



3. Etude des aéronefs et des engins spatiaux

3.5 L'instrumentation de bord



MODULE 3.

Dans ce module, vous découvrirons les bases de:

L'instrumentation de bord

- Pour régler et contrôler le bon fonctionnement du groupe motopropulseur
- Pour naviguer
- Pour faire voler l'avion

A votre avis quels sont les éléments essentiels pour qu'un moteur fonctionne bien?

Quels sont les paramètres que l'on doit surveiller?

L' Essence

Il faut le bon **carburant**

100ll, 95, 98, 91UL

Comment sait on que c'est la bonne essence?

On Vérifie la couleur

On Vérifie la **Qualité**

Comment sait on que c'est la bonne qualité?

On vérifie qu'il ni a pas **d'eau ni de sable...**

Comment faire pour s'assurer que l'on a de **l'essence dans le reservoir?**

Mesurer le niveau d'essence dans les réservoirs

Calculer et on mesure la **consommation** d'essence pour voir si on en a **assez pour le vol.**

Présence **Alarme** de niveau bas.



Les jauges à Essence

Les jauges à lecture directe :

- Les jauges à lecture directe comportent un **flotteur** solidaire d'un index.
- L'index est visible de l'extérieur
- Utilisable que sur les **avions légers** où le réservoir se trouve à proximité du poste de pilotage.



Les jauges à lecture indirecte :

Les jauges à lecture indirecte sont utilisées lorsque les réservoirs se trouvent **loin du moteur et du pilote**.

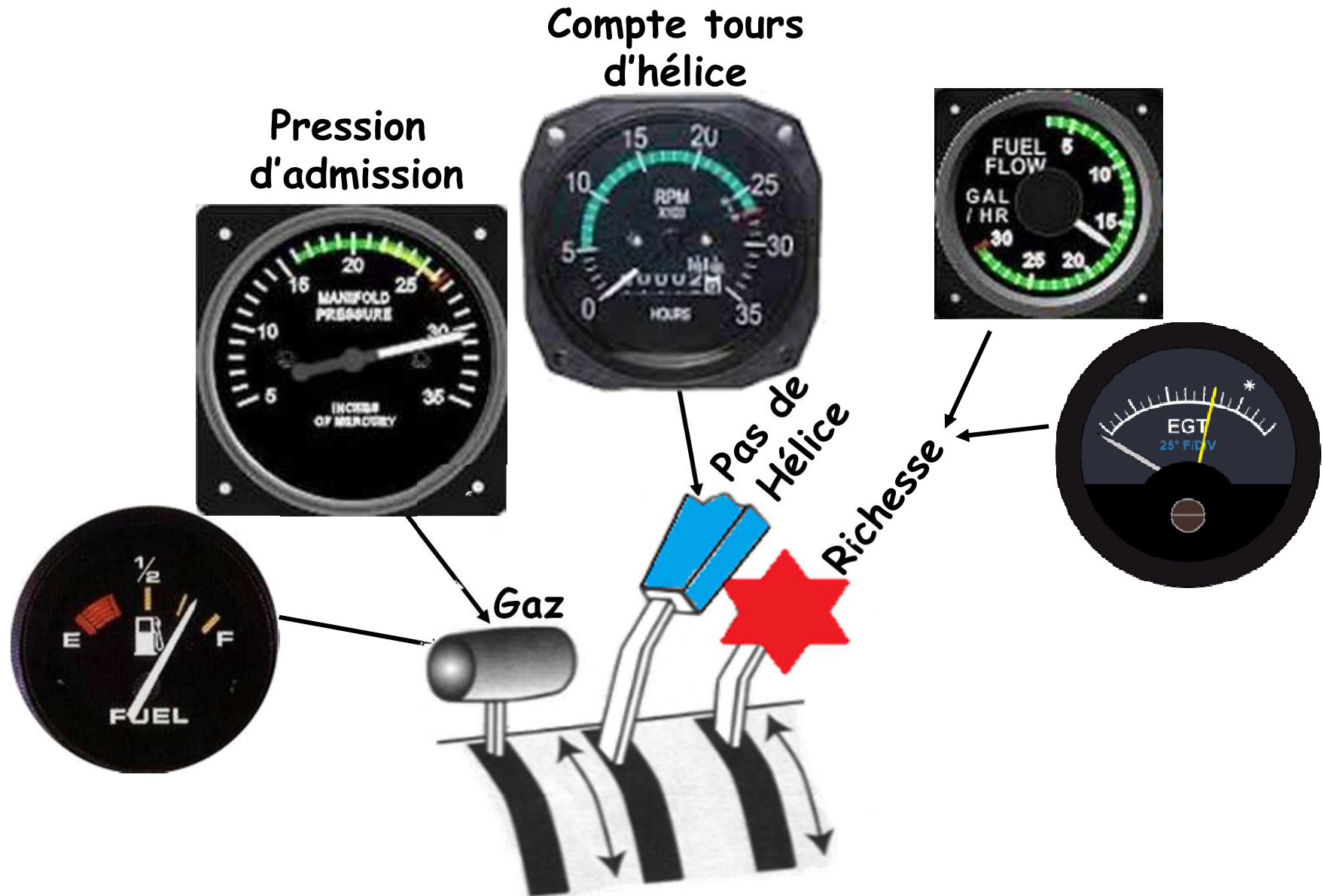
- a) Les jaugeurs à flotteur
- b) Les jaugeurs à capacité



Les jaugeurs électriques sont à interpréter avec précaution car ils sont **rarement précis et tombent aussi en panne**.

Il vaut mieux **regarder dans le réservoir** le niveau approximatif de l'essence quand cela est possible.

Surveillance et Réglage moteur



La température du moteur

Le moteur à explosion d'un avion peut être refroidi par **air** ou par **eau**.

Si le moteur est refroidi par eau:
il y a un **radiateur** d'eau
On vérifie la température de
l'eau ou du liquide de refroidissement



Moteur refroidi par eau ou par air:
On mesure aussi la température de la
tête de cylindre (CHT)
Pour vérifier que le moteur est bien réglé
on mesure la **température des gazes
d'échappement** (EGT).



L'huile

Il faut la bonne **huile** en fonction **de la température**

Comment sait on que c'est la bonne huile?

On Vérifie sur le **carnet d'entretien** ou le **bidon**

On Vérifie la **Qualité**

Comment sait on que c'est la bonne qualité?

On vérifie la couleur de l'huile.

Jaune = OK

Noir Brun = Usé

Comment faire pour s'assurer que l'on a de **l'huile dans le moteur?**

Mesure le niveau d'essence dans le moteur

Alarme de niveau bas.

Alarme de **pression basse**



Entrainement de l'hélice et poussée de réacteur

Pour vérifier que l'hélice tourne bien au bon régime on utilise **le compte tour**.



Pour vérifier la bonne poussée du réacteur on mesure:

La vitesse de rotation N1 (compresseur turbine BP)

L' E.P.R. (engine pressure ratio)

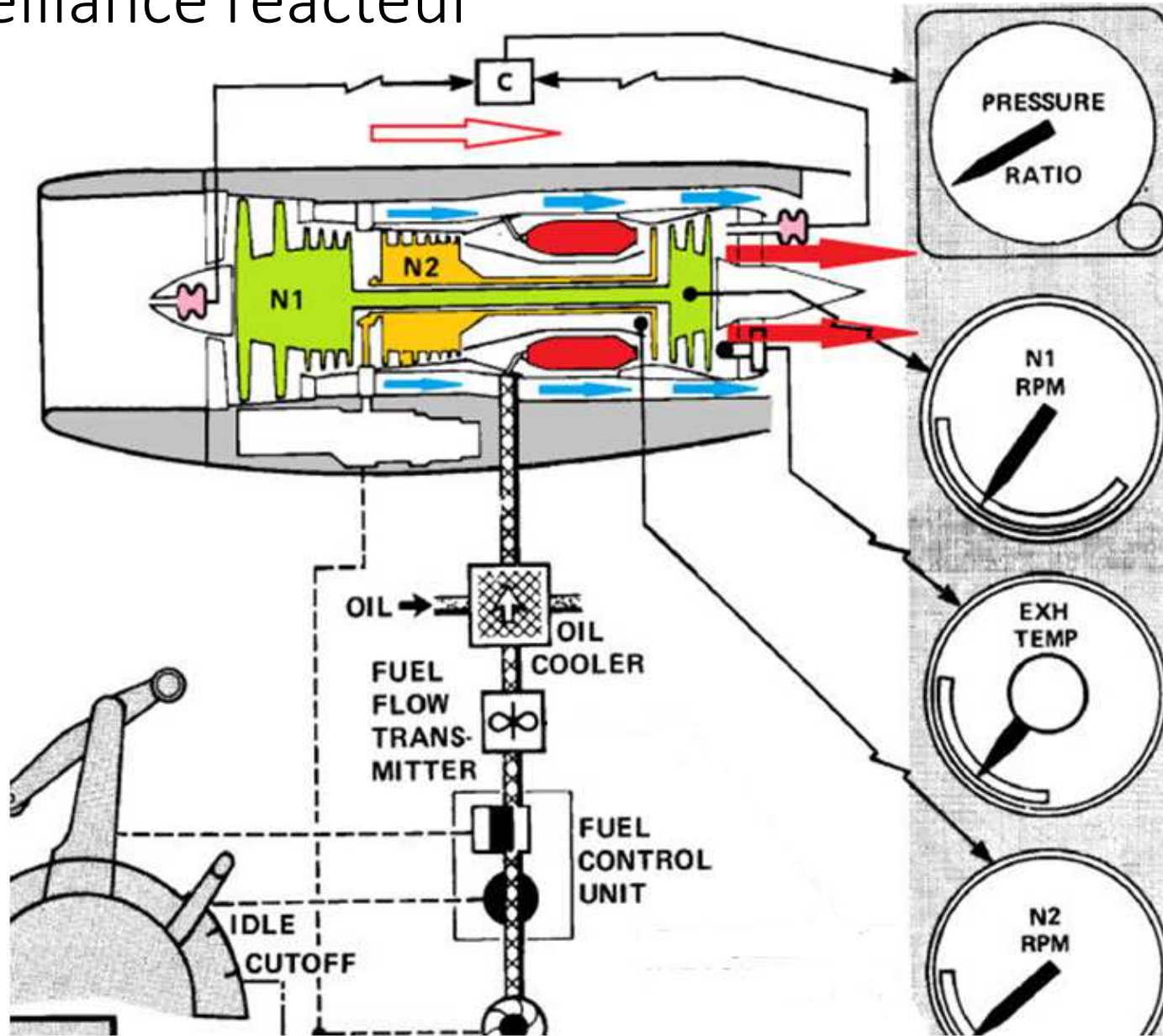
Avantages :

- L'EPR est **proportionnel à la poussée**
- l'affichage représente la puissance disponible des gaz.

Fluctue lors de turbulence



Surveillance réacteur



A votre avis pour que le pilote puisse faire voler l'avion et aller où il doit aller, quels sont les instruments de bord qu'il/elle va utiliser?

Si le pilote voit le sol il peut utiliser:

Ses yeux

Une carte

Une boussole/Compas

Une montre

Un altimètre

Un variomètre

Un anémomètre



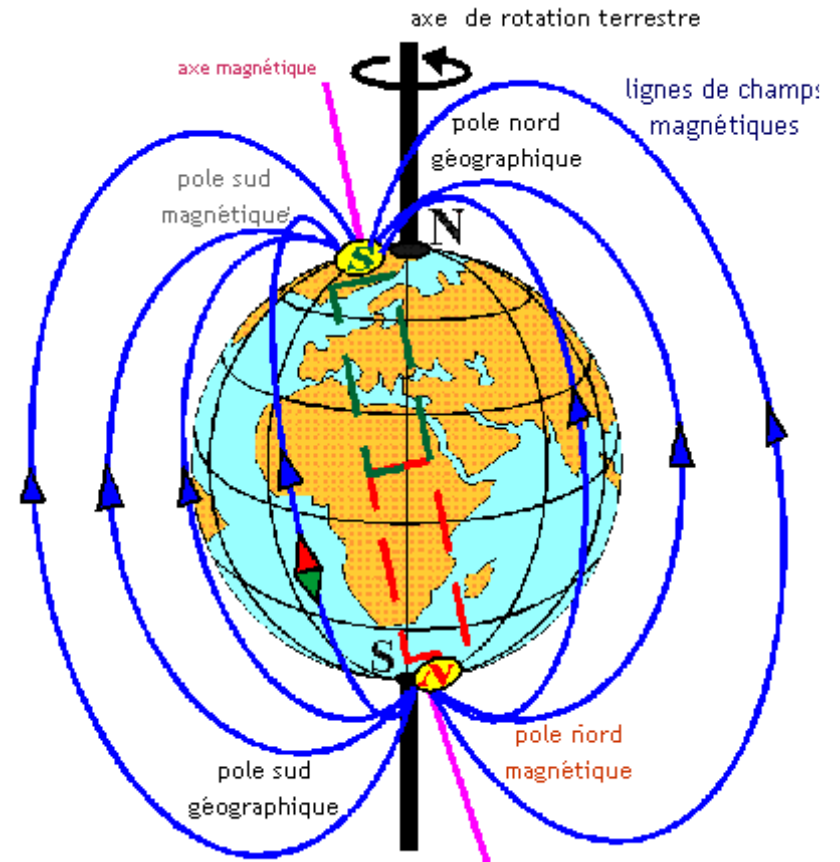
Est-ce que le pilote voit toujours le sol?

Quand on ne voit pas le sol on utilise des instruments supplémentaires.

Le compas

Principe de fonctionnement

- Le compas magnétique est une boussole.
- Il indique le **nord magnétique**.
- Les cartes faisant référence au **nord géographique**, il faut tenir compte de la déclinaison (angle entre le nord vrai et le nord magnétique).



déclinaison magnétique à Grenoble est de 1°E (2016).

Le compas

L'instrument se présente comme une boussole boule ou plate.

C'est l'instrument qui nous donne le cap magnétique.

Le compas magnétique est très sensible aux perturbations de l'environnement radioélectrique d'un cockpit. Il faut en partie les compenser.

Déviatiion: Voir tableau sous le compas.

Il est perturbé lors des **virages, montée et descente** de l'avion.

Il faudra donc l'utiliser que lors d'un vol en palier et rectiligne.



