
	AERO-CLUB DU CE AIRBUS-FRANCE TOULOUSE	
	CISOA-Commission Interne pour la Sécurité des Opérations Aériennes	
11/2011	Conseil Sécurité du mois	Page 1/6

Rédacteur : Jean-Louis Rabilloud

De quelle vitesse parlons-nous : Vi, Vc, Vp, IAS, CAS, TAS, etc. ?

Quand on parle de vitesse en avion, immédiatement vient la question sous-jacente : de quelle vitesse s'agit-il ? Selon que l'on s'intéresse au pilotage ou à la navigation, plusieurs notions viennent à l'esprit, mais il n'est pas toujours facile de se rappeler précisément les caractéristiques et l'usage de chacune d'entre elles. Ce Conseil du Mois tente de vous aider à y voir plus clair.

En tout premier lieu rappelons qu'un avion est un mobile en mouvement dans un fluide (l'air) qui peut être lui-même en mouvement (vent horizontal, ascendances, rabattants) et surtout aux caractéristiques très variables (pression, température).

Nota : en astronautique, on doit aussi tenir compte du mouvement de la terre, ce que nous négligeons en aviation (mais il fait dériver les conservateurs de cap !), encore que Concorde ait eu une consommation supersonique un peu différente selon qu'il volait vers l'est ou vers l'ouest, sa vitesse du même ordre de grandeur que la rotation terrestre induisant un poids apparent légèrement différent selon le sens de vol !!

La vitesse d'un mobile se mesure par rapport à une référence, l'air ou le sol pour un avion. Elle est décrite par sa **grandeur** et par son **orientation**. Elle est représentée mathématiquement par le **vecteur vitesse**, représentation courante en aviation.

La **Vitesse-sol (Vsol)** ou Ground Speed (GS) est la composante horizontale de la vitesse de l'avion par rapport à la Terre, essentielle pour naviguer mais sans intérêt pour le pilotage de l'avion, sauf dans les cas de gradient de vent, traités dans le cours « Prévention des phénomènes dangereux pour l'aviation » (prochaine séance le 26 novembre 2011).

Comme chacun sait, la vitesse-sol est obtenue en additionnant vectoriellement les composantes horizontales du vent et de la vitesse-air.

Dans ce qui suit, nous parlerons uniquement de la vitesse-air et essentiellement de sa **grandeur**, ne considérant son orientation que ponctuellement.

Les unités habituelles en aviation sont bien connues : **nœuds (kts)** ou **km/h** (voire mph aux USA) pour la vitesse sur trajectoire et **pieds par minute (ft/mn)** ou m/s pour sa composante verticale Vz.

Mais ces unités quantifient des paramètres très variés comme nous allons le voir.



Nota : Les anglo-saxons ont pris l'habitude de placer un K devant l'acronyme de la vitesse pour signaler qu'elle est exprimée en Nœuds : par exemple KIAS, KTAS, KCAS, etc.

Voyons donc différentes notions de vitesse de l'avion par rapport à l'air !

Vitesse vraie (Vv) ou True Air Speed (TAS) et Vitesse propre (Vp)

La Vv ou TAS est la vitesse réelle de l'avion par rapport à l'air, d'où le nom scientifique de **vitesse aérodynamique**.

L'utilisation d'unités telles que **kts** ou **km/h** est bien justifiée puisque Vv est **réellement** une **vitesse de déplacement** de l'avion par rapport à son milieu ambiant, l'air.

	AERO-CLUB DU CE AIRBUS-FRANCE TOULOUSE	
	CISOA-Commission Interne pour la Sécurité des Opérations Aériennes	
11/2011	Conseil Sécurité du mois	Page 2/6

Rédacteur : Jean-Louis Rabilloud

C'est cette vitesse (notée seulement V) qui figure dans l'expression des forces de portance (Fz) et de traînée (Fx) (voir cours de mécanique du vol) :

$$Fz = \frac{1}{2} \rho S V^2 C_z \quad \text{et} \quad Fx = \frac{1}{2} \rho S V^2 C_x$$

La vitesse vraie sert dans l'analyse des performances d'atterrissage et de décollage, notamment pour déterminer, en l'absence de vent, les longueurs de piste nécessaires et, avec sa composante verticale Vz, la pente de la trajectoire au décollage donc les marges de franchissement d'obstacles. Les effets du vent viennent ensuite en correctif de ces valeurs de base.

Elle est également essentielle pour le calcul des performances de croisière et ceux effectués pendant la navigation par sa **composante horizontale** appelée **Vitesse propre (Vp)**.

