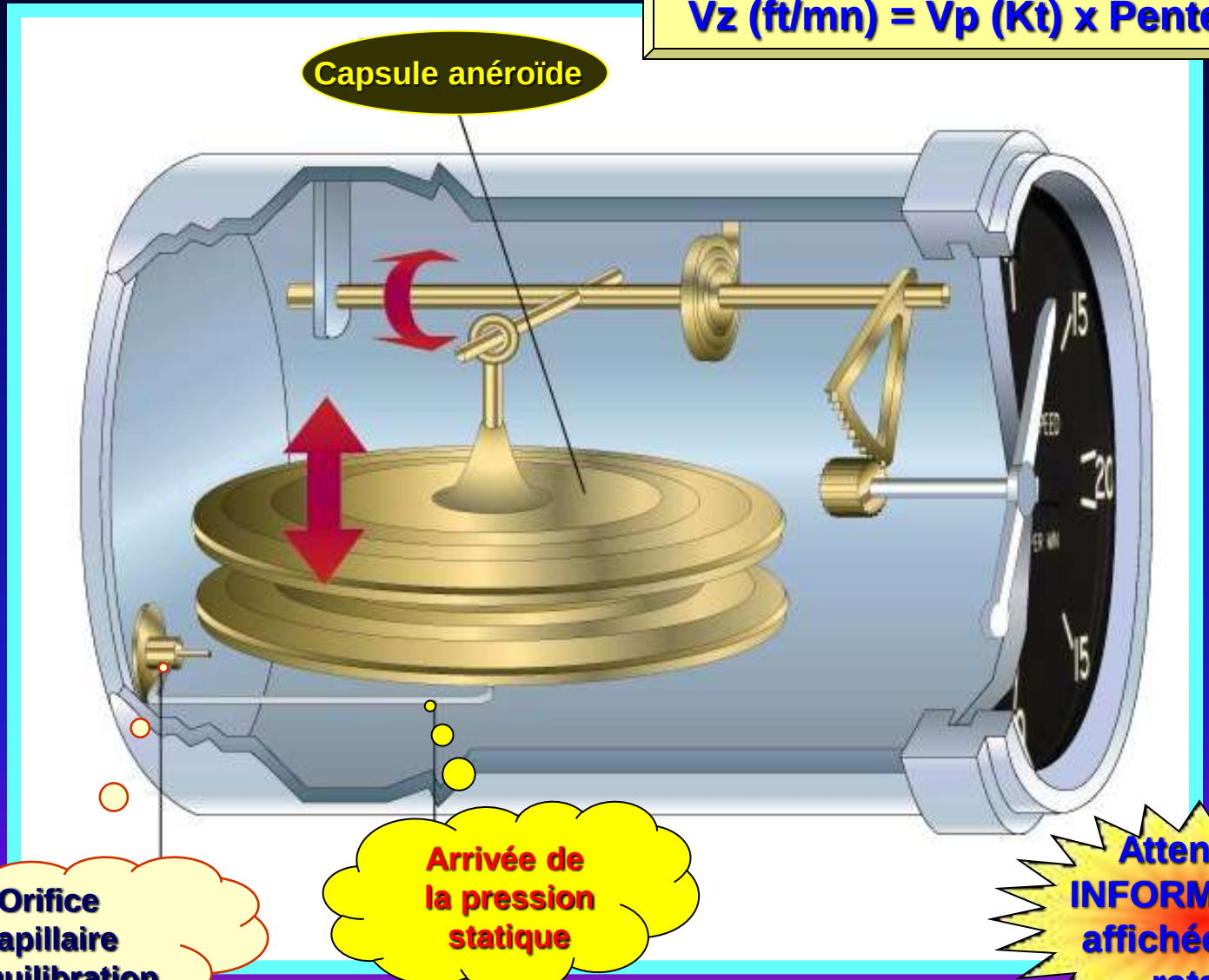
A haute altitude, le variomètre est très imprécis. Il ne doit avoir que la valeur d'un indicateur de tendance

Les échelles de lecture peuvent être linéaires ou dilatées aux basses valeurs de la vitesse verticale.

Généralement en centaines de pieds par minute
Pour les planeurs, existe en mètres par seconde
1 mètre par seconde = 200 feet par minute

LE VARIOMETRE

Vz (ft/mn) = Vp (Kt) x Pente en %



Attention INFORMATION affichée avec retard

LES INSTRUMENTS GYROSCOPIQUES

<u>Principe</u> : solide de révolution animé d'un mouvement de rotation rapide autour de son axe de symétrie

La principale propriété d'un gyroscope en rotation, soumis à aucune force perpendiculaire sur son axe de rotation, est sa <u>FIXITÉ DANS L'ESPACE ABSOLU.</u>

La propriété de fixité des gyroscopes permet de les utiliser comme des plateformes de référence stables, à bord des avions.

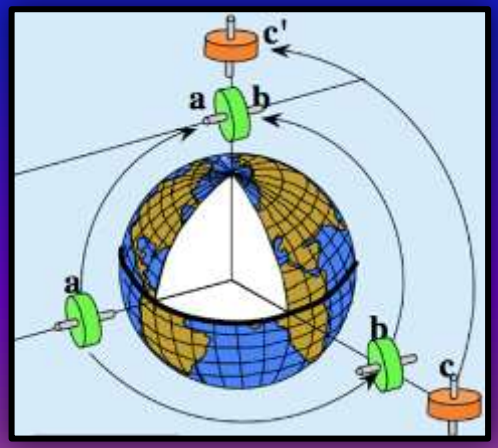
<u>Trois types d'instrument utilisent cette propriété depuis longtemps :</u>

Propriété du gyroscope développée par Léon FOUCAULT dès 1852

- Conservateur de Cap : 1908 (E.A.Sperry)