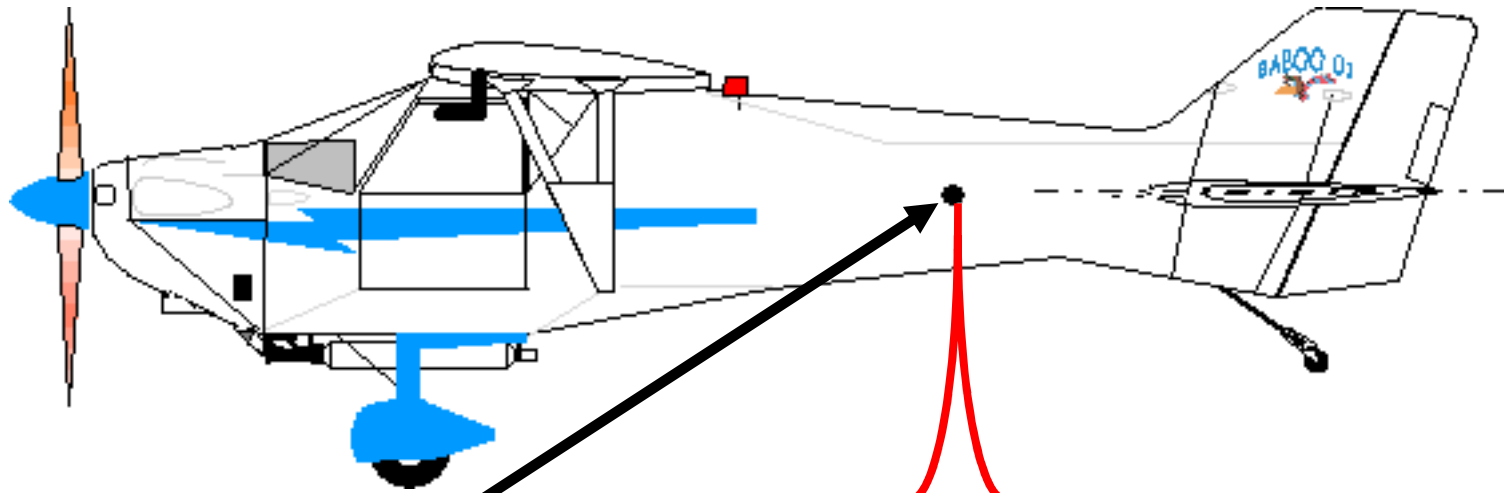
Observations remarquables

- La pression est une expression qui caractérise une force par unité de surface. La pression est exprimée en pascal. Un pascal est égal à un newton par m^2 . On peut obtenir une augmentation de pression par:
 - une action mécanique. Exemple pompe à vélo..
 - une action dynamique. Exemple mise en mouvement d'un avion.
- On va utiliser trois dénominations:
 - la **pression statique**: celle de l'air immobile P_s .
 - la **pression dynamique**: celle de l'air en mouvement
 - $P_d = 1/2 \times r \times V^2$. r est la masse volumique de l'air (1,225 kg/m^3).
 - la **pression totale** $P_t = P_s + P_d$
- L'avion étant en mouvement
 - l'air dans lequel il se déplace est à une **pression statique** P_s
 - l'air qui le frappe est à la **pression totale** P_t
 - la **pression dynamique** est la différence des deux:
 - $P_d = P_t - P_s$

Les instruments barométriques

L'altimètre

Le Variomètre

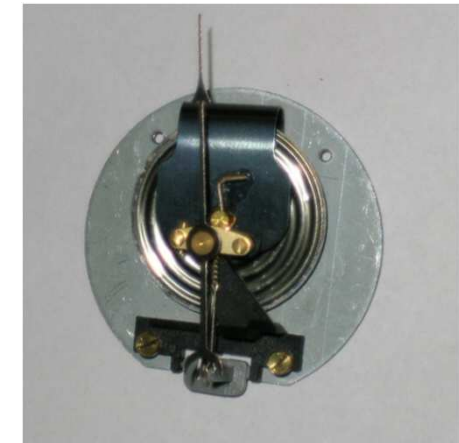
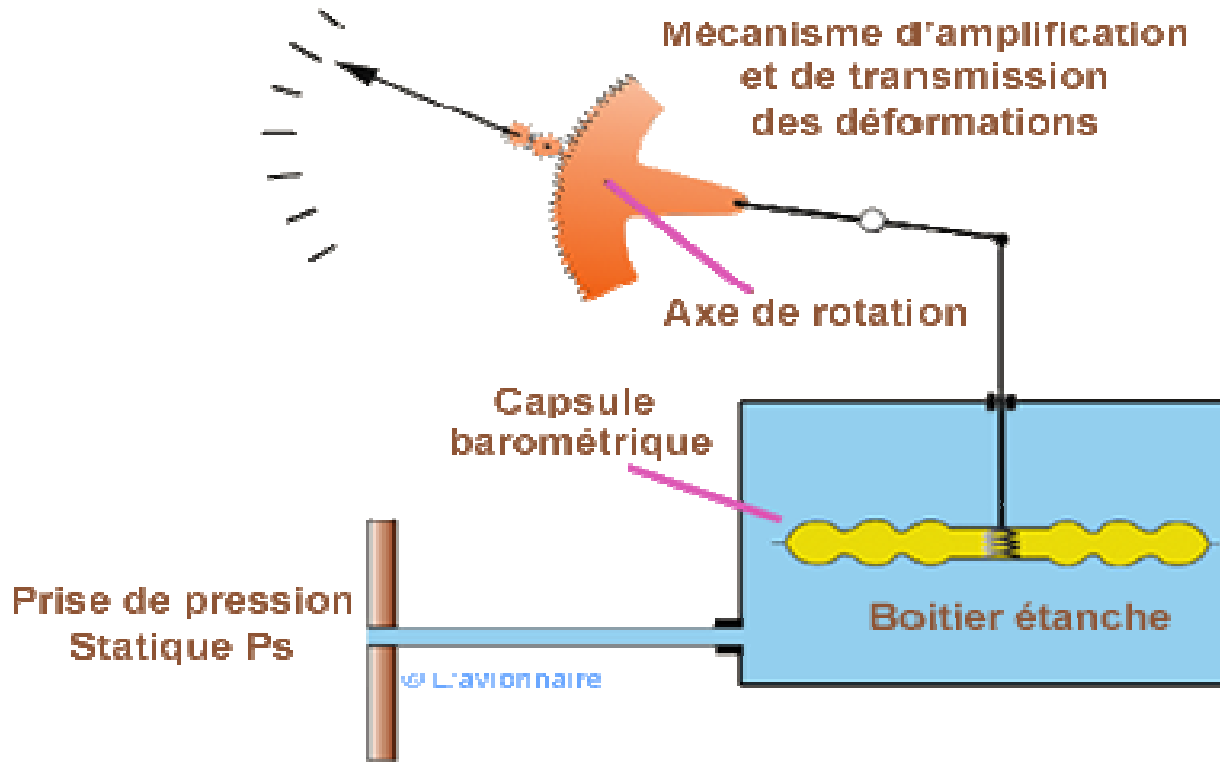


Prise de pression statique



I L'altimètre

I-1 Principe de fonctionnement



L'altimètre est un baromètre (mesure de pression statique) gradué en pieds.

Il se base sur l'atmosphère standard:

$T=15^{\circ}\text{C}$ et $P=101325\text{Pa}$ à 0m (niveau de la mer)

L'altimètre

Suivant sa calibration, il sert à mesurer la hauteur, l'altitude ou le niveau de vol d'un avion.

Pour mesurer l'altitude d'un avion on utilise des mesures de la pression de l'air.

Pour un même point la lecture va varier de jour en jour.

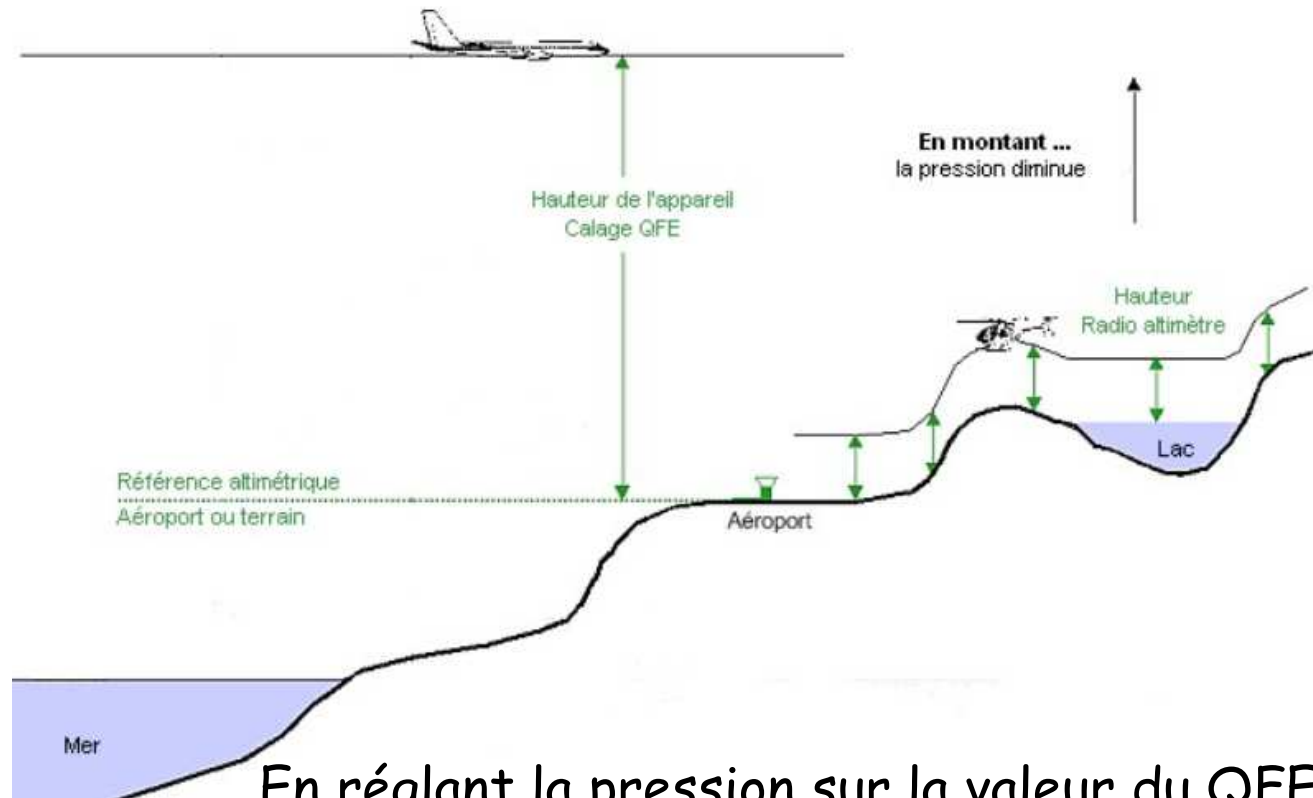
Pour s'adapter aux conditions du jour il faut régler le calage de l'altimètre.

La pression statique diminue d'environ 1 hPa tous les 28 pieds (8,5m) en dessous de 2000m d'altitude.

Pour l'altimètre on utilise la pression statique = celle de l'air immobile (Ps).

Calages altimétriques suivant usage

Le QFE = afficher **0ft** sur l'altimètre en **seuil de piste**.
Utilisé pour les **vols locaux**
L'altimètre indique **la hauteur** de l'avion au dessus de la piste



En réglant la pression sur la valeur du QFE d'un aéroport, l'altimètre au sol (sur l'aéroport) affiche 0 ft (zéro).

Calages altimétriques suivant usage

Le QNH = afficher la pression au niveau de la mer dans la fenêtre de l'instrument.

L'altimètre indiquerait **0ft au niveau de la mer**.

L'altimètre indique des **altitudes** (par rapport au niveau de la mer).

Ce calage s'utilise lors des **navigations à « basse » altitude**.

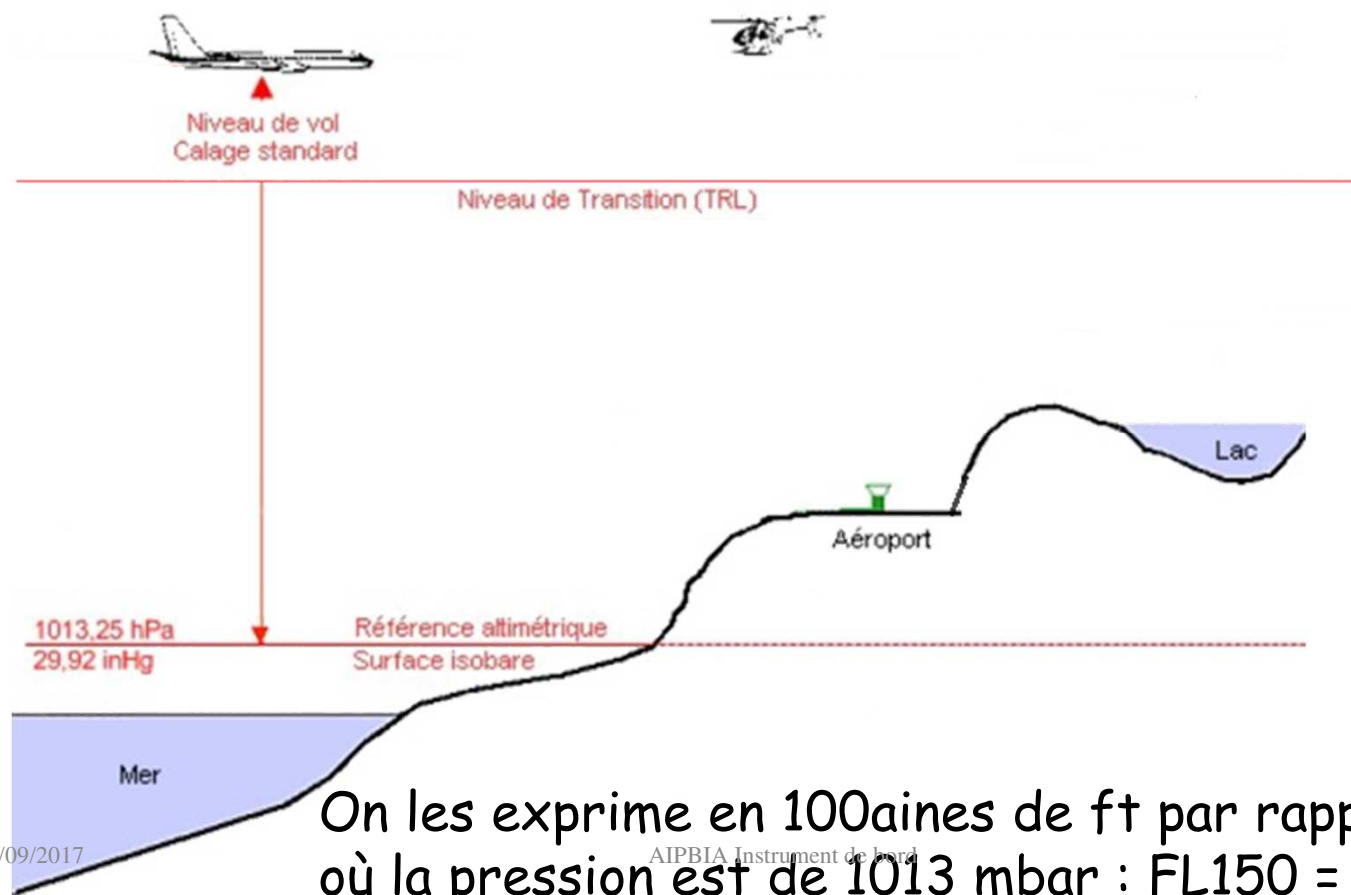


Au sol sur un aéroport, l'ALTITUDE de l'appareil est identique à l'ELEVATION de l'aéroport.