Nota : pour un avion léger dont les pentes de montée/descente sont faibles (hormis en voltige...), les valeurs de Vp et de Vv sont toujours très proches et peuvent être confondues dans la pratique.

Mais la vitesse vraie n'a pas d'utilité immédiate pour le pilotage (voir la suite).

De plus, un inconvénient de la vitesse vraie est qu'il n'existe aucun moyen classique interne à l'avion pour la mesurer directement. On doit donc la calculer à partir de mesures de pressions et de la température (voir annexe).

Certains anémomètres (TB10, TB20) possèdent une couronne manuelle permettant de déterminer une valeur assez juste de Vv (voir annexe).

Nota : en essais en vol on emploie depuis quelques années l'anémométrie laser, mais il faut qu'il y ait des particules réfléchissantes et immobiles dans l'air ce qui n'est pas toujours le cas. En outre comme l'installation et l'étalonnage n'en sont pas aisés, on s'en remet encore souvent au bon vieux cône remorqué pour mesurer la vitesse hors du champ aérodynamique de l'avion afin d'étalonner la chaîne anémométrique de l'avion.

Vitesse équivalente ou Equivalent de vitesse (Ev) ou Equivalent Air Speed (EAS)

Dans l'expression de la portance et de la traînée rappelée plus haut, la masse volumique de l'air ρ évolue fortement avec la pression, donc l'altitude, et avec la température de l'air.

Les vitesses caractéristiques que doit connaître le pilote (V_{NE} , V_{NO} , V_{FE} , V_A , vitesses de décrochage, de finesse max, de meilleure pente de montée ou de pente max, de meilleur taux de montée ou de Vz max, etc.) sont déterminées par les caractéristiques physiques et aérodynamiques de l'avion.



Exprimées en vitesse vraie, ces vitesses caractéristiques vont donc varier selon la valeur de ρ , que l'on ne sait d'ailleurs pas mesurer facilement.

Il faudrait donc une mémoire d'éléphant au pilote pour se rappeler toutes ces valeurs selon l'altitude et la température !

Mais en « figeant » la valeur de ρ à sa valeur de référence ρ_0 , on remplace la vitesse aérodynamique V (Vv ou TAS, voir paragraphe précédent) par l'**Equivalent de vitesse (Ev) ou Equivalent Air Speed (EAS)** qui ne varie pas avec ρ . L'expression mathématique des forces de portance et de traînée devient :

$$Fz = \frac{1}{2} \rho_0 S (Ev)^2 C_z \quad \text{et} \quad Fx = \frac{1}{2} \rho_0 S (Ev)^2 C_x$$

où ρ_0 a une valeur fixe = 1,225 kg/m³ (valeur de ρ à la pression standard 1013,25 hPa et à la température standard +15°C)

	AERO-CLUB DU CE AIRBUS-FRANCE TOULOUSE	
	CISOA-Commission Interne pour la Sécurité des Opérations Aériennes	
11/2011	Conseil Sécurité du mois	Page 3/6

Rédacteur : Jean-Louis Rabilloud

Les vitesses caractéristiques d'un avion **exprimées en Ev** sont ainsi **totale­ment indépendantes de l'altitude et de la température de l'air** et sont donc des **valeurs uniques pour un avion donné** (si la masse ne change pas et s'il n'y a pas d'effet de Mach).

Bien que quantifié aussi en kts ou km/h, l'équivalent de vitesse Ev est donc un paramètre virtuel, ce n'est pas une vitesse réelle. C'est seulement une **valeur en lien avec** la vitesse aérodynamique, mais très pratique pour le pilote en raison de ce qui précède.

Par commodité on exprime Ev en kts ou km/h, mais ce ne sont pas des unités réelles de vitesse !

Ce paramètre Ev n'est pas mesurable non plus par des moyens simples en avion.

Mais à faible Mach et altitude modérée (cas des avions légers), il est heureusement quasi égal au paramètre suivant Vc :

Vitesse conventionnelle (Vc) ou Calibrated Air Speed (CAS)

C'est le paramètre principal utile au pilote pour conduire sa machine, car il est **facilement mesurable à bord** et quasi égal au paramètre Ev du paragraphe précédent, dans le domaine de vol des avions légers.

Comme Ev, c'est donc un paramètre virtuel, les kts ou km/h n'étant pas des unités réelles de vitesse, sauf bien sûr lorsqu'on vole en conditions standard, c'est-à-dire au FL 000 et à la température +15°C.

Pour un avion léger, les vitesses caractéristiques (citées plus haut) exprimées en Vc sont donc invariables avec la pression et la température de l'air, ce qui est un **grand avantage** pour le pilote qui n'a qu'une valeur à mémoriser pour chacune d'elles.

