

III - MESURE DE LA VITESSE

1. GENERALITES

La connaissance de la vitesse est indispensable au pilote pour gérer au mieux son **pilotage** car les forces aérodynamiques qui caractérisent le vol sont en relation directe avec la **vitesse**.

- résultante aérodynamique = $1/2 \cdot \rho \cdot S \cdot Va^2 \cdot Cr$
- Portance = $1/2 \cdot \rho \cdot S \cdot Va^2 \cdot Cz$
- Traînée = $1/2 \cdot \rho \cdot S \cdot Va^2 \cdot Cx$

De plus, le pilote doit connaître sa vitesse pour assurer sa **navigation** : en effet la distance parcourue est proportionnelle à la vitesse tenue.

$$D = V \cdot t$$

2. ANEMOMETRE

2.1. Principe de l'anémomètre

Le planeur évoluant dans la masse d'air, il est extrêmement difficile de prendre des "marques" qui permettent de décompter le chemin parcouru et d'en déduire la vitesse comme on le fait en voiture en comptant le nombre de tours qu'effectuent les roues.

Par contre, on sait que l'écoulement de l'air sur le planeur engendre un régime de pression proportionnel à la vitesse : la **pression dynamique**

$$Pd = 1/2 \cdot \rho \cdot Va^2$$

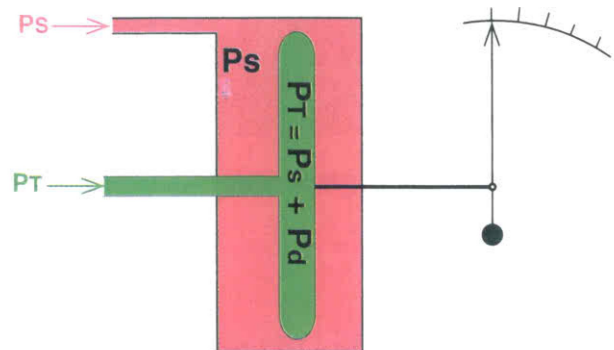
Pour connaître la vitesse, il suffit de chercher la pression dynamique.

Rappelons que la pression totale est la somme de la pression statique et dynamique.

$$\begin{aligned} Pt &= Pd + Ps \\ \Rightarrow Pd &= Pt - Ps \end{aligned}$$

L'isolement de la pression dynamique se fait à partir d'un manomètre différentiel qui réalise la différence entre la pression totale et la pression statique.

2.2. Réalisation pratique

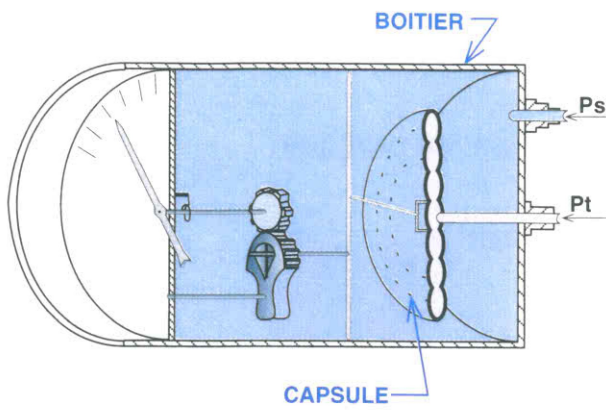


Une capsule est insérée à l'intérieur d'un boîtier étanche dans lequel la pression statique est appliquée. La pression totale est envoyée à l'intérieur de la capsule. La pression statique étant présente à l'intérieur et à l'extérieur de la capsule, cette dernière ne se déformera que sous le seul effet de la pression dynamique. Les déformations de la capsule sont alors transmises à une aiguille qui se déplace sur un cadran gradué en km/h.

Les déformations de la capsule sont proportionnelles au carré de la vitesse (Va^2) et non à la vitesse elle-même. Ce sont les graduations du cadran qui, espacées d'une manière logarithmique effectuent "l'extraction" de la racine carrée.

Ainsi, le même écart de vitesse se traduit par des graduations moins serrées aux faibles vitesses qu'aux grandes vitesses (voir dessin ci-dessous) :





2.3. Vitesse indiquée - Vitesse propre

L'anémomètre, tel que décrit, exprime des valeurs de la pression dynamique. C'est en effet cette pression dynamique qui déforme la capsule.

Supposons maintenant un planeur qui vole à 100 km/h (28 m/s) à une altitude relativement basse ($\rho = \rho_0 = 1,225 \text{ kg/m}^3$). La pression dynamique appliquée sur la capsule a pour valeur :

$$\begin{aligned} P_d &= 1/2 \cdot \rho \cdot V_a^2 \\ P_d &= 1/2 \cdot 1,225 \cdot 28^2 \\ \underline{P_d} &= \underline{480 \text{ Pa}} \end{aligned}$$

C'est cette pression de 480 Pa qui, appliquée à l'intérieur de la capsule de l'anémomètre, amène l'aiguille en face de 100 km/h.