Calages altimétriques suivant usage

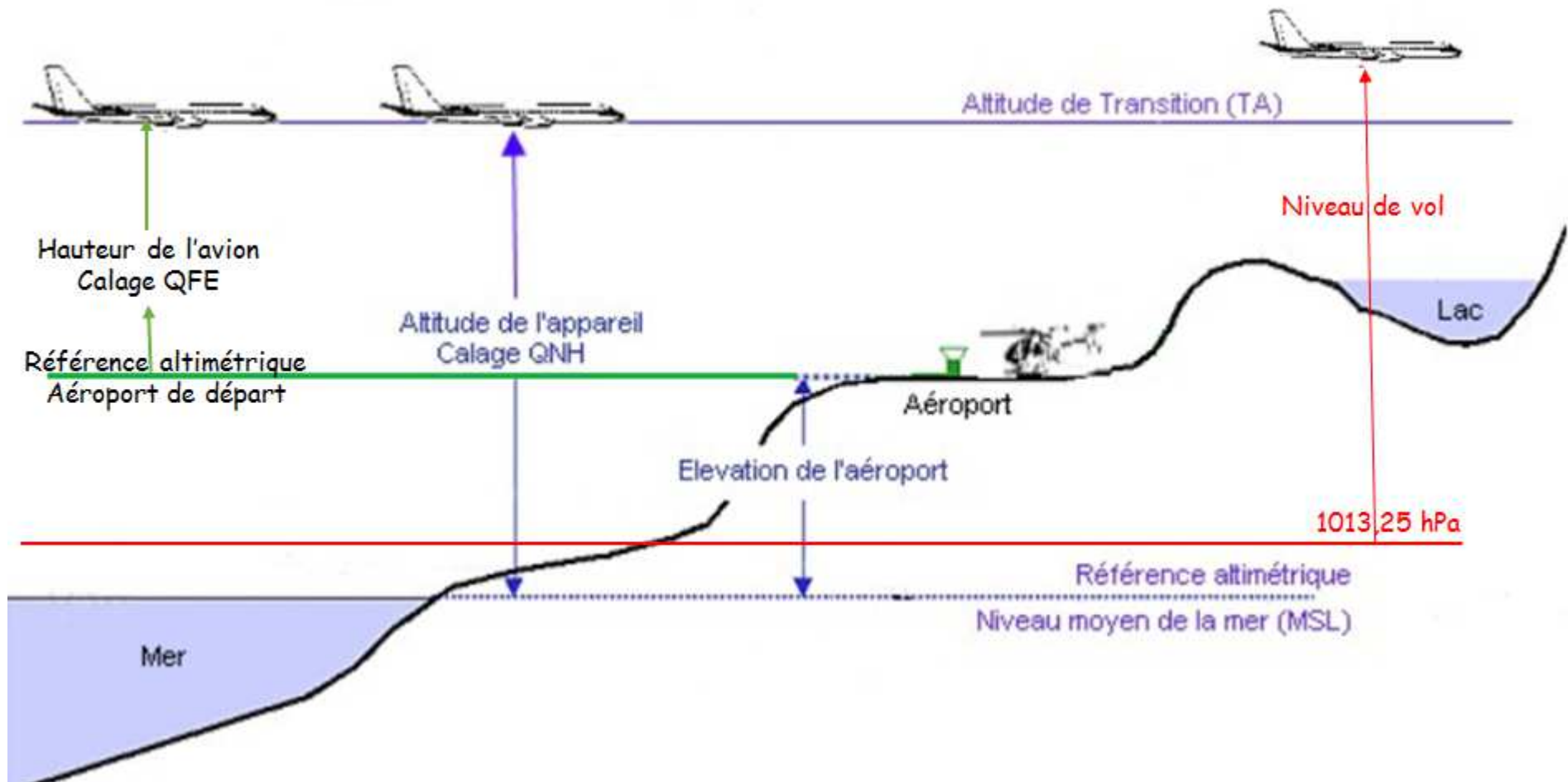
Le 1013 = afficher 1013mbar (=hPa) dans le fenêtre de l'altimètre.

S'utilise quand on fait des vols au dessus du niveau de transition

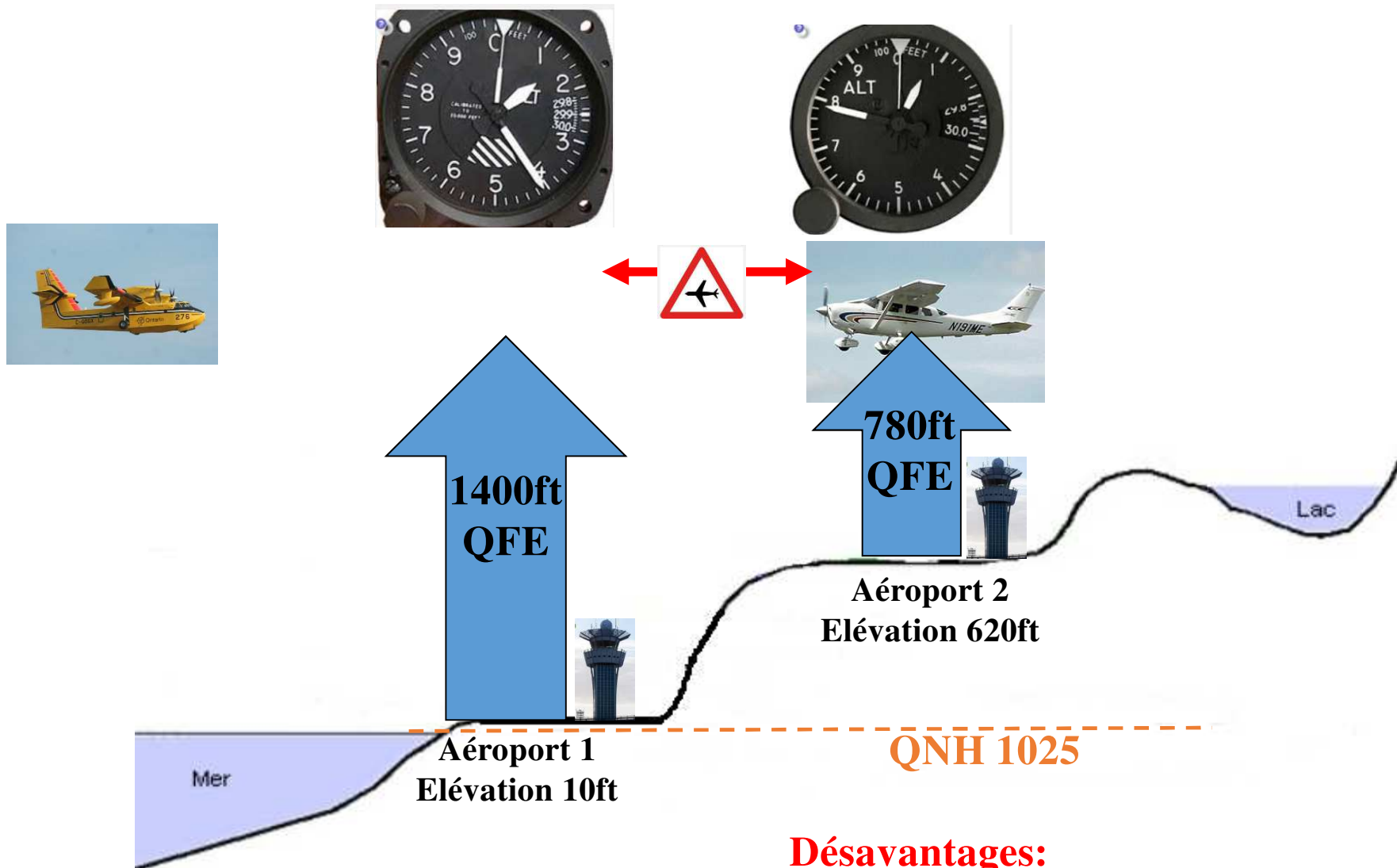


On les exprime en 100aines de ft par rapport à l'altitude où la pression est de 1013 mbar : FL150 = 15 000ft

Résumé Calages altimétriques suivant usage



Sécurité Altimétrique: Calage QFE



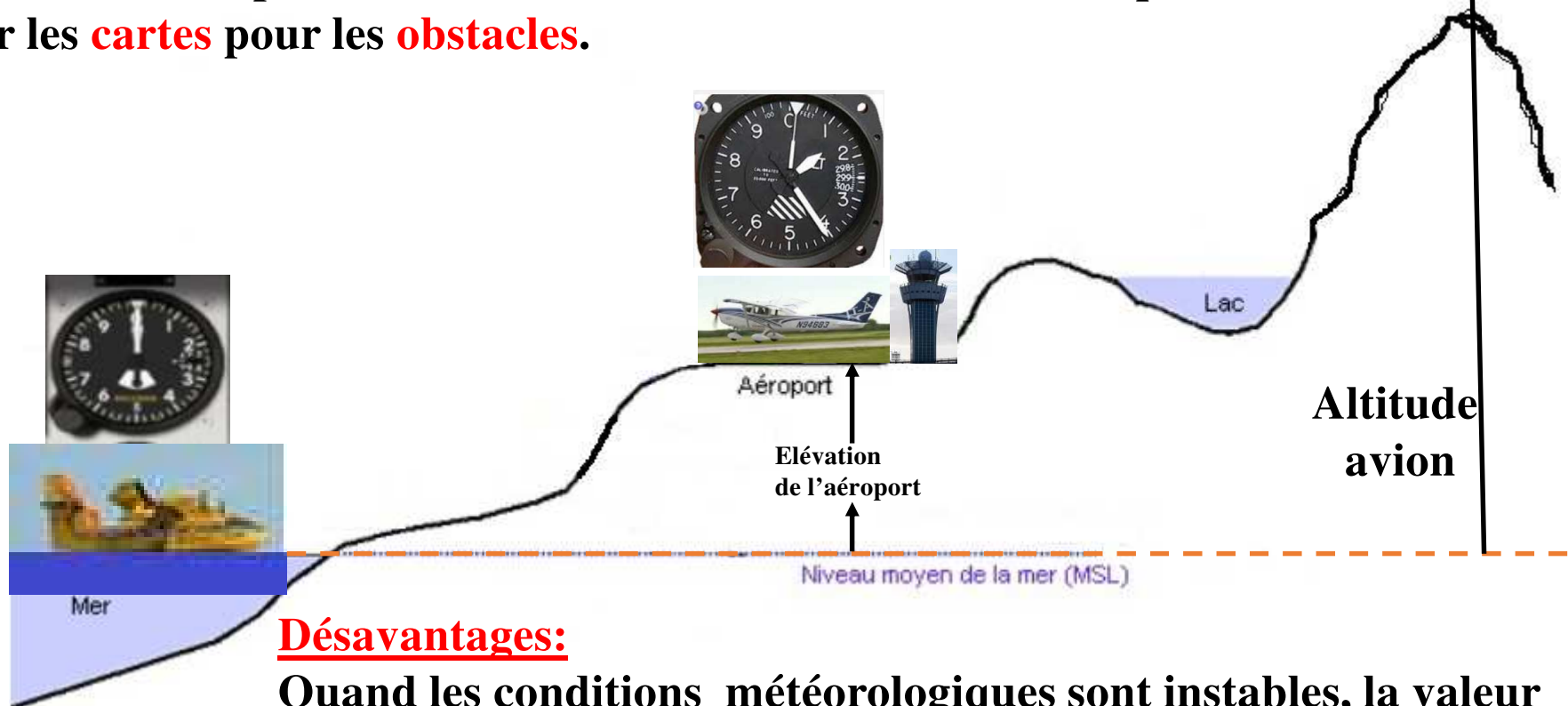
Désavantages:

Pas adéquate pour assurer la séparation des avions ne partant pas du même aéroport/aérodrome. .

Sécurité Altimétrique: Calage QNH

Avantage: Si tous les avions se callent sur le QNH local, cela assure une bonne séparation entre avions.

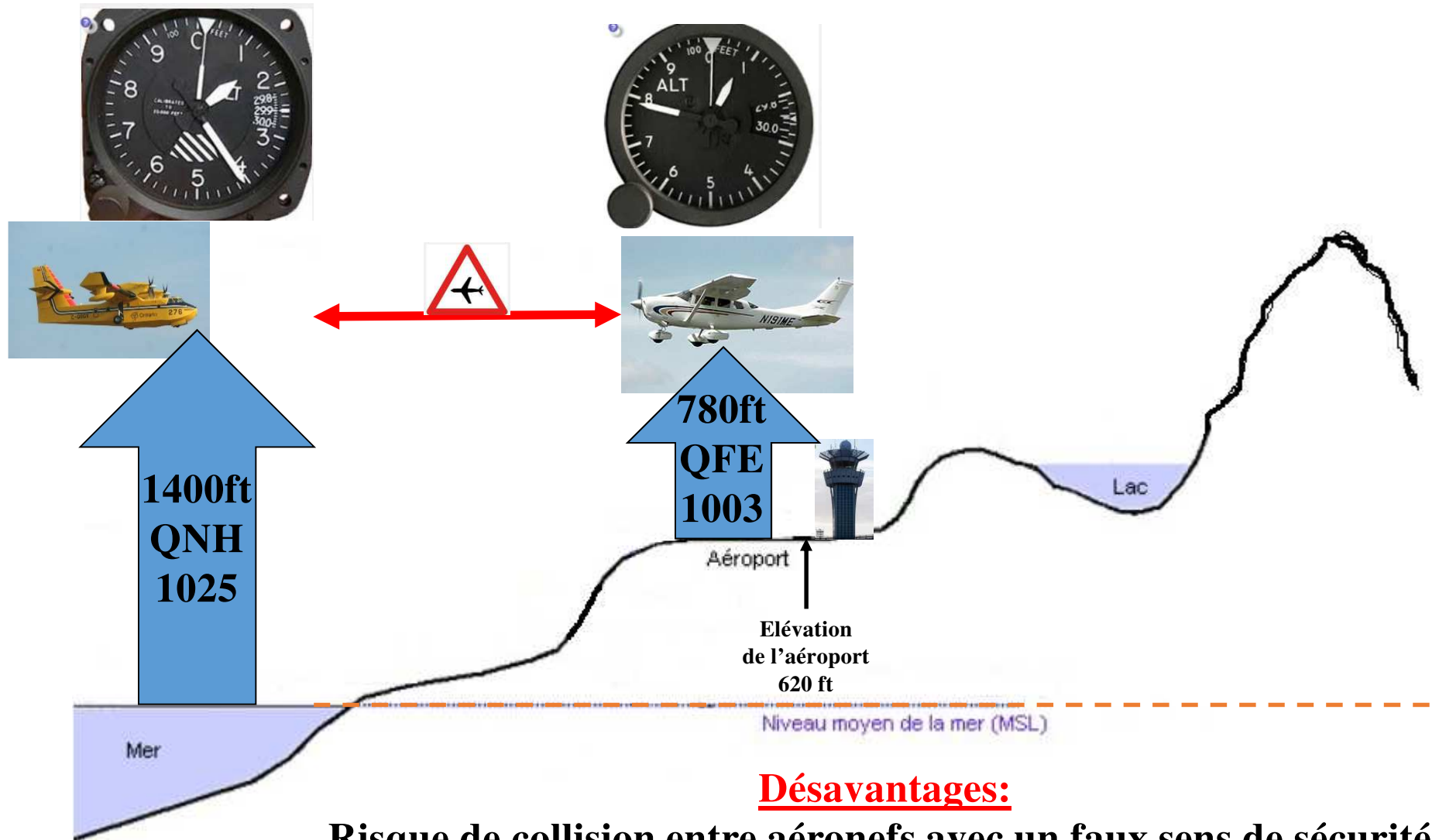
Permet de comparer l'altitude de vol de l'avion à celle indiquée sur les **cartes** pour les **obstacles**.



Désavantages:

Quand les conditions météorologiques sont instables, la valeur du QNH entre les différents aéroports varie ce qui oblige à changer fréquemment le calage altimétrique.