Nota : cependant les variations de masse, et pour les avions à grand domaine de vol les effets de Mach, modifient ces valeurs.

La détermination de Vc repose sur une mesure unique, celle de Δp c'est-à-dire la différence entre les pressions totale et statique: $\Delta p = p_t - p_s$



p_t est la valeur de **pression totale** de l'écoulement aérodynamique sur l'avion en vol, donc d'autant plus élevée que la vitesse de vol est grande. En subsonique elle est égale à la pression d'arrêt ou pression Pitot.

p_s est la **pression atmosphérique** que pourrait mesurer un baromètre immobile dans l'air à la même altitude que l'avion ; elle est indépendante de la vitesse de l'avion (c'est pour cette raison qu'elle est dénommée pression statique !).

Nota : la pression statique sert aussi à définir l'altitude barométrique de l'avion.

Vc s'élabore très simplement en subsonique à partir de Δp par la formule de Saint-Venant (voir annexe), en vertu de laquelle sont étalonnés les anémomètres.

Les pressions p_t et p_s sont fournies par les prises de Pitot et de statique.

	AERO-CLUB DU CE AIRBUS-FRANCE TOULOUSE	
	CISOA-Commission Interne pour la Sécurité des Opérations Aériennes	
11/2011	Conseil Sécurité du mois	Page 4/6

Rédacteur : Jean-Louis Rabilloud

Vitesse indiquée (Vi) ou Indicated Air Speed (IAS)

Comme aucun instrument réel n'est parfait, la mesure de Δp et sa transformation en V_c par l'anémomètre sont entachées d'erreurs de diverses natures :

- erreur de statique, la plus importante en général car il est difficile de trouver un emplacement unique pour les prises statiques qui donne une valeur juste de p_s dans toutes les phases de vol et selon le souffle de l'hélice. Cela devient carrément un casse-tête sur un hélicoptère...
- erreur « d'antenne » ou erreur du Pitot, quasiment nulle tant que le Mach, l'incidence et le dérapage restent faibles. Elle devient perceptible pour les avions qui ont un grand domaine de vol ou de grandes variations d'incidence et dérapage (voltige).
- erreur instrumentale de l'anémomètre lui-même, essentiellement fonction de la qualité de l'instrument et de son entretien.

La vitesse indiquée est la somme de ces erreurs et de la V_c (paragraphe précédent) :

$$V_i = V_c + \text{erreur totale de la chaîne anémométrique}$$

Pour la plupart des avions légers cette erreur est de valeur modérée (quelques kts) et peu variable selon les phases de vol. Le pilote peut donc sans inconvénient utiliser la V_i comme paramètre de pilotage.

L'erreur totale de la chaîne anémométrique reste intéressante à connaître pour calculer les performances de croisière ainsi que les paramètres d'atterrissage et d'évolution en sécurité, car il faut partir de V_c et non de V_i pour obtenir V_v donc V_p et les fameuses valeurs $1.2V_s$, $1.3V_s$ et $1.45V_s$. Voir en annexe une formule approchée pour passer de V_c à V_v .

Nota : pour se faire une idée précise de la variation de l'amplitude de cette erreur selon la vitesse et la configuration de l'avion, il convient de se référer à la calibration de l'anémomètre (lorsqu'elle figure dans le Manuel de vol).

Par exemple pour le Diamond DA20 dans le tableau ci-dessous on relève une amplitude maximum de 10 kt d'écart entre KIAS et KCAS à la V_s dans les trois configurations et de 5 kt à la V_{NE} avec les volets Cruise et T/O !

DA 20-C1 Flight Manual



Performance



5.3. PERFORMANCE TABLE AND DIAGRAMS

5.3.1. Airspeed System Calibration

Assumes zero indicator error

Flaps Cruise																	
KIAS	42	50	55	60	65	70	75	80	90	100	110	120	130	140	150	16	164
KCAS	52	58	62	66	70	75	79	83	92	101	110	120	129	138	147	156	159
	V_{S1}																V_{NE}
Flaps T/O																	
KIAS	38	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	-	-	-
KCAS	48	53	57	61	65	69	73	77	81	85	89	93	96	100	-	-	-
	V_{S1}													V_{FE}			
Flaps LDG																	
KIAS	34	40	45	50	55	60	65	70	75	82	-	-	-	-	-	-	-
KCAS	44	48	52	55	59	64	68	72	76	81							
	V_{S0}									V_{FE}							

Example: CRUISE Flap KIAS = 90 kts therefore KCAS = 92 kts from chart

	AERO-CLUB DU CE AIRBUS-FRANCE TOULOUSE	
	CISOA-Commission Interne pour la Sécurité des Opérations Aériennes	
11/2011	Conseil Sécurité du mois	Page 5/6

Rédacteur : Jean-Louis Rabilloud

ANNEXE

Formule de Saint Venant :

Cette formule est directement déduite des équations de la dynamique des gaz parfaits et pesants.