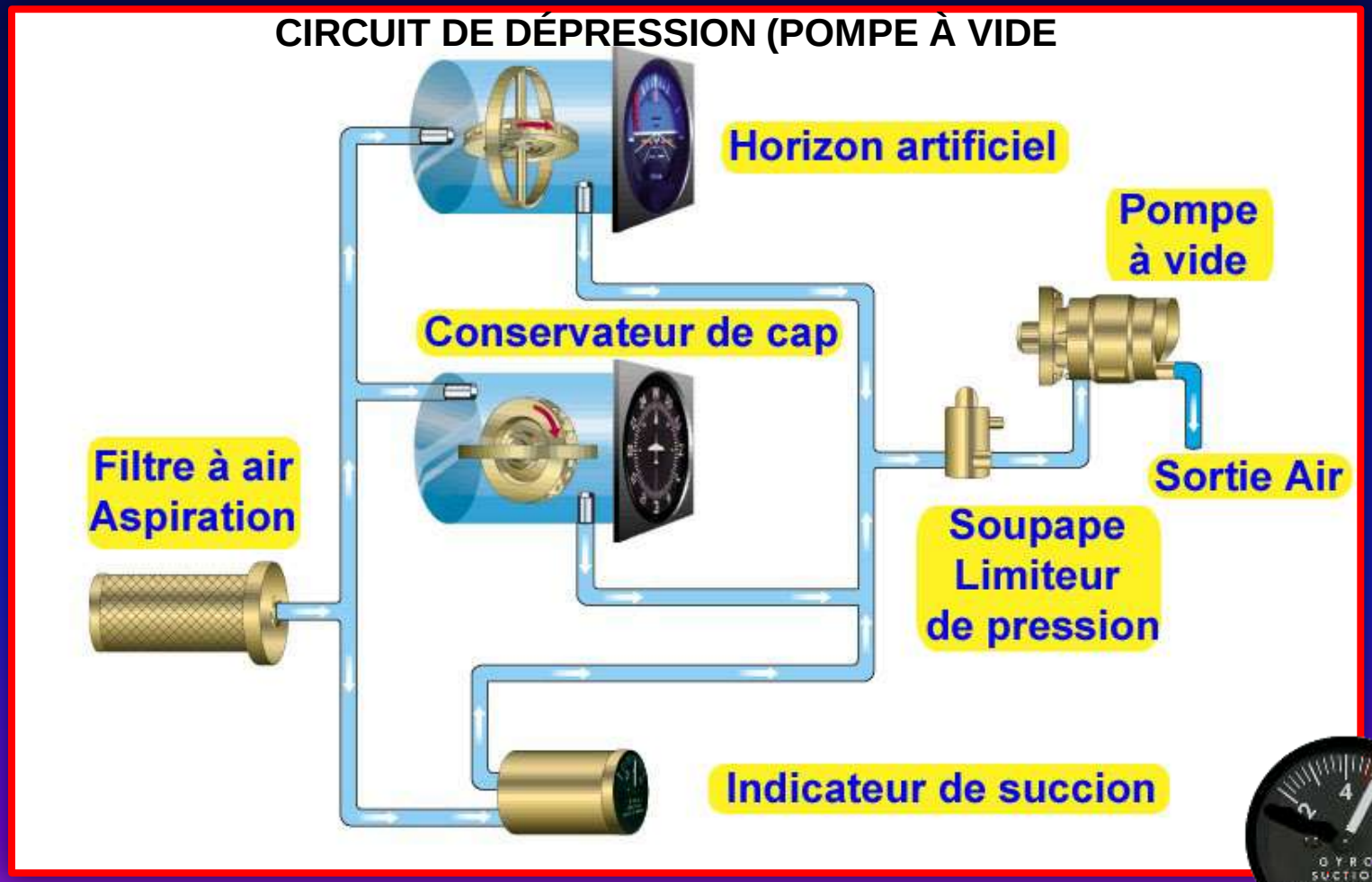
- Indicateur de virage : 1922 (R.Badin)

- Horizon artificiel gyroscopique : 1933.



LES SOURCES D'ÉNERGIE DES GYROSCOPES

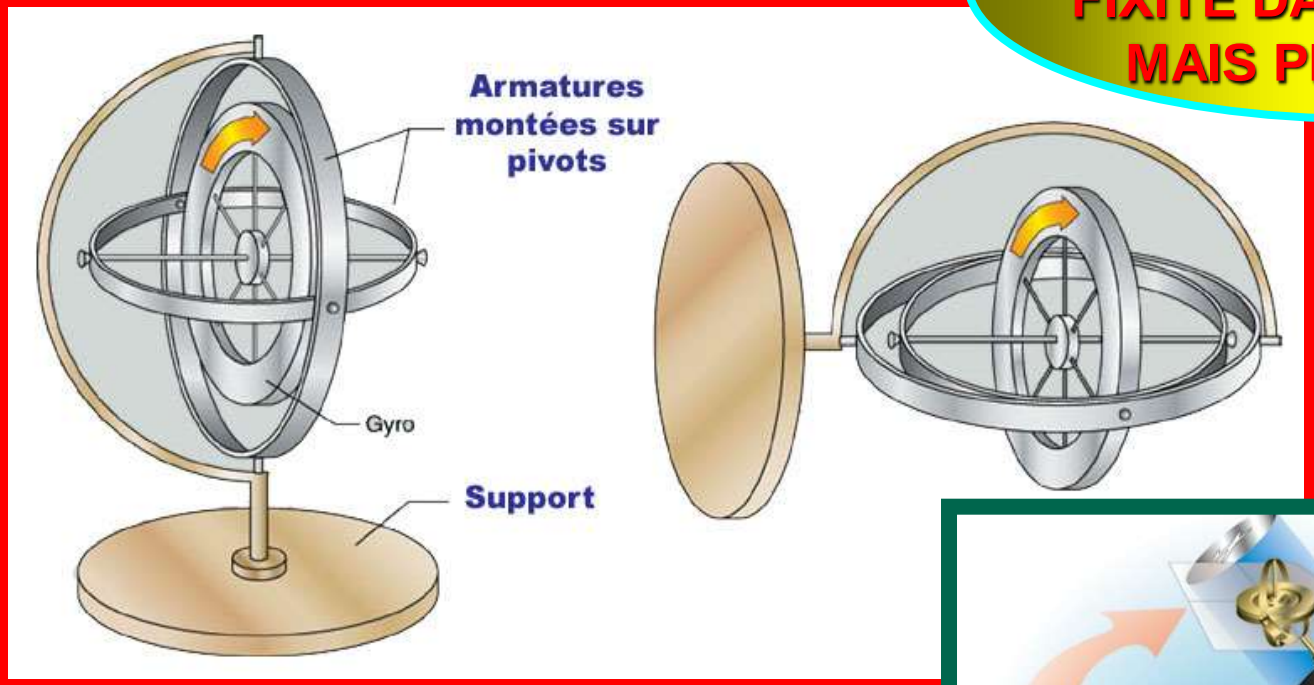
Pour faire tourner ces gyroscopes deux solutions :
soit par flux d'air sur des ailettes ou turbines, soit par moteur électrique.