Sécurité Altimétrique: Mélange Calage QNH et QFE

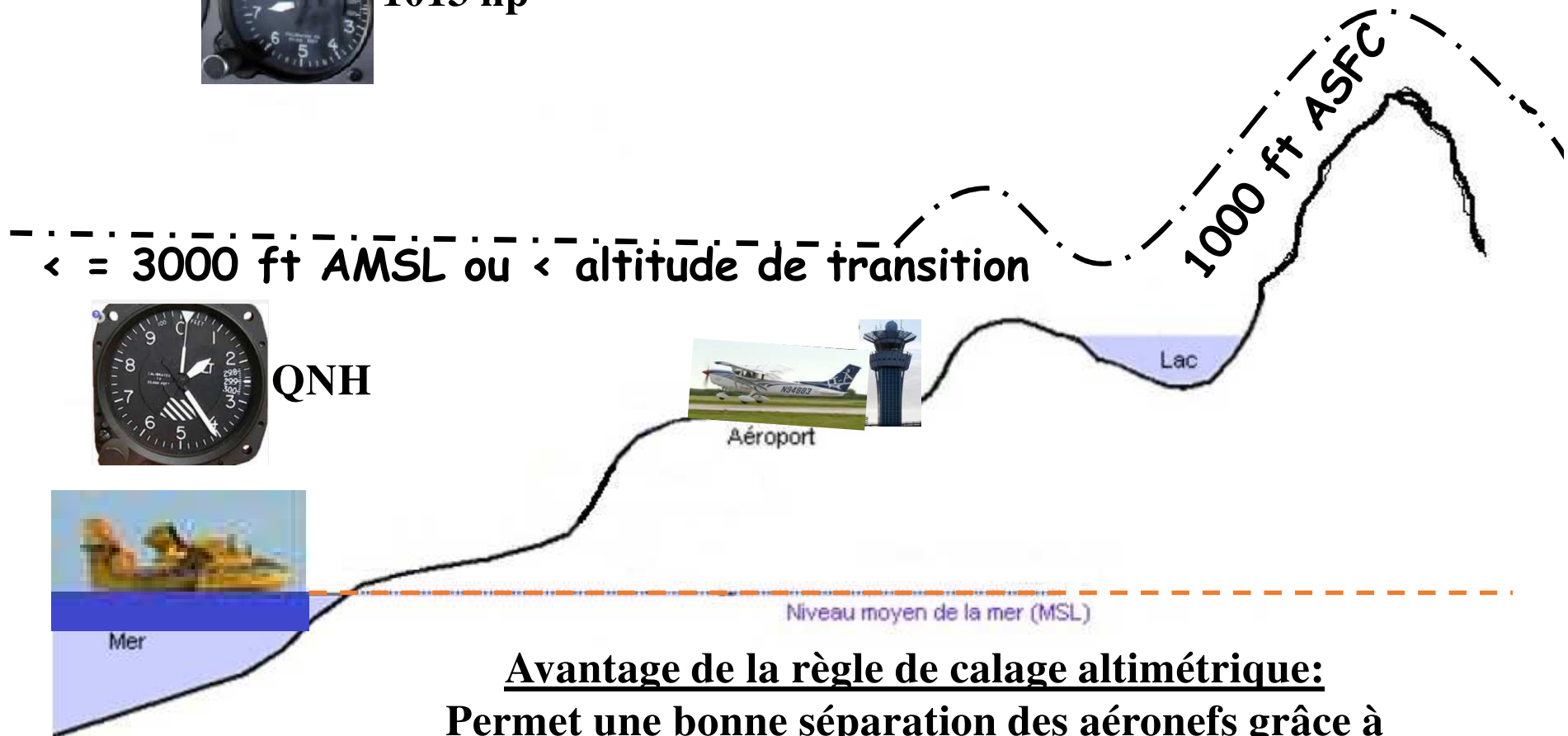


Règle de calage altimétrique

> 3000 ft AMSL ou > altitude de transition



1013 hp

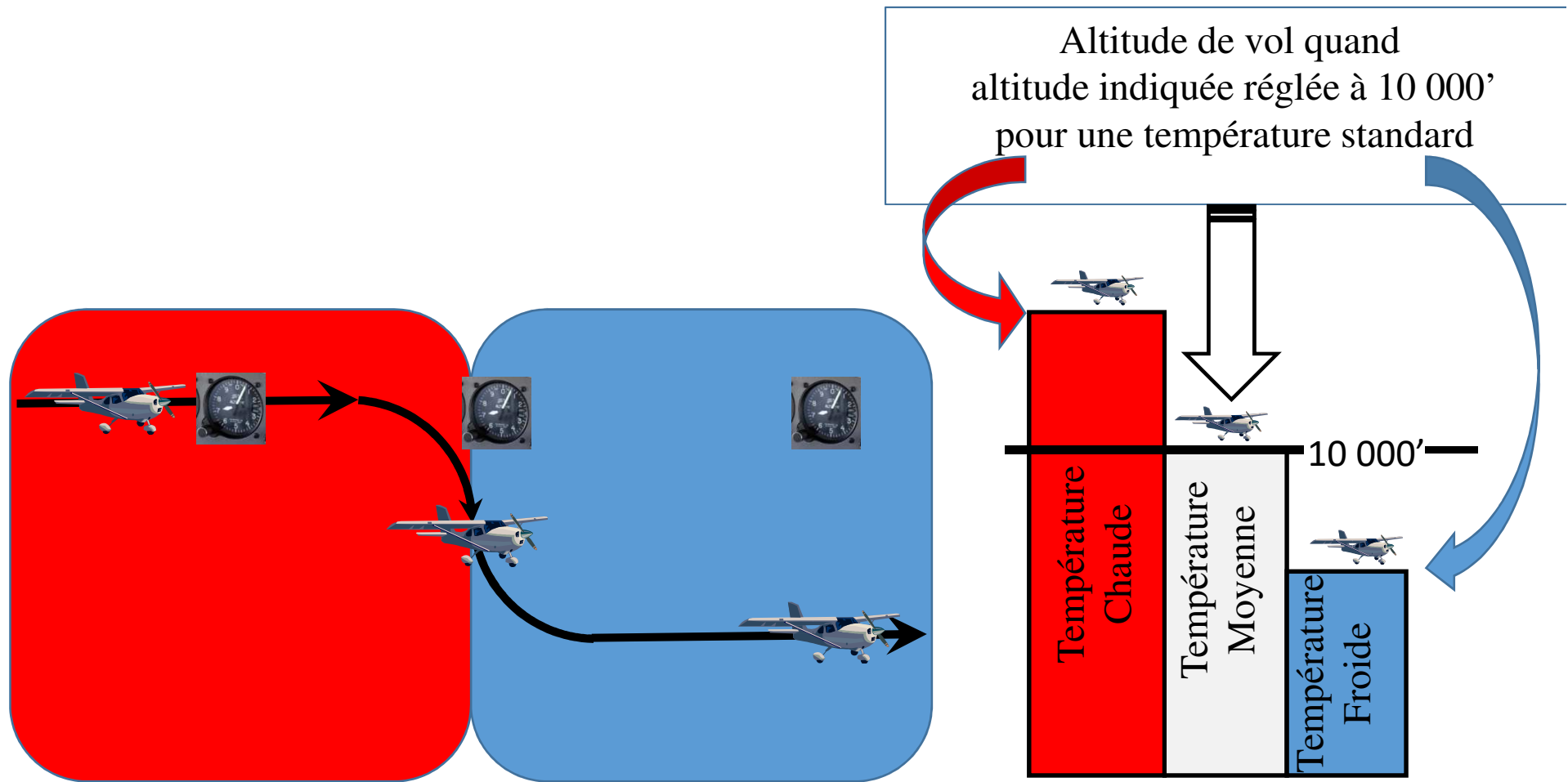


QNH

Avantage de la règle de calage altimétrique:

Permet une bonne séparation des aéronefs grâce à l'harmonisation des calages dans deux couches bien définies.

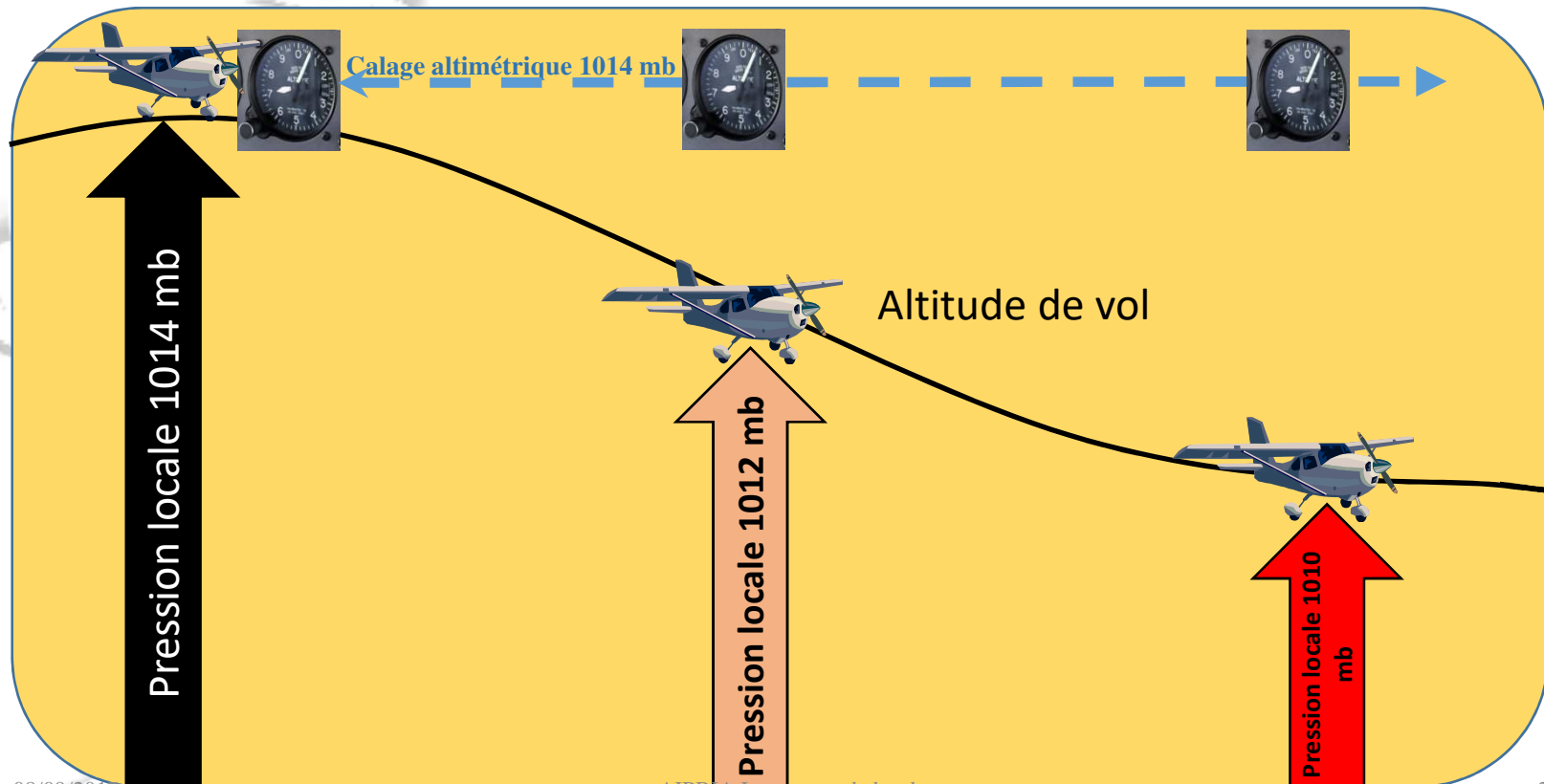
L'altimètre et la température



➤ Quand la température Baisse en route vous volez **PLUS BAS** que l'altitude indiquée

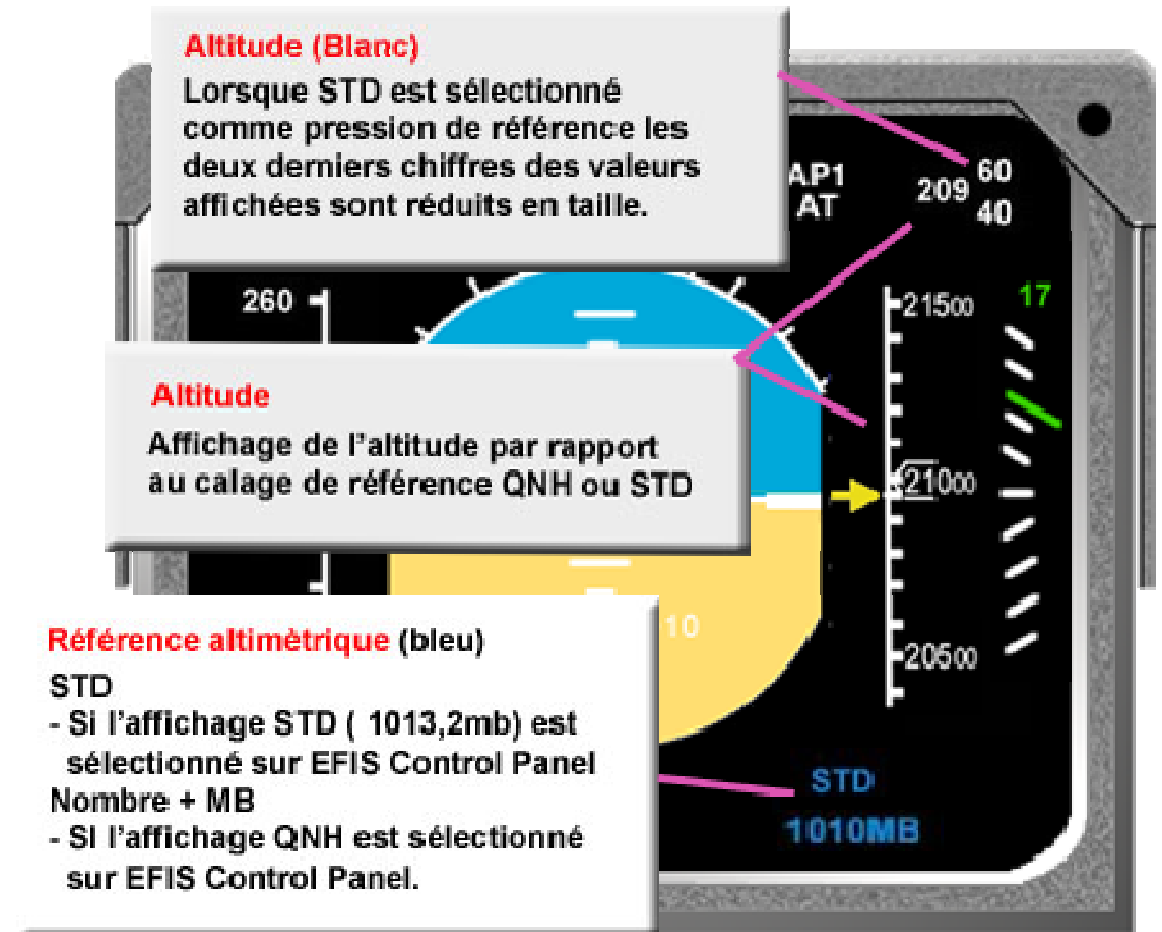
L'altimètre et les changements de pression

Quand je vole d'une haute pression vers une basse pression
Sans ajuster mon calage altimétrique
Mon altitude vraie est inférieure à celle indiquée



L'altimètre

- Sur les instruments les plus modernes, l'affichage peut être digital.



Le Variomètre

Le mot se décompose en:

Vario = Mesure une **Variation**

Mètre = Mesure une **Distance**



Le variomètre mesure donc la variation de l'altitude.

Le variomètre comme l'altimètre utilise la pression **statique**: celle de l'air **immobile** Ps.