Ce planeur vole maintenant à une altitude de 1 850 m, à une vitesse indiquée de 100 km/h.

On peut dire qu'une pression dynamique de 480 Pa est appliquée à l'intérieur de la capsule puisque l'aiguille est en face de 100 km/h.

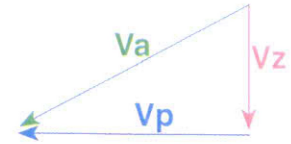
$$\begin{aligned} \text{Mais à } 1\,850 \text{ m } \quad \rho &= 1 \text{ kg/m}^3 \\ P_d &= 480 = 1/2 \cdot \rho \cdot V_a^2 \\ P_d &= 0,5 \cdot 1 \cdot V_a^2 = 480 \text{ Pa} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow V_a = \sqrt{\frac{480}{0,5 \times 1}} = 31 \text{ m/s} = \underline{\underline{112 \text{ km/h}}}$$

On remarque donc que pour une même valeur de vitesse indiquée lue sur l'anémomètre, la vitesse réelle est d'autant plus forte que ρ est plus faible (altitude plus élevée).

Il est nécessaire de faire une distinction entre la vitesse indiquée (V_i) et la vitesse aérodynamique (V_a) parfois appelée vitesse vraie (V_v) qui dépend de ρ (masse volumique de l'air). Pour simplifier nous allons considérer la vitesse propre (composante horizontale de la V_a) identique à la V_a .

Pour connaître la V_P en fonction de la V_i nous devons effectuer un calcul qui porte le nom de correction de densité.



Calcul de la V_P

$$V_P = \frac{V_i}{\sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}}$$

Le calcul de la vitesse propre à partir de la V_i et de la valeur de ρ est complexe, il sort du domaine de ce cours.

Le vol à voile peut se satisfaire d'un calcul approché mais suffisant. La masse volumique de l'air (ρ) varie en fonction de l'altitude et de la température. Pour calculer la V_P il faut tenir compte de ces deux paramètres.

a) Correction due à l'altitude

$V_P = V_i + 1\%$ de V_i par tranche de 200 m au-dessus de la surface 1 013,25 hPa.

b) correction due à la température

$V_P = V_i \pm 1\%$ de V_i par tranche d'écart de 5°C entre la température réelle et la température standard.

- en plus si la température réelle est supérieure à la température standard
- en moins si la température réelle est inférieure à la température standard.

Plus haut	\Rightarrow	Plus vite
Plus chaud		

Exemple :

Un planeur vole à 3 600 mètres (QNH), $V_i = 150 \text{ km/h}$, température extérieure : $-13,4^\circ\text{C}$

QNH : 1 013 hPa

Quelle est la V_P de ce planeur ?

- correction due à l'altitude :

$$\frac{3\,600}{200} = 18 (\%)$$

$$\Rightarrow V_P = V_i + 18\% \text{ de } V_i$$

- correction due à la température :

température standard à 3 600 mètres

$$T_{std} = (3,6 \cdot -6,5) + 15 = -8,4^\circ\text{C}$$

la différence est de 5°C

$$\Rightarrow V_P = V_i - 1\% \text{ de } V_i$$

$$\Rightarrow V_P = V_i + (0,18 - 0,01) V_i = V_i + 0,17 V_i$$

$$\Rightarrow V_P = 150 + 25,5 = 175,5 \text{ km/h.}$$

On peut remarquer que la correction due à la différence entre la température réelle et la température standard est en général très faible.

3. UTILISATION DE L'ANEMOMETRE

3.1. Utilisation de la Vitesse indiquée

La vitesse indiquée est l'expression directe de la pression dynamique. Elle est donc parfaitement représentative des forces aérodynamiques appliquées au planeur. A ce titre c'est la V_i qui servira de référence pour le pilotage.

Ainsi seront systématiquement exprimés en V_i :

- V_S : Vitesse de décrochage ;
- V_{SO} : Vitesse de décrochage en configuration atterrissage ;
- V_{S1} : Vitesse de décrochage en configuration particulière ;
- Vitesse de finesse max. ;
- Vitesse de taux de chute minimum ;
- V_{OA} : Vitesse optimale d'approche.

C'est également en vitesse indiquée que l'on exprime les vitesses limites d'utilisation imposées par le respect de la résistance structurale du planeur. En effet, la pression dynamique appliquée sur la cellule, sur les gouvernes, sur les volets, sur le train d'atterrissage entraîne des contraintes de torsion, de flexion, de cisaillement obligeant le constructeur à définir des vitesses limites d'utilisation exprimées en V_i .