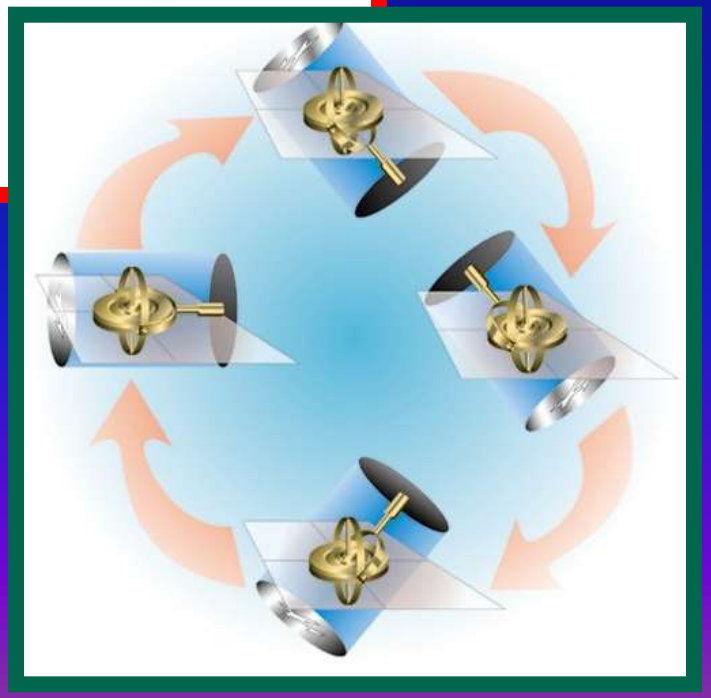
Ordre de grandeur de la dépression 4,6 à 5,4 In Hg

LES GYROSCOPES

Propriétés principales :
FIXITÉ DANS L'ESPACE
MAIS PRÉCESSION



PRÉCESSION
Effet secondaire du gyroscope lorsque l'on exerce une force sur l 'axe de rotation. Perpendiculaire à cette force et dans le sens de la rotation.

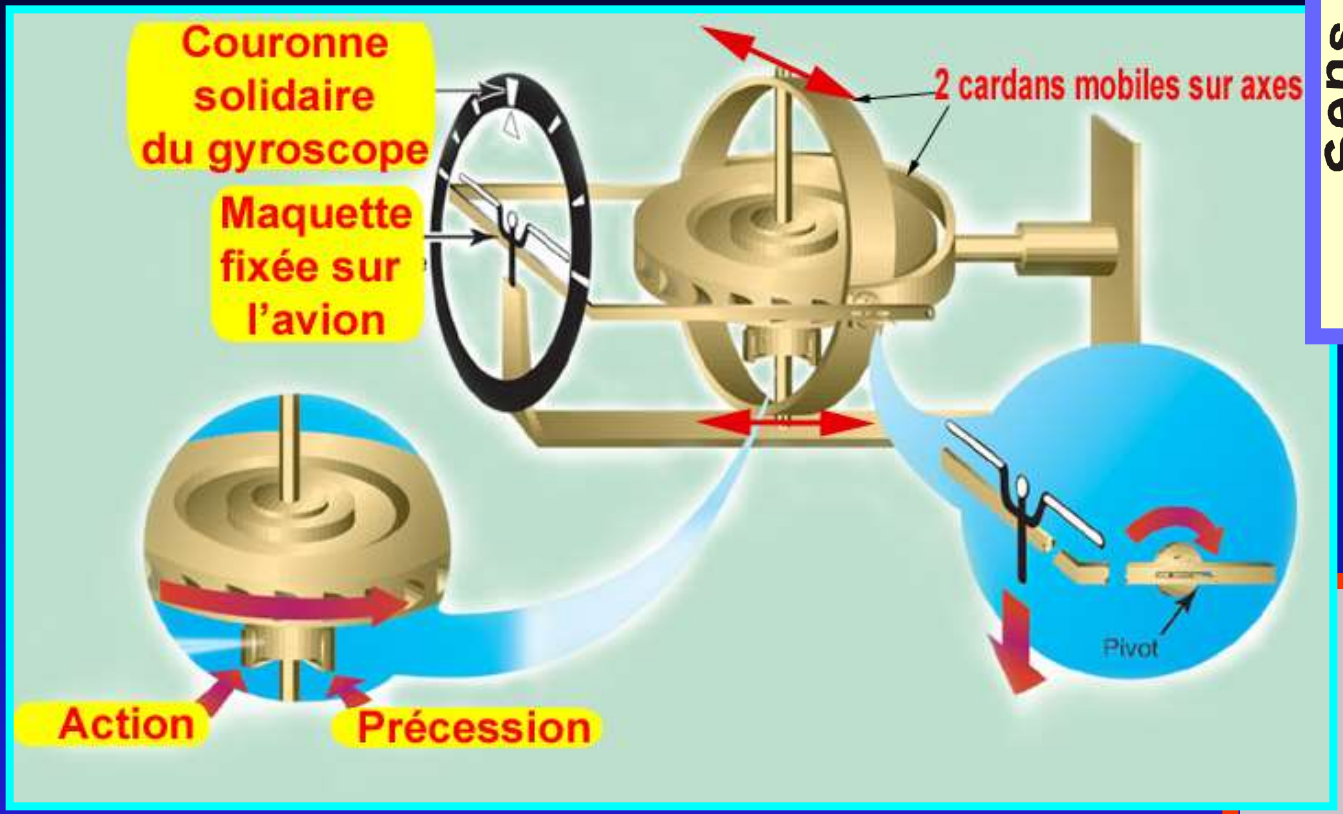


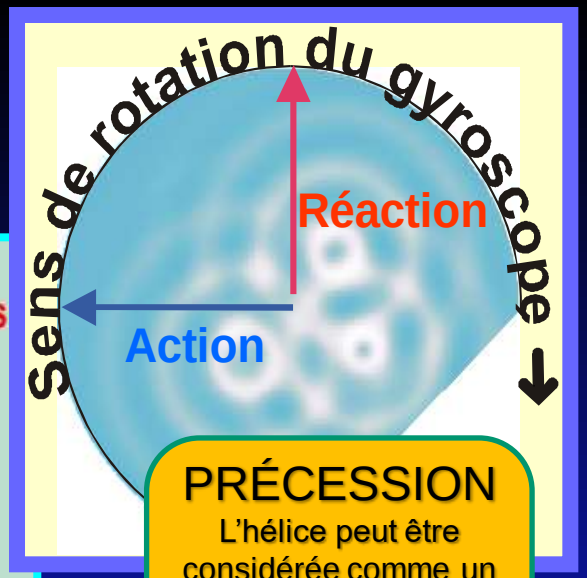
QUALITÉ D'UN GYROSCOPE

Grand moment cinétique, donc

- **vitesse de rotation importante ;**
- **masse élevée répartie le plus loin de l'axe de rotation.**