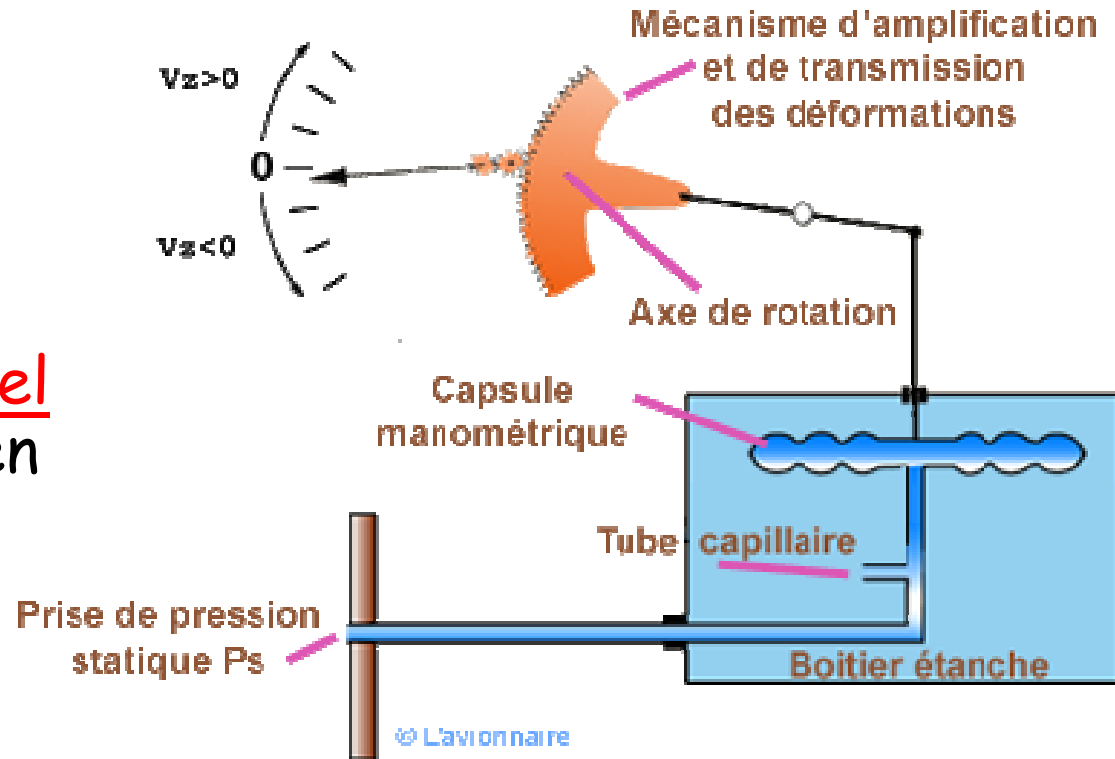
Les valeurs + indiquent une montée et les valeurs - indiquent une descente.

Les instruments les plus modernes présentent un affichage digital.

Cet instrument est très important pour les vélivoles et des modèles autonomes existent pour les parapentistes et les deltistes.

Le Variomètre

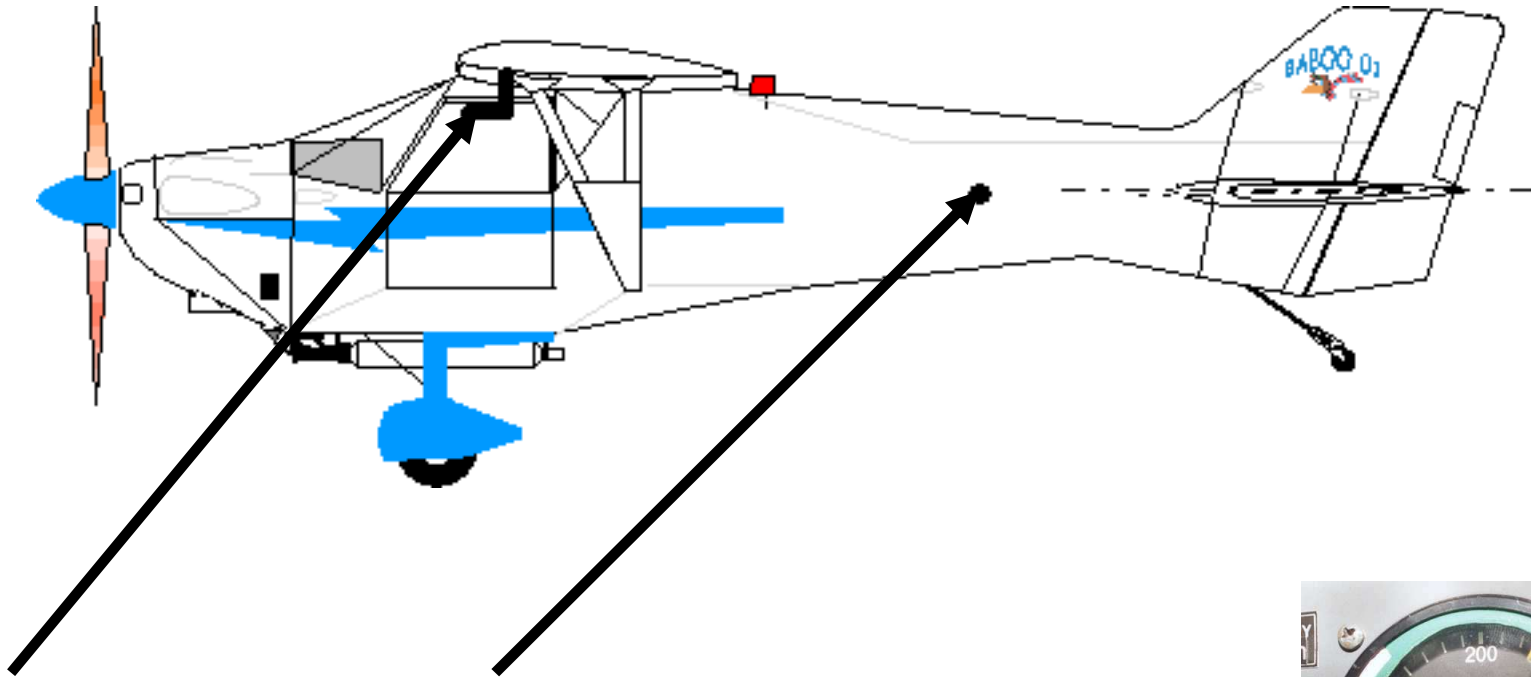
- Le variomètre est un baromètre différentiel gradué en ft/min ou en m/s.



- Il présente un temps de réponse qui peut être de 1 à 5s.
- La vitesse verticale (V_z) est surestimée en altitude (30% à 11 000m).
- Les variations de température du boîtier engendrent une erreur de l'indication.

Les instruments barométriques

L'anémomètre



Pression totale – Pression statique = Pression Dynamique

L'anémomètre est donc un instrument **utilisant la pression dynamique gradué en vitesse.**



L'anémomètre

L'anémomètre détermine la vitesse vraie à partir d'une sonde de PITOT .Henri PITOT (1695-1771) Ingénieur français.
Travaux en hydraulique.



La sonde mesure la pression **statique** et la pression **totale**.

Pour l'anémomètre on utilise la **pression dynamique** qui se **calcule** en utilisant les pressions **statique** et **totale** mesurées: $P_{\text{dyn}} = P_{\text{tot}} - P_{\text{stat}}$

En appliquant le théorème de BERNOULLI, $P_{\text{dyn}} = \rho \cdot v^2 / 2$, on relie ces pressions et la vitesse.

L'anémomètre est donc un instrument **barométrique** (qui mesure une pression) **gradué en vitesse**.

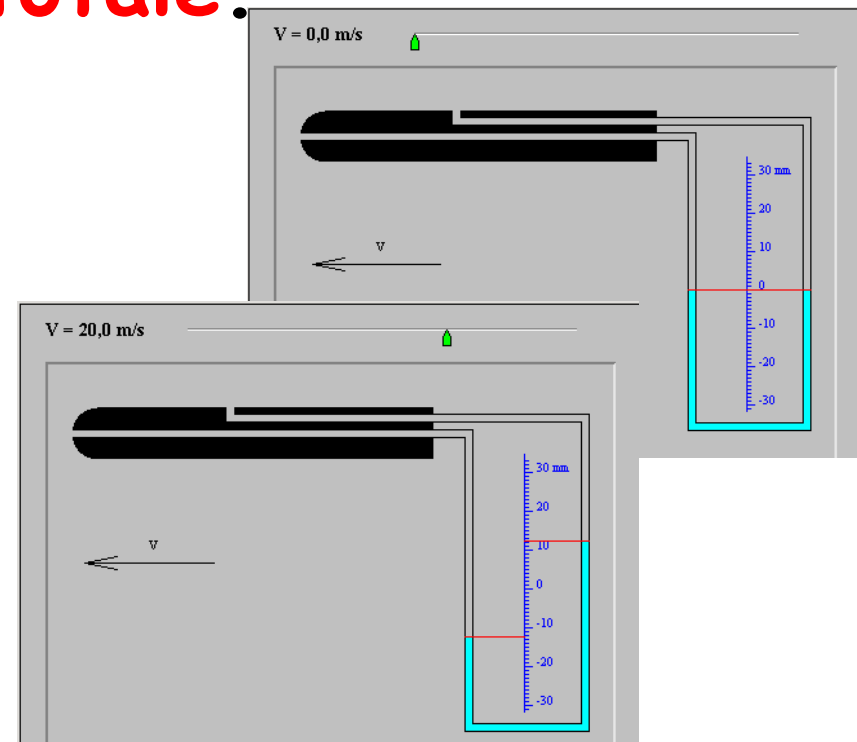
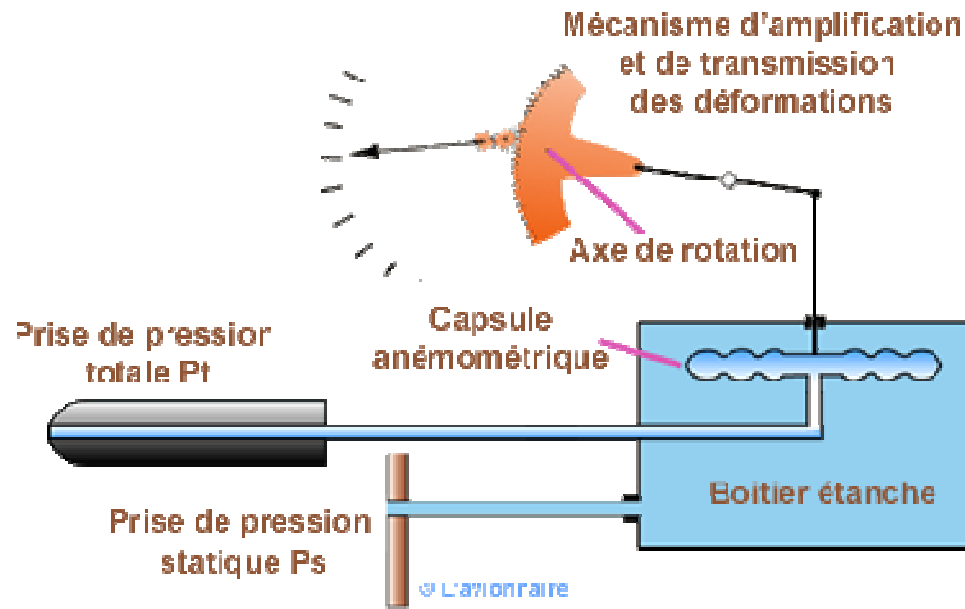
L'anémomètre est très important car:

En dessous d'une certaine vitesse l'avion **ne vole pas**.
Au dessus d'une certaine vitesse l'avion peut se **briser**.

L'anémomètre

Principe de fonctionnement

Celle-ci mesure la pression **statique** et la pression **totale**.



Plus la vitesse dans l'air **augmente**
Plus la pression totale **augmente** aussi.

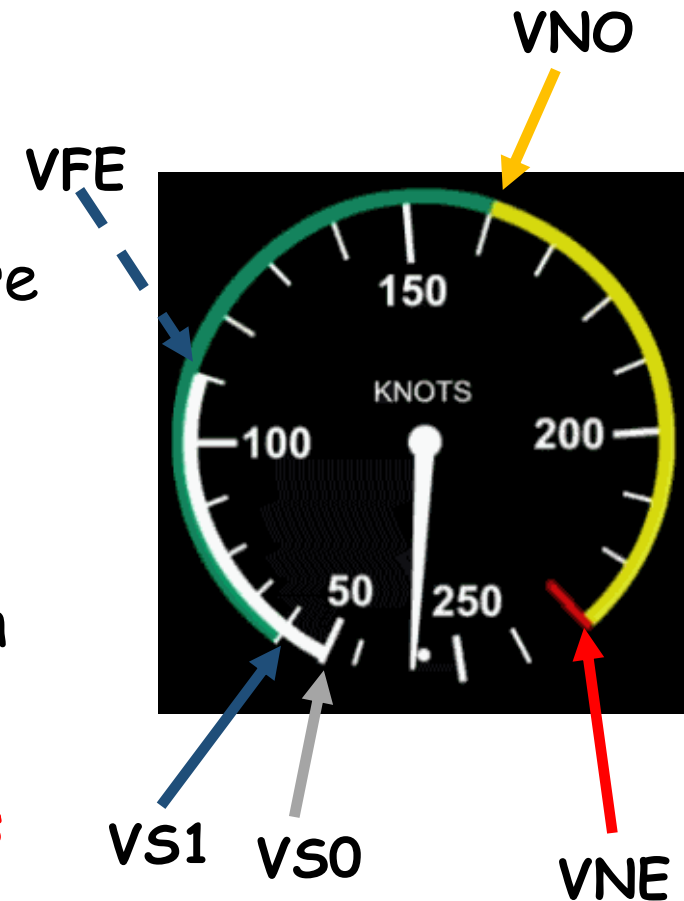
L'anémomètre

L'indicateur de vitesse (badin)

Arc vert zone d'utilisation **normale**
VS1 vitesse de décrochage en lisse
VNO vitesse à ne pas dépasser en **atmosphère agitée**

Arc jaune zone interdite en atmosphère turbulente, limité par VNO et VNE
VNE vitesse à ne **jamais dépasser** représentée par un **trait rouge**

Arc blanc zone d'utilisation normale en **configuration d'atterrissage** (Volets & train)
VFE vitesse max d'utilisation des **volets sortis**
VLE vitesse max d'utilisation du **train sorti**
VSO vitesse de **décrochage volets et train sortis**.