- V_{NE} : Vitesse maximum à ne jamais dépasser (voir remarque importante) ;
- V_{RA} : Vitesse maximum en air agité ;
- V_{FE} : Vitesse maximum de manœuvre des volets ;
- V_{LE} : Vitesse maximum train sorti ;
- V_{LO} : Vitesse maximum de manœuvre du train ;
- V_T : Vitesse maximum en remorquage ;
- V_W : Vitesse maximum en treuillage ;
- V_A : Vitesse de manœuvre ;
- V_B : Vitesse de calcul en rafale.

3.2. Utilisation de la vitesse propre

La vitesse propre est la vitesse réelle du planeur par rapport à l'air. Le déplacement effectué est proportionnel à la vitesse propre. Elle est donc un élément de base des calculs de navigation qui sera également utilisé pour les calculs de distance d'atterrissage et de décollage.

$$\Rightarrow V_{sol} = V_P \pm \text{Vent effectif}$$

Exemple 1 :

Un planeur effectue une montée en onde sous le vent d'un relief. Il ajuste sa vitesse de manière à contrer exactement le vent. Il maintient le vol stationnaire pour une V_i de 80 km/h. Passant 5 000 m, le pilote veut connaître la force du vent.

Utilisons le calcul simplifié :

$$V_P = V_i + 1\% \text{ de } V_i / 200 \text{ m}$$

$$\text{à } 5\,000 \text{ m} \quad V_P = V_i + 25\% \text{ de } V_i$$

$$V_P = 80 + 20 = 100 \text{ km/h.}$$

La composante de vent de face est de 100 km/h.

Exemple 2 :

Un pilote de planeur doit effectuer un atterrissage en campagne dans un champ d'altitude de 2 000 m. Le vent est nul. Sachant que sa V_{SO} dans les basses couches est de 80 km/h, quelle valeur de V_{OA} devra-t-il adopter en finale ?

$$V_{OA} = 1,3 \cdot V_{SO} = 1,3 \cdot 80 = 104 \text{ km/h.}$$

Doit-il effectuer une correction de densité ?

Non : La vitesse de décrochage lue sur l'anémomètre est la même quelle que soit l'altitude (la V_{SO} est liée aux forces aérodynamiques dont la V_i est une fidèle représentation).

$$\Rightarrow \text{la } V_{OA} \text{ à adopter est de } \underline{104 \text{ km/h.}}$$

Par contre, la Vitesse sol qui est fonction de la V_P sera supérieure à la Vitesse indiquée.

$$V_{Sol} = V_P \pm \text{Vent (le vent est nul dans notre cas).}$$

$$\Rightarrow V_{Sol} = V_P$$

$$V_P = V_i + 10\% \text{ de } V_i$$

$$V_P = 104 + 10 = 114 \text{ km/h}$$

$$\Rightarrow V_{Sol} = 114 \text{ km/h pour une } V_i \text{ de } 104 \text{ km/h.}$$

Cette Vitesse sol supérieure va se traduire par une distance d'atterrissage (et d'arrêt) plus importante.

3.3. Remarque sur la V_{NE}

La V_{NE} est **conventionnellement** une vitesse liée à la résistance structurale du planeur. Elle résulte des efforts aérodynamiques sur la cellule, elle se traduit donc par des valeurs de vitesses indiquées et ce **quelle que soit l'altitude**.

Par contre, il est important de se souvenir que la V_i n'est pas la traduction de la vitesse de l'écoulement des particules d'air sur le planeur (directement liée à la V_P).

Or certains phénomènes vibratoires (flutter), dont les conséquences sont très graves, peuvent apparaître pour des valeurs d'écoulement de l'air précises, c'est-à-dire de certaines V_P .

Pour ces planeurs, le constructeur définit une V_p à ne jamais dépasser qui va se traduire pour le pilote par des V_i limites décroissantes en fonction de l'altitude.

Ces vitesses apparaissent dans les manuels de vol sous l'appellation de V_{NE} , mais il s'agit en fait d'une appellation impropre.

Exemples :

Manuel de vol du Discus, chapitre II (limites d'emploi).
Variation de la V_{NE} en fonction de l'altitude.

Altitude	0 à	4 000 à	5 000 à	6 000 à	7 000 à
en m	4 000	5 000	6 000	7 000	8 000
V_i en km/h	250	243	230	217	205
Altitude	8 000 à	9 000 à	10 000 à	11 000 à	
en m	9 000	10 000	11 000	12 000	
V_i en km/h	193	182	171	160	

Manuel de vol du Pégase, chapitre II (limites d'emploi).
 $V_{NE} (V_i) = 250$ km/h.