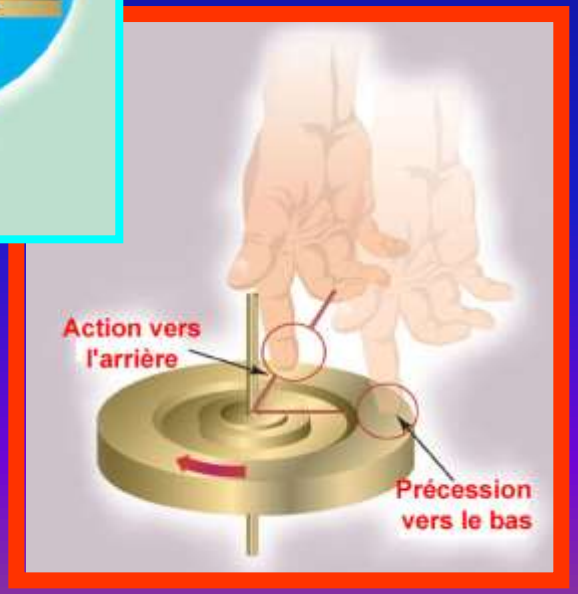
LES GYROSCOPES





PRÉCESSION

L'hélice peut être considérée comme un GYROSCOPE.
Virage par la gauche implique une force de cabrage.



VITESSE DE ROTATION DES GYROSCOPES

- 12 000 tours par minute (flux d'air en dépression)
- 24 000 tours par minute (moteur électrique)

L'HORIZON ARTIFICIEL

MESURES D'INCLINAISON

- 10° droite
- 20° gauche
- 30° gauche

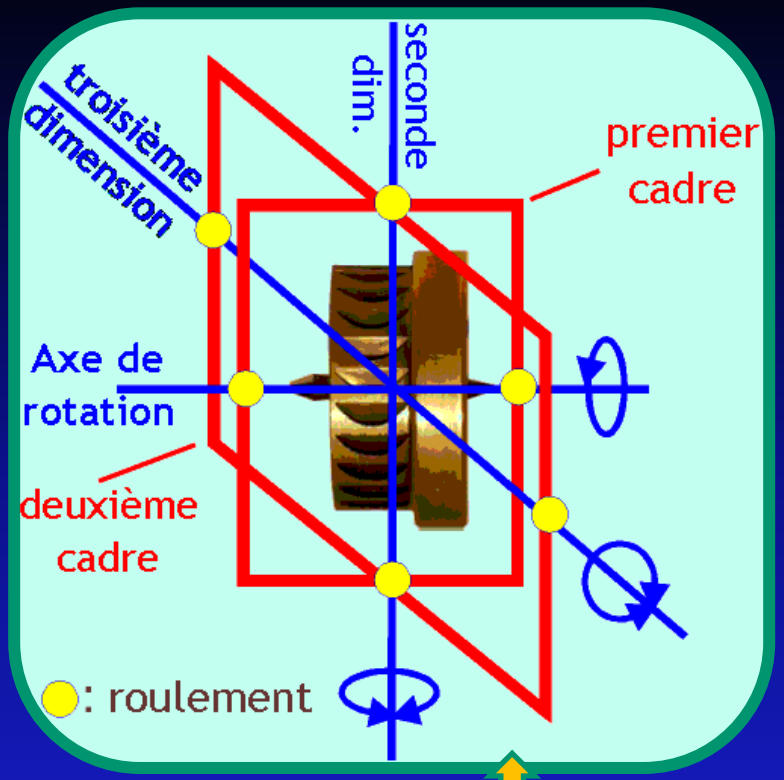
Inclinaison nulle

Indication de l'assiette

- assiette à "cabrer"
- assiette à "piquer"

Réglage maquette

Gyroscope à 2 degrés de liberté



TOUTE MODIFICATION (tangage, roulis ou lacet) implique par précession une interaction sur le gyroscope.

L'HORIZON ARTIFICIEL

BILLE

HORIZON ARTIFICIEL

ALTIMETRE

VARIOMETRE

ANÉMOMÈTRE

NAVIGATION

CONSERVATEUR DE CAP

ECRAN EFIS

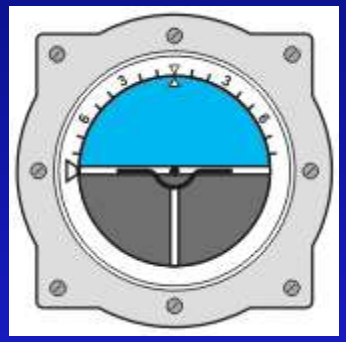
L'HORIZON ARTIFICIEL

Montée Virage Gauche

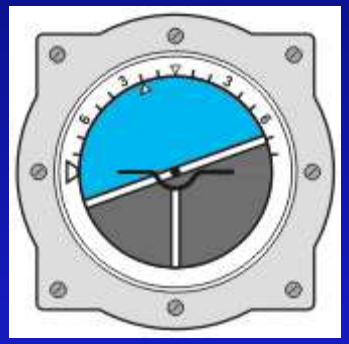
Montée Incli nulle

Montée Virage Droite

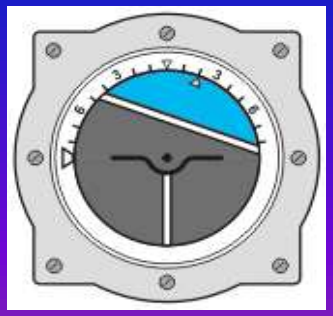
Palier Virage Gauche



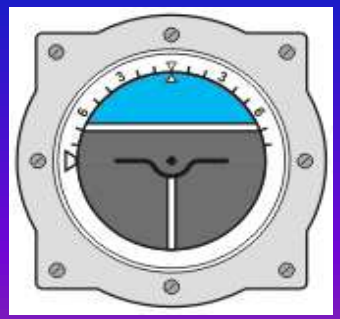
Palier Incli nulle



Palier Virage Droite



Descente Virage Gauche



Descente Incli nulle

Descente Virage Droite

LE CONSERVATEUR DE CAP

INFO DONNÉE PAR LE GYRO DIRECTIONNEL : LA MESURE D'UN ANGLE .