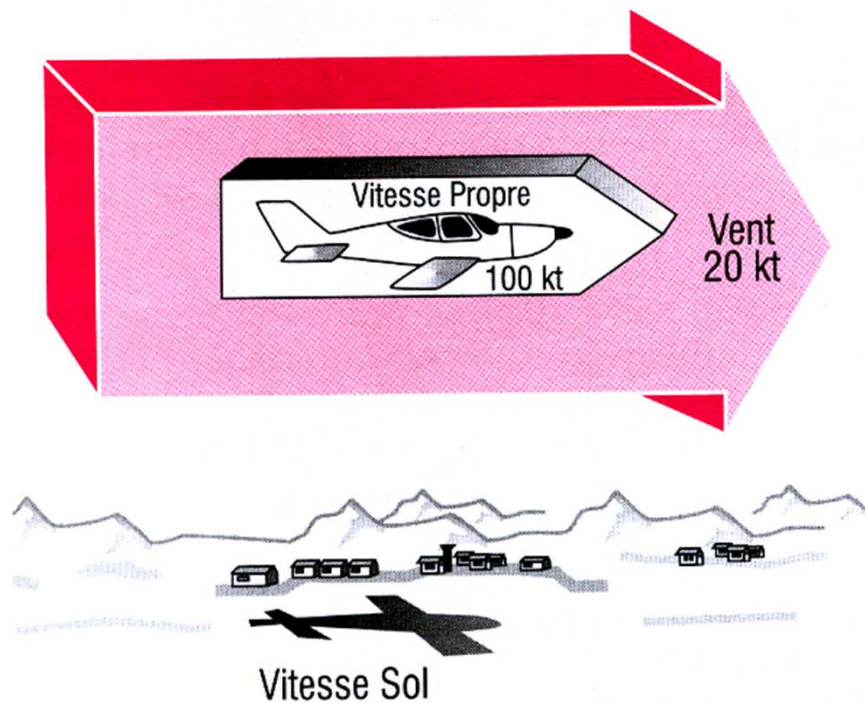


Vitesse propre et vitesse sol

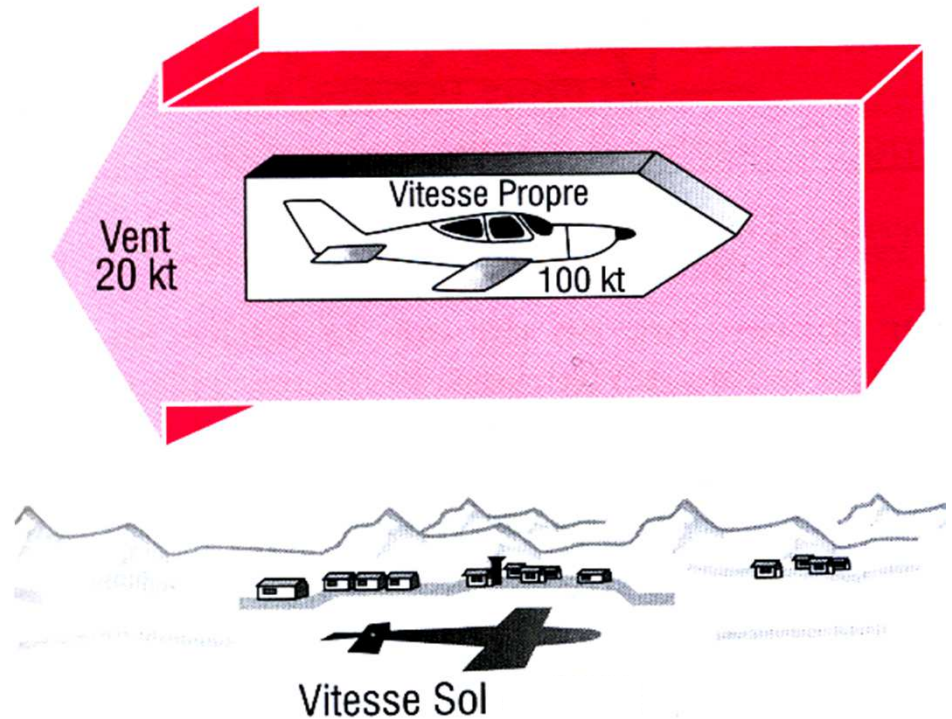
- Pour la navigation il faut prendre en compte 2 vitesses:
 - La **vitesse propre** (V_p) = composante horizontale de la vitesse vraie (= vitesse de l'avion **dans l'air**. Proche de la vitesse indiquée mesurée par l'anémomètre).
 - La **vitesse sol** (V_s) = vitesse horizontale de l'appareil par **rapport au sol**.
- La différence entre ces deux vitesses est liée à la vitesse du vent.

Vitesse propre et vitesse sol

Pour calculer l'heure d'arrivée on utilise la vitesse propre ou la vitesse sol?



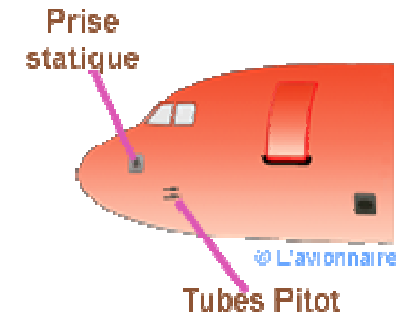
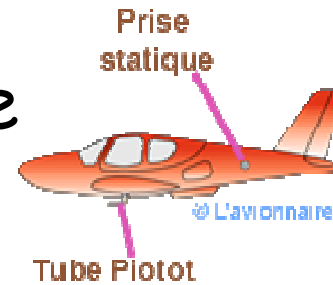
Vitesse sol =



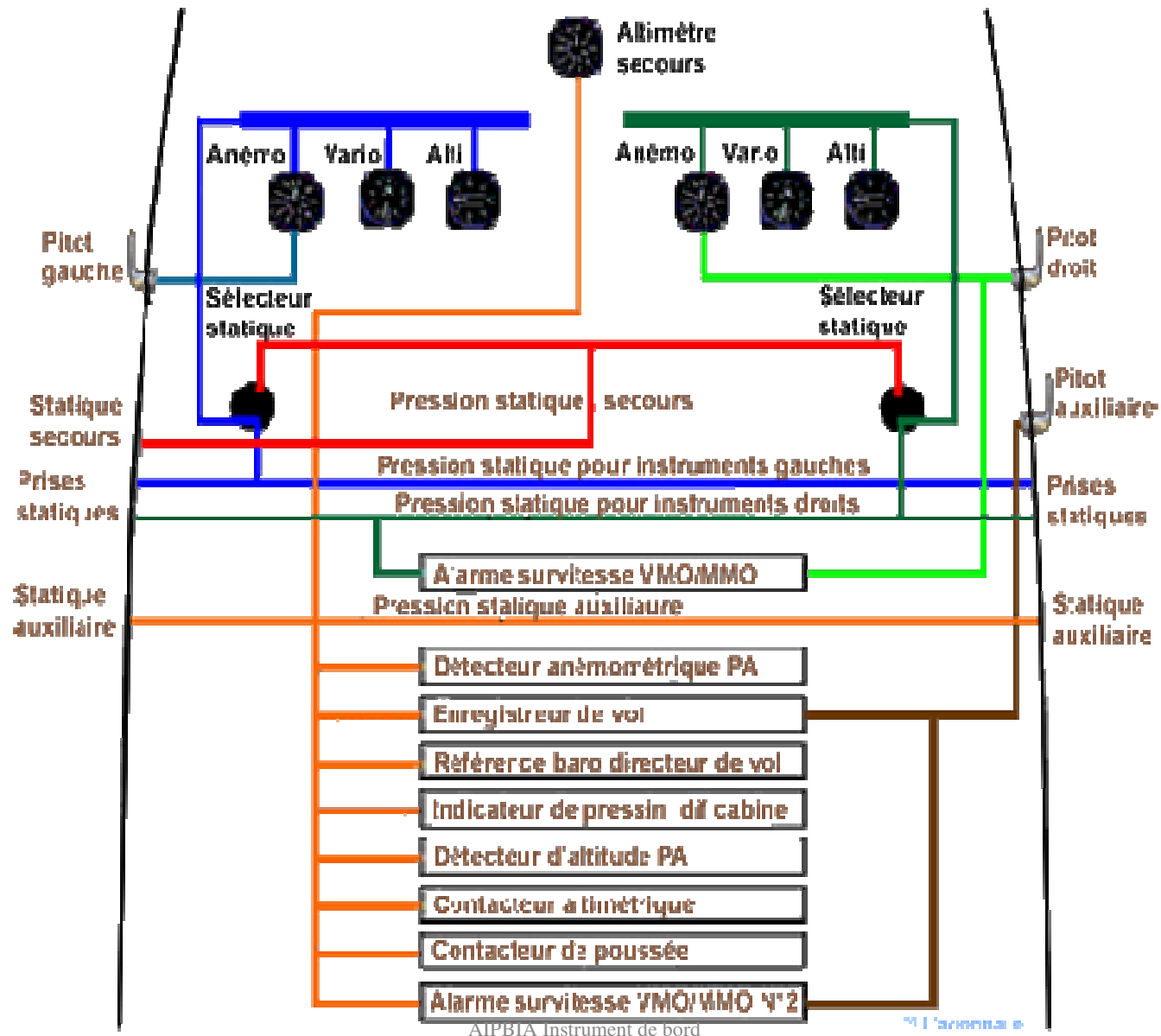
Vitesse sol =

L'anémomètre

- Les prise de pression totale et statique peuvent être séparées.
- Les badins modernes peuvent présenter un affichage digital.
- Les machmètres ont une présentation analogue mais les graduations sont en fraction et en multiple de Mach.



Circuit anémométrique d'un avion de ligne

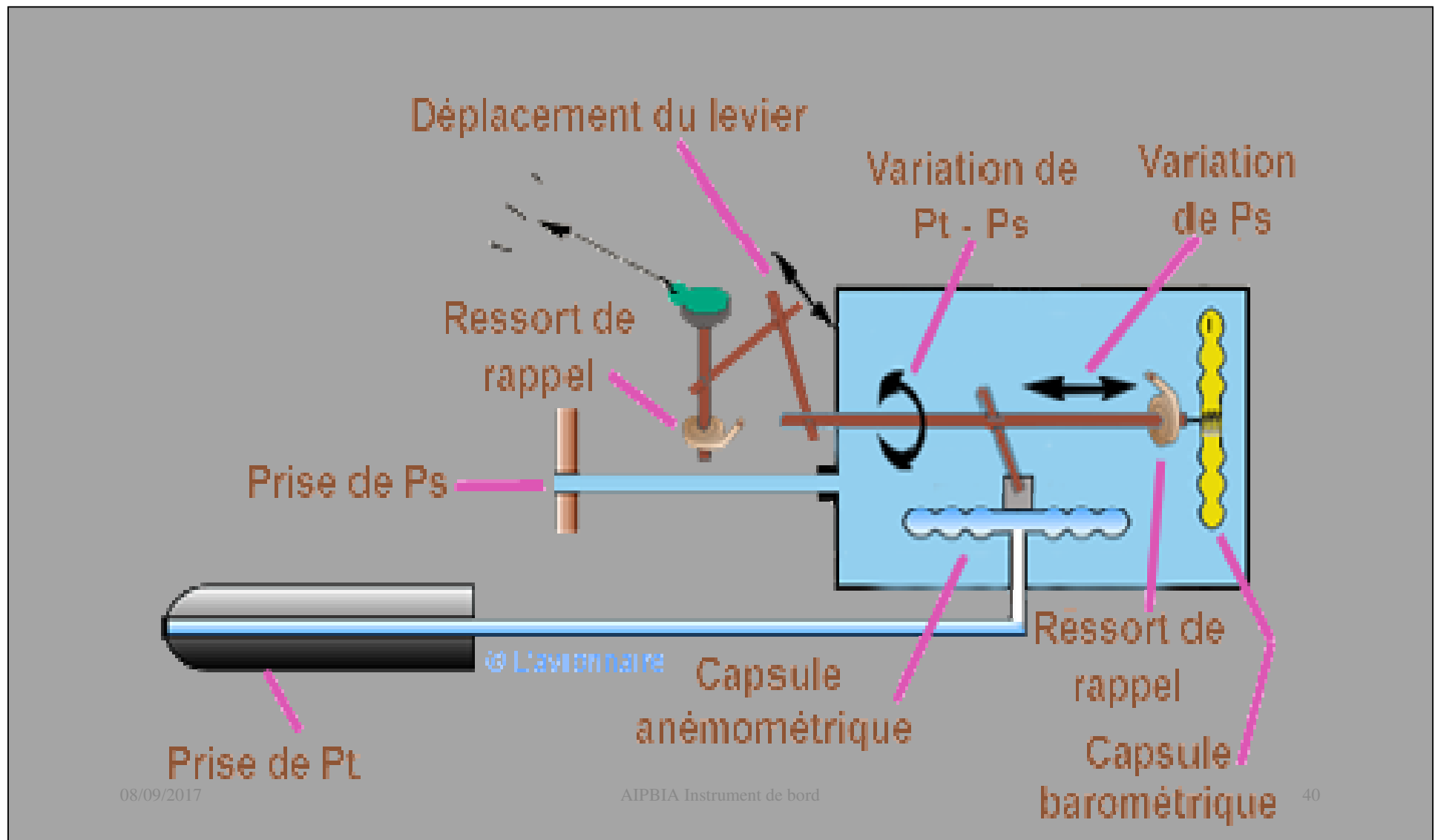


Machmètre

- Pour les avions rapides volant en haute altitude les badins ne donnent pas d'indications fiables. Ils sont équipés d'un **Machmètre**.
- $M = Vv/a$.
 - Vv la vitesse vraie
 - a = vitesse du son dans milieu ambiant
- Si $M < 1$ la vitesse est subsonique
- Si $M > 1$ la vitesse est supersonique
- Si $0,8 < M < 1$ la vitesse est transsonique

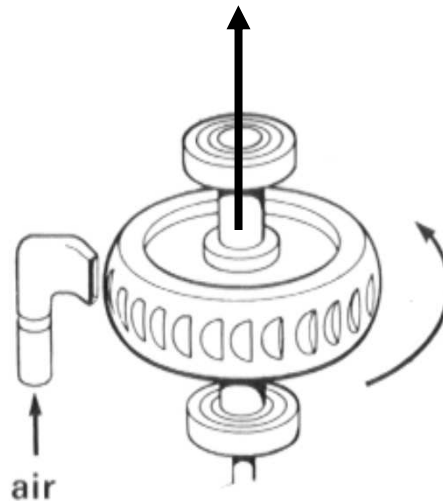
Le Machmètre

Principe de fonctionnement



Quelques notions de physique

- Un gyroscope est un disque pesant mis en rotation à grande vitesse.
- Propriété remarquable:
 - l'axe de rotation conserve une direction constante



Instruments supplémentaires de pilotage et navigation.

Instruments gyroscopiques



Horizon artificiel



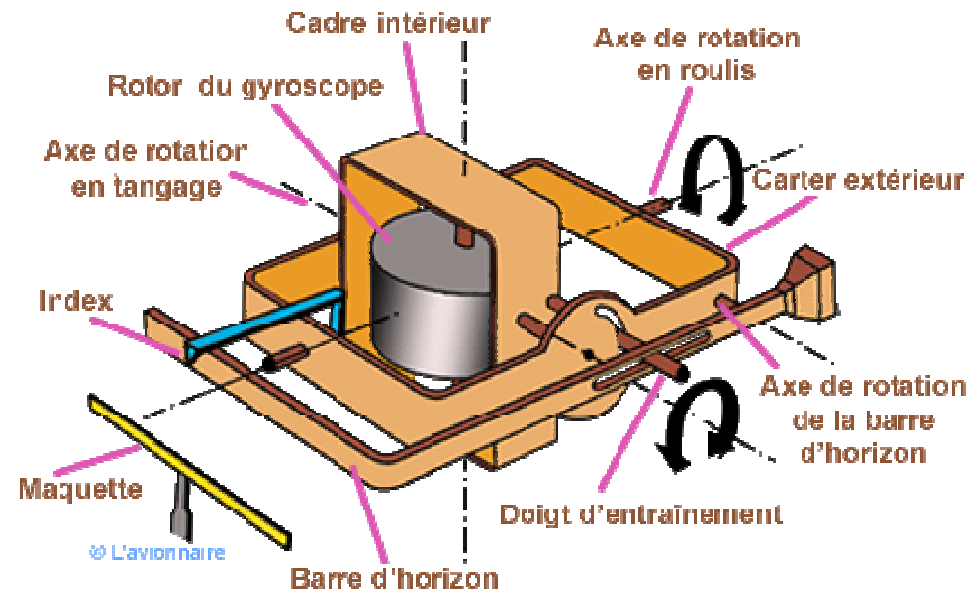
**Conservateur
de cap**



Indicateur de virage

L'horizon artificiel

Principe de fonctionnement



- Constitué d'un gyroscope à 3 degrés de liberté relié à une représentation de l'horizon.

L'horizon artificiel

- Tous les avions, sont munis de cet instrument.
- Une maquette liée à l'avion permet de visualiser la position (l'attitude) de l'aéronef dans l'espace.
- Le pilote en vol sans visibilité se sert de cet instrument comme de l'horizon en vol à vue.
- Le gyroscope précessionne (se décale). Il faut le recalibrer régulièrement et surtout éviter les manœuvres trop brusques.



L'horizon artificiel



- Les instruments les plus récents ont un affichage digital et les plus modernes utilisent des gyrolasers ne comprenant plus de parties mobiles.
 - Ceux ci sont plus fiables dans le temps et lors des évolutions serrées.
- Dans les avions équipés pour le vol aux instruments on développe des instruments sur écran LCD regroupant autour de l'horizon artificiel les indications de vitesse, d'altitude, de cap et de vitesse verticale.
- L'horizon artificiel est également représenté sur les Viseur Tête Haute (VTH) des avions qui en sont équipés.



08/09/2017



AIPBIA Instrument de bord



45



L'horizon artificiel mesure l'assiette de l'aéronef par rapport à l'horizon.