Elle permet de calculer la vitesse à partir de mesures anémo-barométriques.

Voyons donc à travers cette formule comment se situent les différents paramètres « vitesse » des paragraphes précédents :

La formule complète est : $V^2 = 2\gamma/(\gamma-1) \cdot p_s/\rho \cdot [(\Delta p/p_s+1)^{\gamma-1/\gamma}-1]$

Ce qui donne la valeur de **Vv** avec γ (constante des gaz parfaits) = 1,4 pour l'air sec :

$$V_V^2 = 7 p_s/\rho \cdot [(\Delta p/p_s+1)^{2/7} - 1]$$

En fixant $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ (valeur de ρ à pression standard 1013,25 hPa et à température standard 15°C), la même formule donne **Ev** :

$$E_V^2 = 7 p_s/1,225 \cdot [(\Delta p/p_s+1)^{2/7} - 1]$$

Et en fixant p_s à 1013,25 hPa (valeur standard au niveau de la mer), la formule donne alors **Vc** :



$$V_C^2 = 5,79 \cdot 10^5 [(\Delta p/1,01325 \cdot 10^5+1)^{2/7} - 1]$$

Vc est donc calculable par l'anémomètre uniquement à partir de la valeur de Δp , paramètre donné par le tube de Pitot et les prises de pression statique. Les anémomètres classiques réalisent ce calcul mécaniquement avec quelques bielles et engrenages.

Au contraire, Ev et Vv sont quasi impossibles à élaborer avec un instrument mécanique simple, il faut un calculateur.

Cependant certains anémomètres (TB10, TB20) possèdent un moyen manuel de déterminer Vv : en mettant en regard dans la fenêtre supérieure l'altitude pression et la température statique, on lit Vv dans la fenêtre inférieure.



	AERO-CLUB DU CE AIRBUS-FRANCE TOULOUSE	
	CISOA-Commission Interne pour la Sécurité des Opérations Aériennes	
11/2011	Conseil Sécurité du mois	Page 6/6

Rédacteur : Jean-Louis Rabilloud

Formule approchée de passage de Vc à Vv :

Dans le domaine de vol des avions légers, la formule approchée suivante s'applique :

$Vv = Vc + 1\%$ par tranche de 600ft (en calage altimètre standard) + 1% pour 5°C plus chaud que l'atmosphère standard.

(phrase mnémotechnique : plus haut, plus chaud => plus vite)

Exemple :

Je vole au **FL 090** avec une température atmosphérique de **+12°C** et une **Vi de 97kts**

Le manuel de vol de mon avion indique une erreur anémométrique de - 3kts.

Solution :

$$Vc = Vi - \text{erreur} = 97 + 3 = 100\text{kts}$$

FL 090 = 9000 ft en calage standard soit 15 x 600ft donc +15% de correction d'altitude

Au FL 090 la température standard est de 15 - 18 = -3°C (refroidissement de 2°C tous les 1000 ft)

Avec +12°C, on est donc 15°C plus chaud, donc +3% de correction de température

Donc :

$$Vv = Vc + 15\% + 3\% = 118\text{kts}$$

Le calcul selon la formule exacte donne : **117,54 kts**

Passage de kts à km/h et inversement:

On se rappelle que le mille nautique ou nautical mile (NM) est la longueur d'une minute d'arc de méridien, dont sont graduées les cartes de navigation, tandis que le mètre fut défini en 1793 par la Convention, comme le dix-millionième du quart du méridien terrestre.

Donc 10 000 km = 5400 NM (5400 = 90 x 60)

d'où 1 km/h = 0,54 kts (puisque 1 nœud = 1 mille nautique par heure)

En calcul rapide et approché, on peut donc dire :

$$X \text{ km/h} = \frac{1}{2} X + 10\% \text{ kts}$$

$$\text{Exemple : } 160 \text{ km/h} = 80 + 8 = 88 \text{ kts}$$

(valeur exacte : 160 x 0,54 = 86,4 kts)

$$Y \text{ kts} = 2Y - 10\% \text{ km/h}$$

$$\text{Exemple : } 90 \text{ kts} = 180 - 18 = 162 \text{ km/h}$$

(valeur exacte : 90 / 0,54 = 166,66 km/h)