EN DÉBUT DE VOL IL EST NÉCESSAIRE DE RECALER LE CONSERVATEUR DE CAP PAR RÉFÉRENCE AVEC LE COMPAS OU UN AXE CONNU (AXE DE PISTE). UN RECALAGE FRÉQUENT EST NÉCESSAIRE.

POUR FACILITÉ DE LECTURE :
suppression des unités
- Une grande graduation remplace le 0
- Une petite graduation remplace le 5

Donc ➔ 6 lu correspond au cap 060°
➔ 33 lu correspond au cap 330°

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.

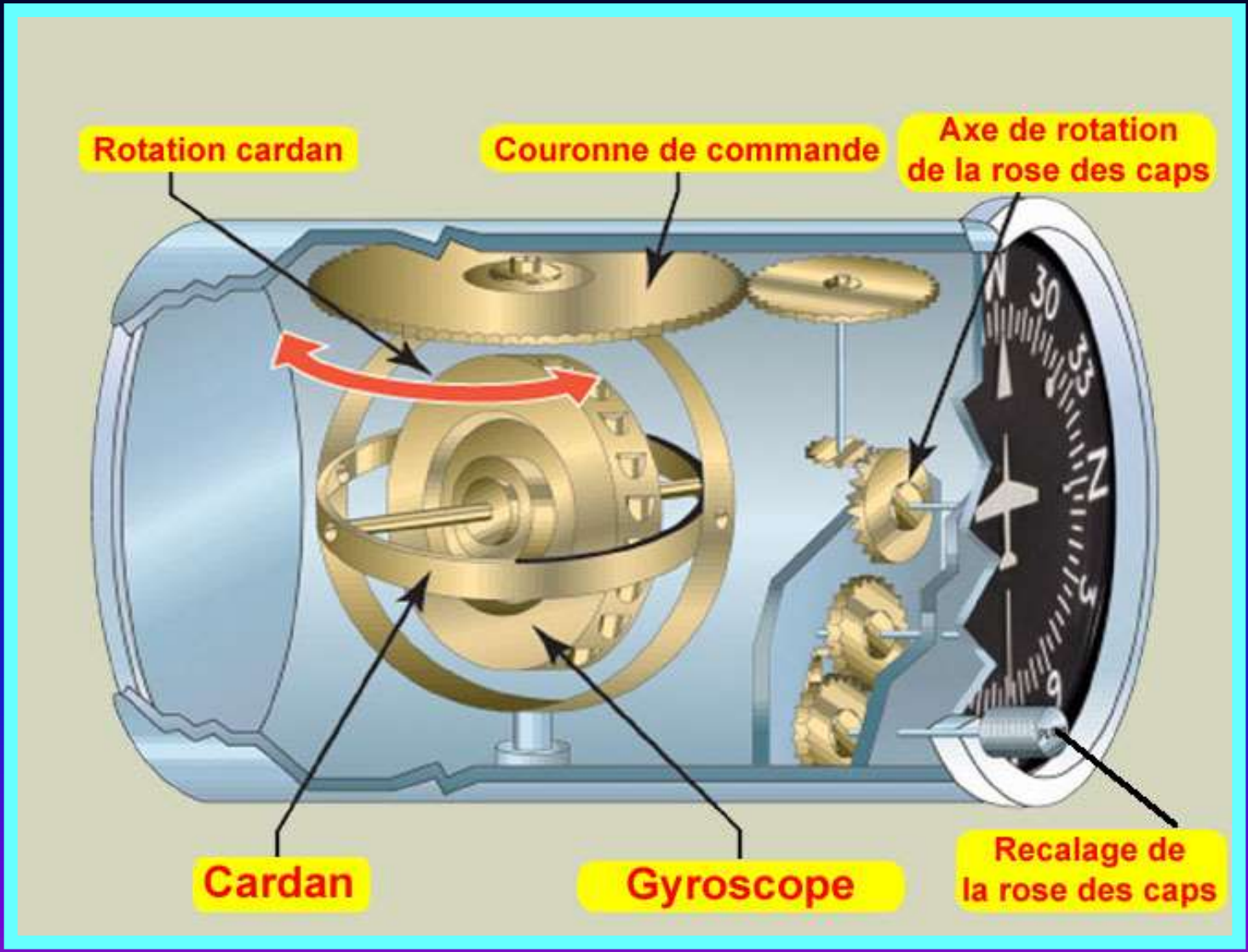
Ces recalages doivent s'effectuer toutes les 10 à 15 minutes de vol ou après une série d'évolutions ce qui permettra d'éliminer également la précession de frottement.

Molette de recalage

Type d'énergie (Air)

Réglage de l'index-mémo de suivi d'un cap

LE CONSERVATEUR DE CAP



LE CONSERVATEUR DE CAP

Le compas

Instable durant les accélérations et en virage

Le contrôle et l'utilisation du compas ne peut être efficace qu'en palier et à inclinaison nulle.

Ces 2 instruments sont complémentaires :
l'un servant au recalage de l'autre encore faut-il l'utiliser dans les conditions énumérées ci-dessus.