Est-ce que je monte ou descend

Est-ce que je suis incliné

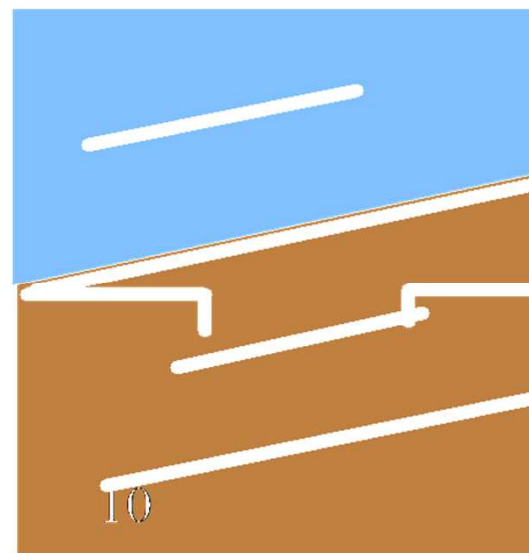
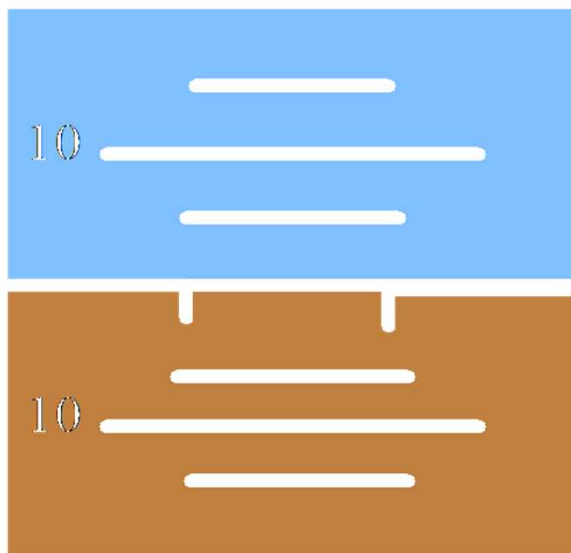
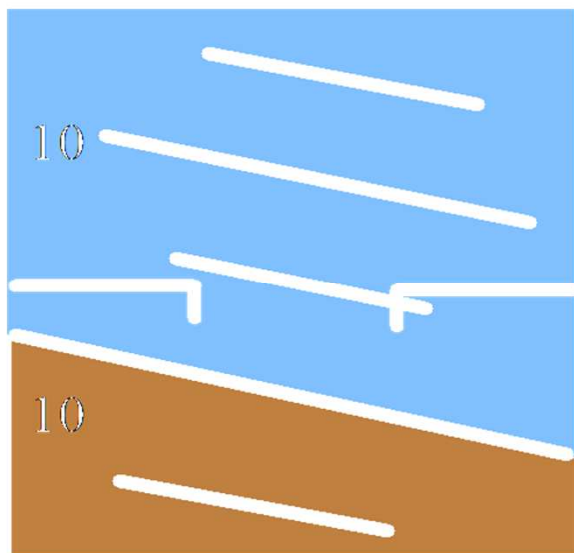
A droite

A gauche

1: Montée en virage à gauche

3: Descente en virage à droite

2: Vol rectiligne en palier





Conservateur de cap

Nous avons déjà vu que le compas avait des limitations.

Quelles sont ces limitations?

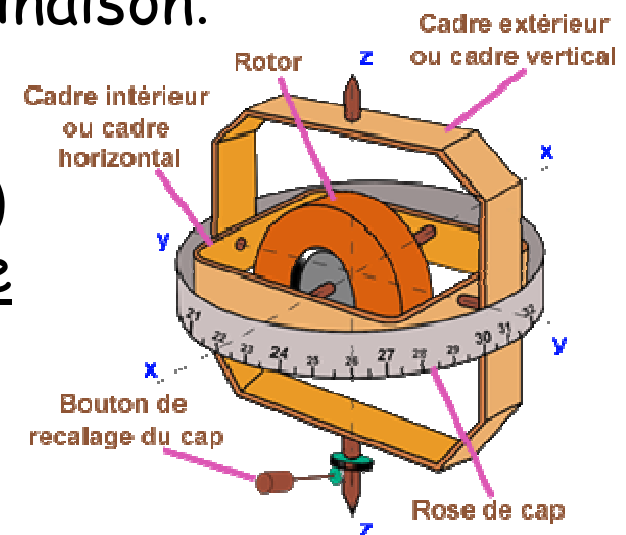
Indications erronées en Montée, descente et virage.

Si nous voulons suivre un cap pour rejoindre notre destination il nous faut un instrument qui soit juste durant ces phases de vol.

C'est le **conservateur de cap**.

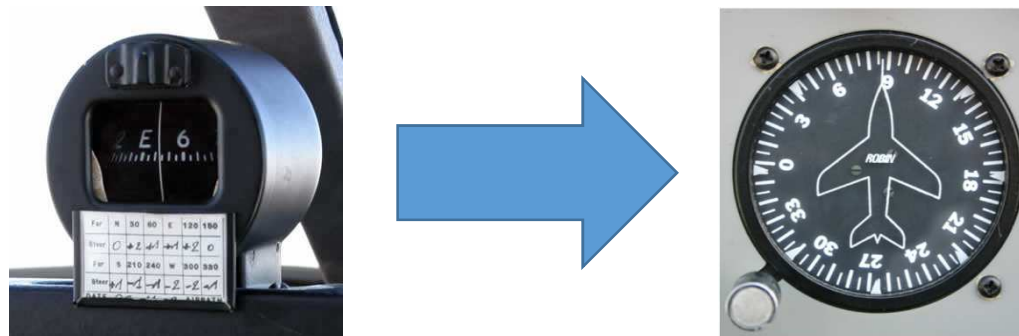
L'écart est négligeable jusqu'à 30° d'inclinaison.

Le conservateur de cap (ou gyrocompas) est basé sur un gyroscope à 3 degrés de liberté à axe vertical maintenant la direction du N magnétique.



Le conservateur de cap

- Comme tout instrument gyroscopique il nécessite des recalages réguliers.
- On le recale sur le compas magnétique uniquement en vol rectiligne en palier.



- Le gyroscope précessionne lentement mais se décale plus rapidement si on exécute des évolutions serrées.



L'indicateur de virage



L'indicateur de virage est généralement associé à un indicateur d'inclinaison à bille.

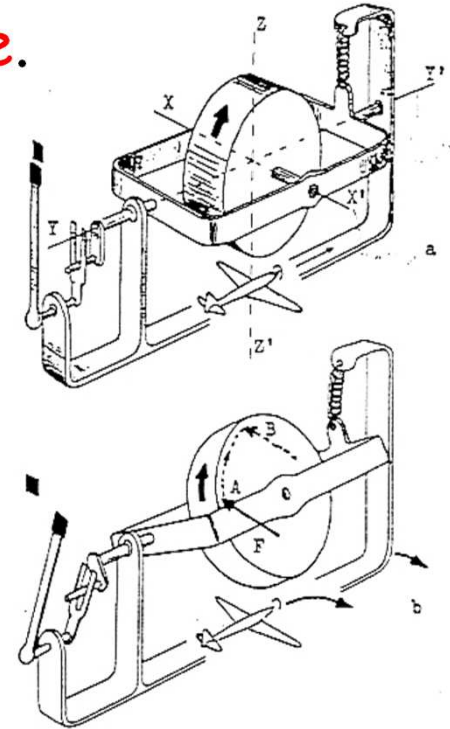
- il mesure le taux et le sens du **virage**.
- il contrôle la **régularité** du virage.

Maintenir le vol symétrique est important:

- permet de consommer moins d'essence
- le dérapage augmente la vitesse de décrochage et peut engendrer une vrille à basse vitesse.

L'indicateur de virage utilise un gyroscope à 2 degré de liberté.

Cet instrument gyroscopique est utile en vol sans visibilité (VSV) ou pour effectuer des virages en un temps donné (virages à taux constant).





L'indicateur de virage

- Le cadre du gyroscope entraîne dans son mouvement une aiguille (ou une représentation de l'avion) dont la position à l'équilibre indique le sens et le taux de virage.
- Cet instrument gyroscopique est utile en vol sans visibilité (VSV) ou pour effectuer des virages en un temps donné (virages à taux constant). Taux 1: 360° en 2 min



L'indicateur de symétrie

- La bille est constituée d'un tube légèrement courbé contenant une goutte de mercure immergée dans un liquide visqueux.
- En l'absence de dérapage, la bille est en bas du tube (2 repères matérialisent cette position).
- Lorsque l'avion est en dérapage, la bille est soumise à son poids et à une accélération transversale qui déplace la bille latéralement.
- Elle indique le côté par lequel le vent relatif arrive.



Placement des Instruments de bord.



Pour faciliter la lecture des instruments et augmenter la sécurité des vols les instruments sous forme « d'horloges » sont toujours disposés de la même manière quelque soit l'avion.

3. Etude des aéronefs et des engins spatiaux

3.1 Classification des aéronefs et des engins spatiaux

3.2 Les groupes motopropulseurs

3.3 Structure et matériaux

3.4 Commandes de vol

3.5 L'instrumentation de bord

- Les instruments de radionavigation
 - Le radiocompas
 - Le VOR
 - Le DME
 - L'ILS
 - Le transpondeur
 - Le GPS

Instruments de radio navigation

Radionavigation:

Radio veut dire que l'on utilise **des ondes radio**

Navigation: Pour **naviguer**

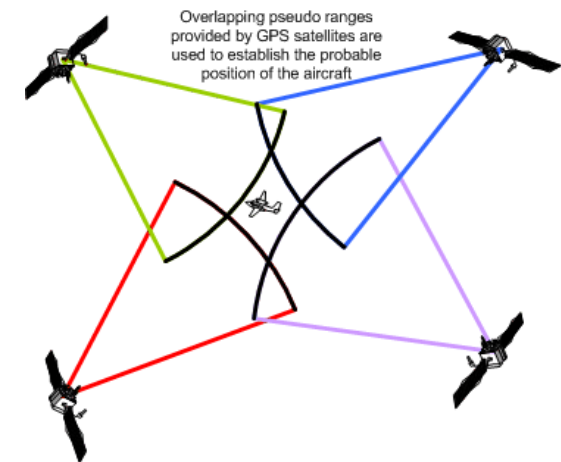


Les systèmes de radionavigation nécessitent souvent des **installations/antennes** sur le sol. Elles sont soumises au vent, pluie ... qui peuvent les endommager ou les dérégler. L'installation et la maintenance coûtent chers.



Certains systèmes de radio navigation sont en train d'être remplacés par le GPS.

Pour bien naviguer au GPS l'avion doit « voir » au moins **3 satellites**.



Instruments de radio navigation



Radio compas: pour atteindre une balise il suffit de placer la flèche de l'indicateur dans l'axe de l'avion.

Il est **sensible** aux perturbations météo



V.O.R.: Peut être utilisé pour la **navigation** et **l'atterrissage de précision**. Bonne fiabilité.

Il est **insensible** aux perturbations météo
Il existe 2 types de balises VOR:

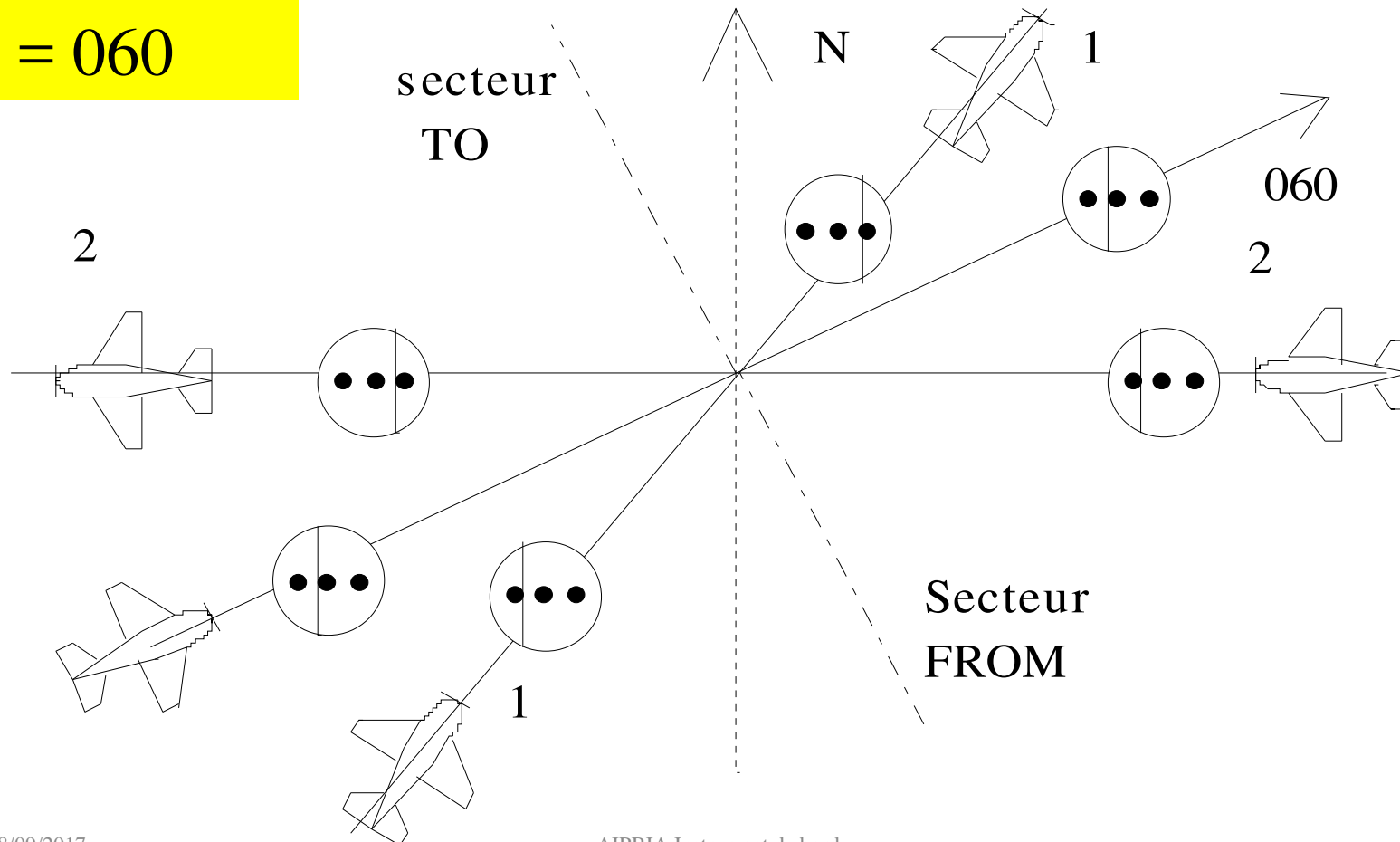
- les VOR de navigation (NAV)
- Les VOR terminaux (T) sur les terrains





Le VOR

**QDM affiché
= 060**



Instruments de radio navigation

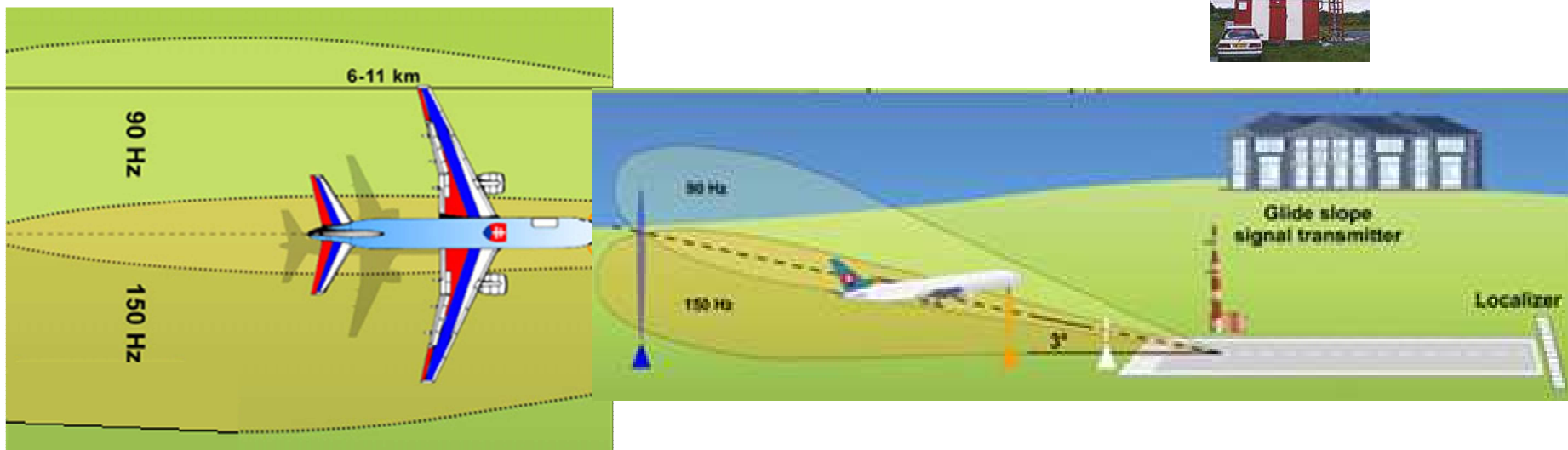
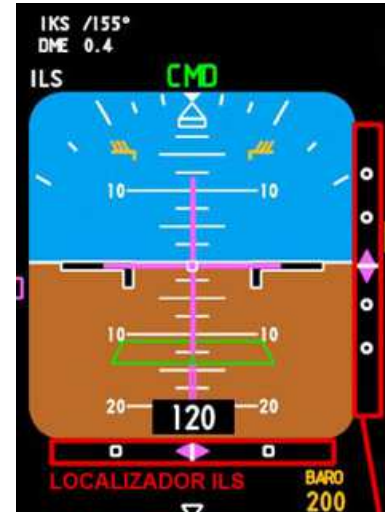
I.L.S. Une antenne au sol et un instrument dans l'avion.