LE COORDINATEUR DE VIRAGE ET LA BILLE

Taux standard
360 ° en 2 minutes

Inclinaison =
VITESSE en Kt x 15%

Pas d'information d'intégrité

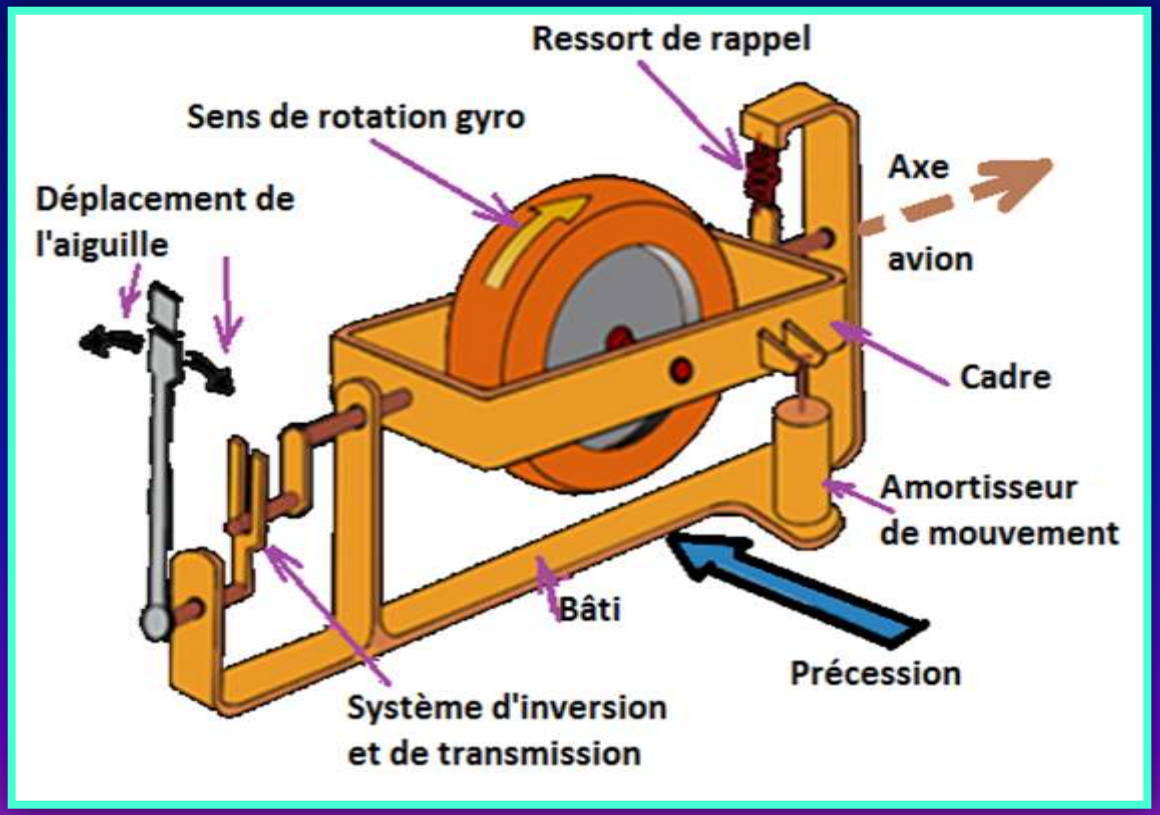
Au taux standard 360° en 2 minutes

MESURE DU TAUX DE VIRAGE

ATTENTION : CET INSTRUMENT NE MESURE NI L'INCLINAISON NI LE CAP.

LE COORDINATEUR DE VIRAGE ET LA BILLE

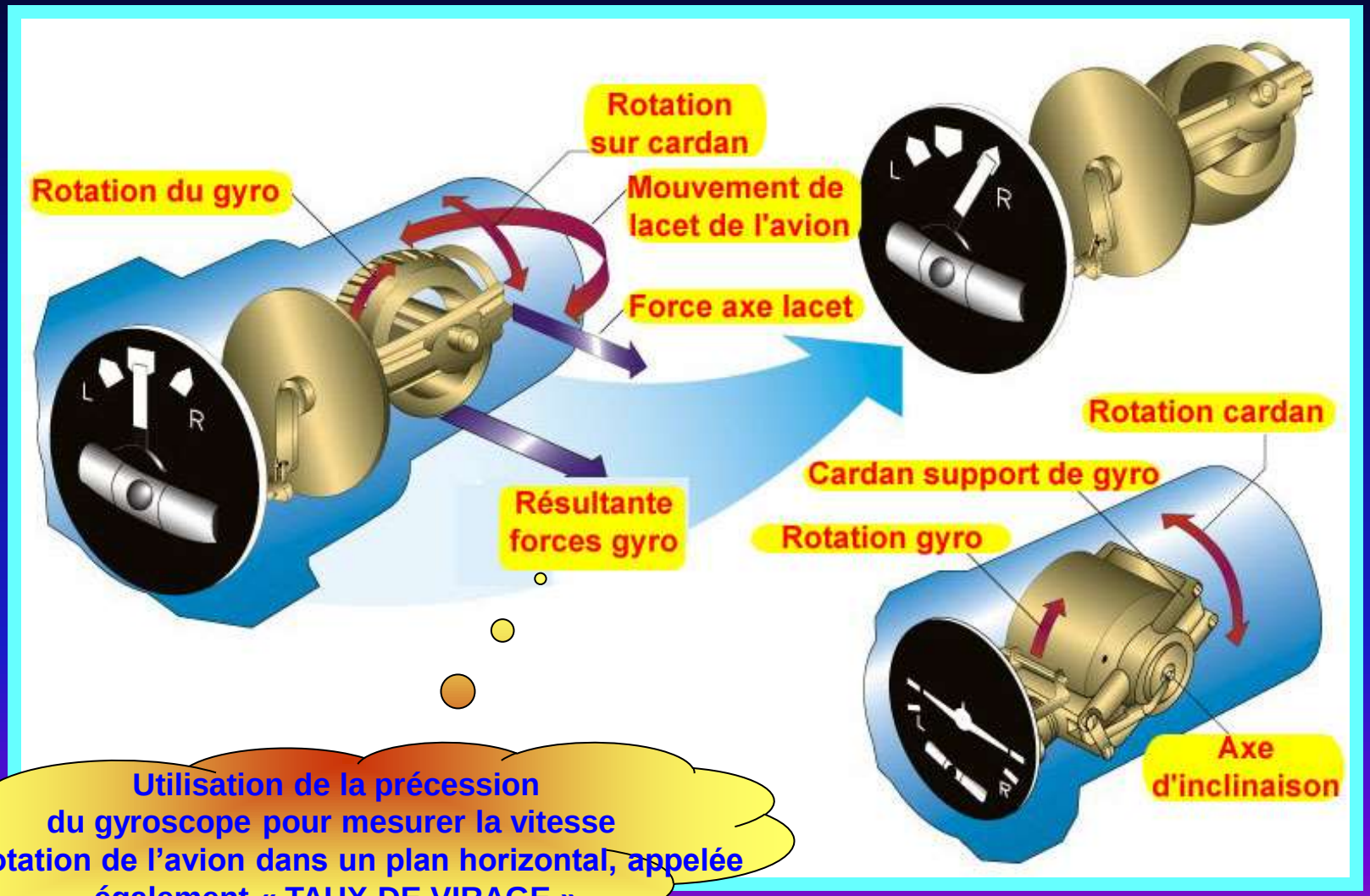
Durant le virage, un couple de forces s'exerce perpendiculairement à l'axe du gyroscope, tendant à faire tourner le gyroscope de la même manière. Du fait de la précession, se crée un basculement à 90° de décalage dans le sens de rotation gyroscopique.



Le système d'inversion transmet ce déplacement à l'indicateur.

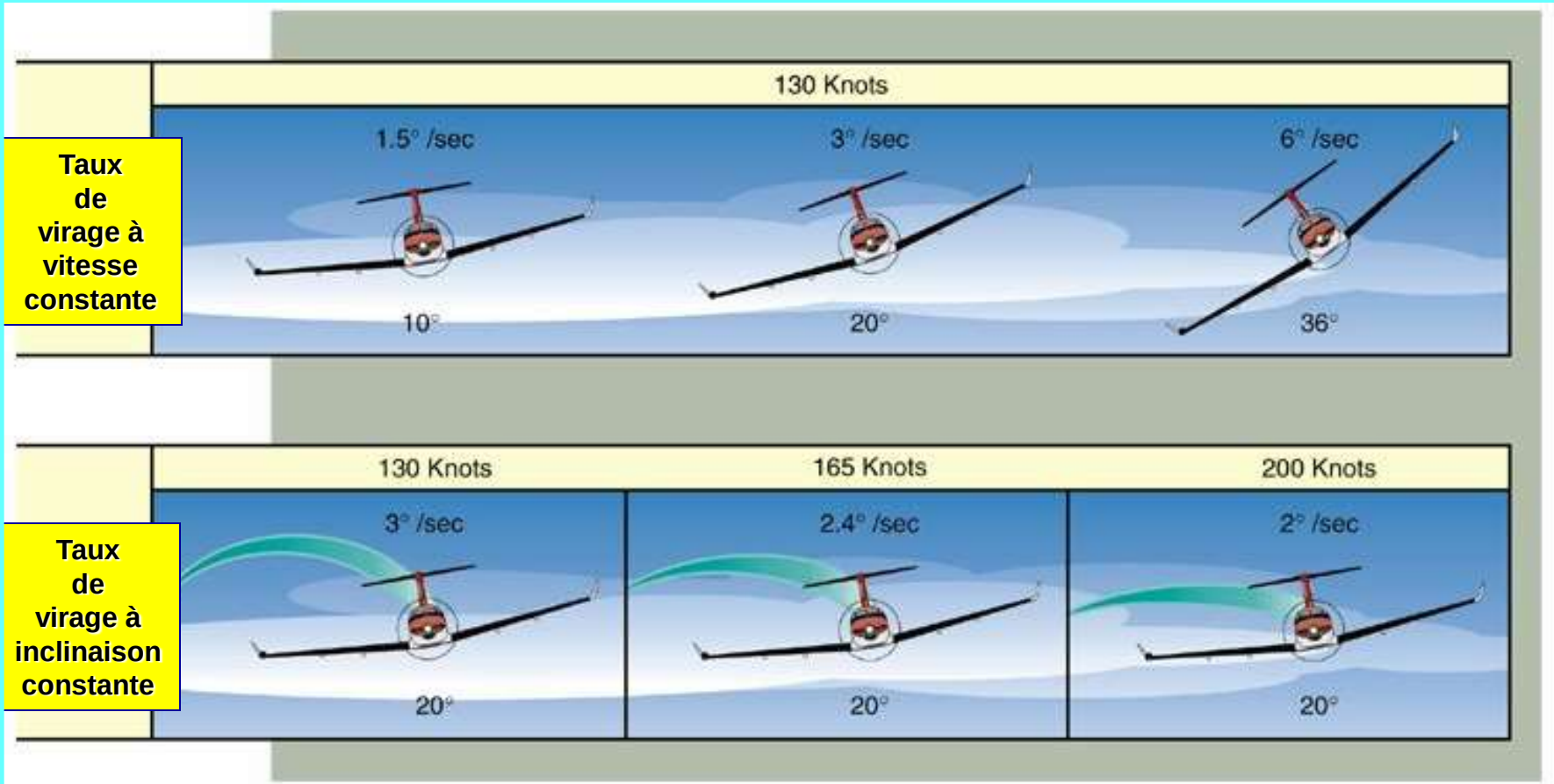
L'aiguille indique le sens du virage et son taux.

LE COORDINATEUR DE VIRAGE ET LA BILLE



Utilisation de la précession
du gyroscope pour mesurer la vitesse
de rotation de l'avion dans un plan horizontal, appelée
également « TAUX DE VIRAGE »