Seul moyen homologué pour se poser par visibilité très **limitée**, ou **nulle**.

2 balises au sol

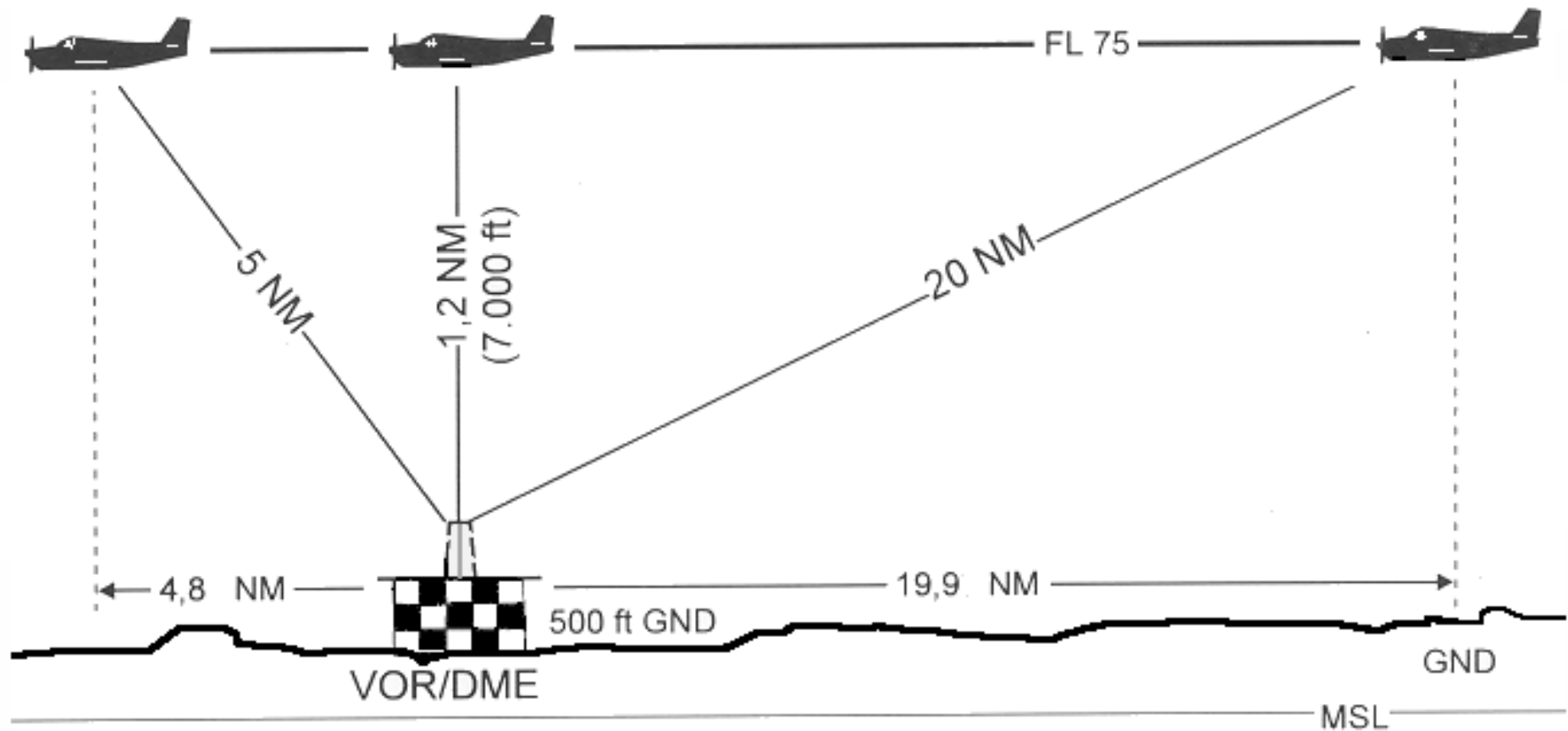
le localizer qui permet de repérer l'axe de piste

Le glide qui permet de repérer le plan de descente.





Le DME



D.M.E: Donne une indication de distance oblique entre l'avion et la balise

Le Transpondeur

Transpondeur. Un élément de **sécurité** qui permet au contrôleur **d'identifier** avec certitude un aéronef.



7000 = VFR
7600 = Panne radio
7700 = Détresse



Instruments de radio navigation



Le **GPS** (Global Positioning System) est un système de **24 satellites américains** en orbite basse envoyant des signaux vers la terre.

Les **européens** développent un système analogue et compatible (**Galileo**)

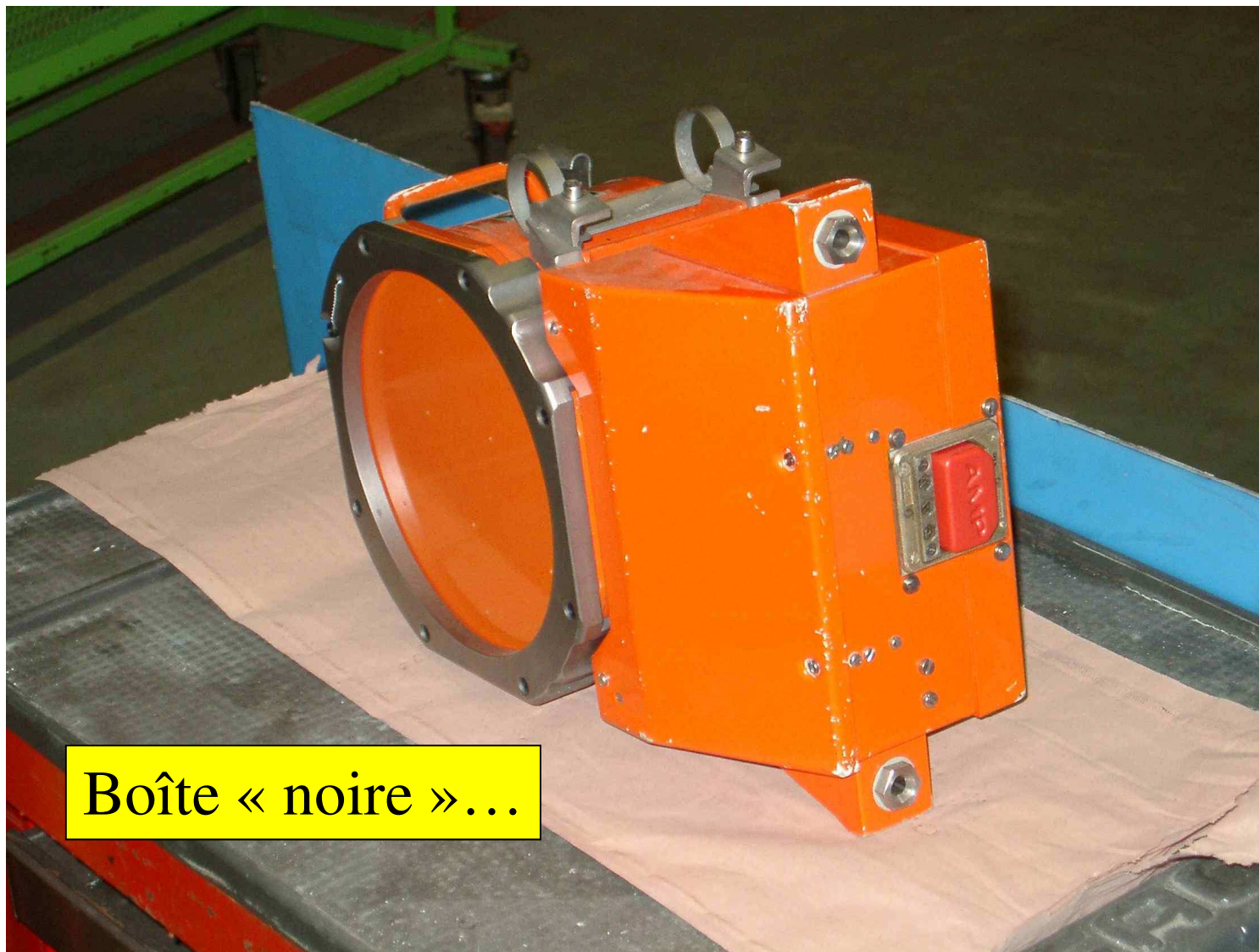
Les russes ont le système **GLONASS**

Aujourd'hui très fiable et la **couverture** est mondiale.

Peut devenir dans un avenir proche le moyen principal de navigation

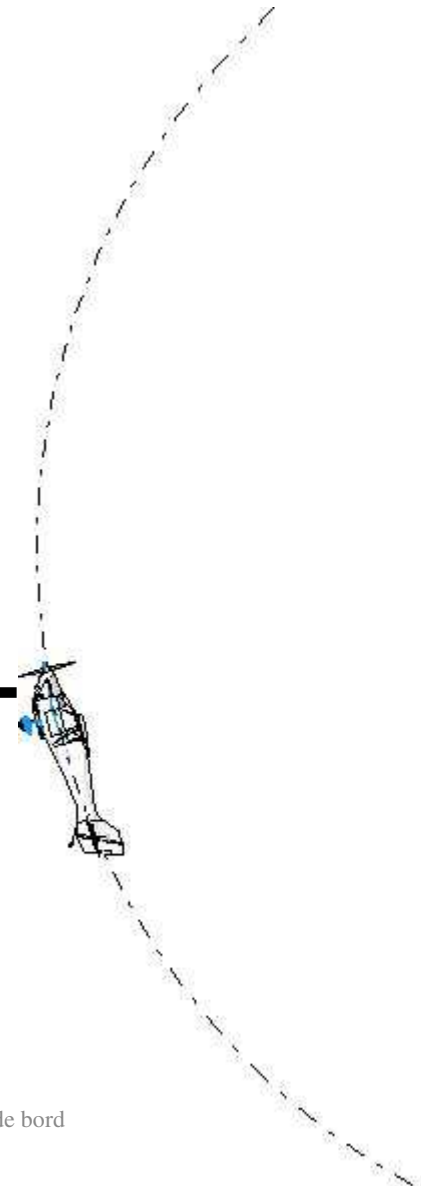
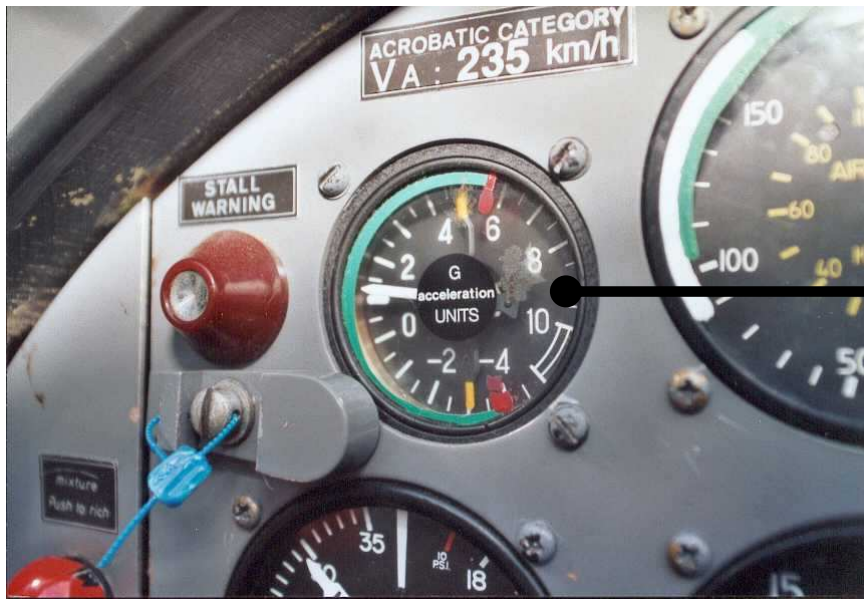
Sa **précision** (10m) permet d'envisager son utilisation comme moyen radionavigation pour assurer des approches finales.

Instruments de bord



Instrument lié à l'accélération: l'accéléromètre ou G Mètre

Ne se trouve que sur
les avions de voltige



**Ce module a été conçu et réalisé par un groupe de passionnés,
Merci à eux. Nous avons utilisé de nombreuses sources et documents dont:**

Productions de l'Académie de Bordeaux. Bernard GUYON, Stéphane MAYJONADE

<http://blog.crdp-versailles.fr/brevetinitiationaeronautique/>

<http://www.lavionnaire.fr/>

http://biacalais.free.fr/cours/Connaissance_Aeronefs-V2.pdf

Cours BIA Lycée Marie Curie et Aéroclub du Dauphiné. Grenoble.

Site commerciaux fabricants avion, hélicoptère, ULM, Voile ...

<https://fr.wikipedia.org>

Fiches de Laetitia Souteyrat

Fiches de Charles Pigaillem

Franck.cazaurang@ims-bordeaux.fr/1_Tech_Struct_Aero.pdf

<http://www.savoir-sans-frontieres.com/JPP/telechargeables>

<http://federation.ffvl.fr/pages/brevet-dinitiation-aeronautique-bia>

**[https://fr.wikipedia.org/wiki/Instrument_de_bord_%28a%C3%A9ronautique%29#/media/](https://fr.wikipedia.org/wiki/Instrument_de_bord_%28a%C3%A9ronautique%29#/media/File:Airbus-319-cockpit.jpg)
[File:Airbus-319-cockpit.jpg](https://fr.wikipedia.org/wiki/Instrument_de_bord_%28a%C3%A9ronautique%29#/media/File:Airbus-319-cockpit.jpg)**