LE COORDINATEUR DE VIRAGE ET LA BILLE

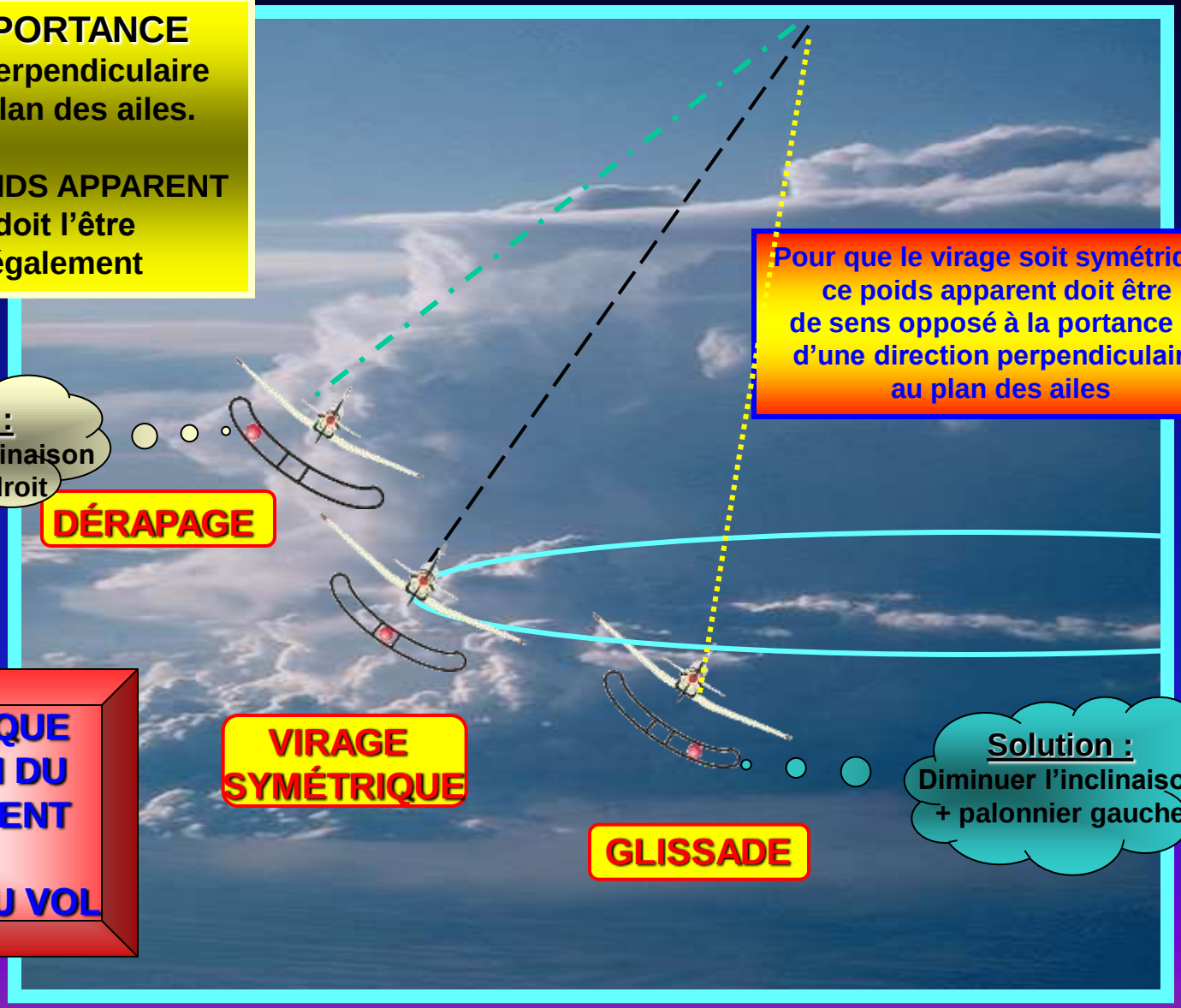


Calcul du virage standard (3° / s) **Inclinaison = V en Kt x 15%**

LA BILLE, TÉMOIN DE LA SYMÉTRIE DE VOL

LA PORTANCE
est perpendiculaire au plan des ailes.

LE POIDS APPARENT doit l'être également



Pour que le virage soit symétrique, ce poids apparent doit être de sens opposé à la portance et d'une direction perpendiculaire au plan des ailes

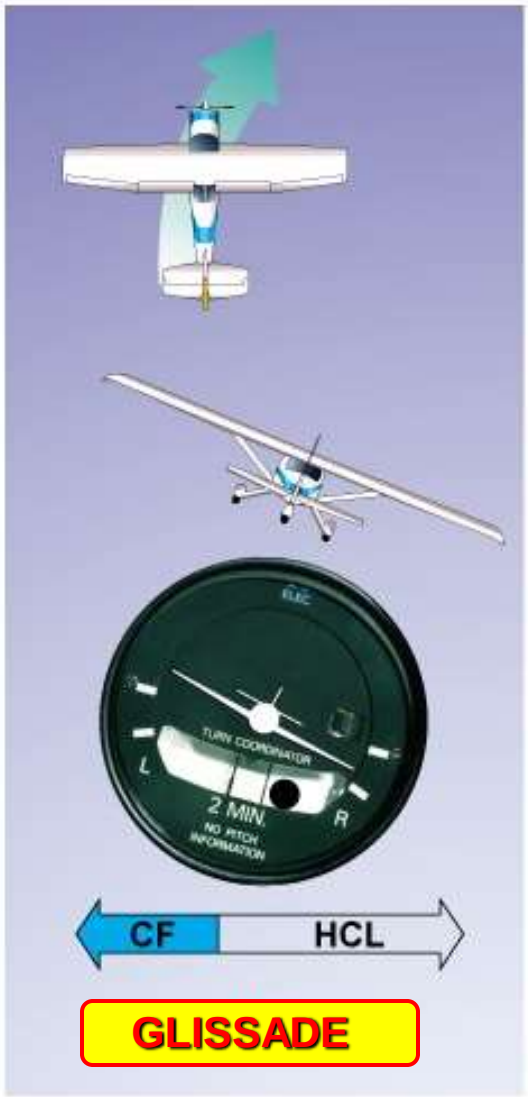
Solution :
Augmenter l'inclinaison
+ palonnier droit

Solution :
Diminuer l'inclinaison
+ palonnier gauche

LA BILLE INDIQUE LA DIRECTION DU POIDS APPARENT donc de L'ÉQUILIBRE DU VOL

Composantes du poids apparent : Pesanteur (mg) et Force centrifuge (mV^2 / R)

LA BILLE, TÉMOIN DE LA SYMÉTRIE DE VOL



CF = Force centrifuge

HCL = Force centripète

LA VÉRIFICATION SÉQUENCIELLE EN PALIER

Anémomètre – Altimètre - Variomètre

LE JUGE DE PAIX DE L'ATTITUDE : L'HORIZON ARTIFICIEL
Autocontrôle séquencé par trois instruments : Vitesse, Altitude, Vario
Si besoin d'une action de correction des paramètres (agir l'un après par l'autre).

LA VÉRIFICATION SÉQUENCIELLE VIRAGE EN MONTÉE

LE JUGE DE PAIX DE L'ATTITUDE : L'HORIZON ARTIFICIEL

<u>Autocontrôle montée :</u> Anémomètre – Altimètre – Variomètre

<u>Autocontrôle virage :</u> Horizon – Conservateur cap – Coordinateur virage

ANDRÉ PARIS