



Par **MICHEL BARRY**,
pilote professionnel,
ingénieur aéronautique.

VENT DE FACE

CHOISIR LA VITESSE ET LA PUISSANCE POUR POUVOIR ARRIVER

FACE À UN BON VENT, MÉFIONS-NOUS DES « CONSEILS AVISÉS » PRÉCONISANT D'AUGMENTER LA PUISSANCE DE L'AVION. REVENONS SUR CET A PRIORI AVANT D'Étudier LA MEILLEURE MANIÈRE D'ARRIVER À BON PORT.

Les panes de carburant vers l'arrivée, notamment celles liées à une puissance inadaptée au vol en croisière qui a précédé, ont fait l'objet de nombreux sujets de retour d'expérience dans nos colonnes. La dernière date de septembre dernier, dans le numéro 774 d'*Info-Pilote*, nous y déplorions qu'un réglage moteur inapproprié ait produit une surconsommation inutile. Elle a provoqué une panne sèche à quelques kilomètres de l'aérodrome de destination (voir lien #1 sur notre site).

Cet événement malheureux a inspiré le quiz que nous vous avons proposé dernièrement sur le site d'*Info-Pilote* : comment choisir le réglage du moteur qui permet de parcourir la distance la plus grande ? La solution a suscité de nombreuses réactions de la part de nos lecteurs, notamment de jeunes pilotes, qui s'étonnaient de la réponse : face au vent en croisière, en avion léger, il vaut en effet mieux réduire la puissance du moteur et la vitesse propre, contrairement à certaines idées reçues qui préconisent d'augmenter la puissance.

En 2013, dans notre numéro 692 de novembre, nous avions déjà examiné le problème et rédigé des recommandations liées essentiellement aux stratégies d'arrivée, avec ou sans déroutement.

Ce mois-ci, après avoir évoqué les origines de la confusion et examiné des éléments de mécanique du vol propres à nos avions légers confrontés ou non à un vent de face, nous rappellerons l'origine de la préconisation erronée. Ensuite, chiffres de constructeurs à l'appui, nous démontrerons que la plupart du temps la réduction de puissance allonge la distance parcourue même face au vent.

A. Le planeur et l'avion de ligne propulsé par un turboréacteur : vent de face, on augmente la vitesse propre afin d'augmenter la distance franchissable

1. Mécanique de vol du planeur (et de l'avion en panne de moteur), Figure 1

Il ressort de l'expérience du pilote de planeur la nécessité d'augmenter sa vitesse propre V lorsqu'il rencontre un vent de face W , et ce, afin de limiter la pénalisation en finesse donc en distance franchissable. Cette hiérarchie entre les vitesses $V1$ et $V2$ n'a de sens que si le planeur vole initialement à la finesse maximale $f1$ quand il rencontre le vent de face. La situation est transposable à un avion en panne-moteur qui peut avoir à effectuer une branche face au vent avant d'atterrir. Le pilote augmentera sa vitesse afin de moins être pénalisé en finesse.

2. Mécanique du vol de l'avion de ligne équipé de turboréacteurs. Figure 2

La fonction primaire de l'avion de ligne est de parcourir la distance la plus grande en consommant le moins de carburant. Les constructeurs doivent donc assurer le rapport Carburant consommé/distance franchissable le plus faible possible.

Les moteurs se caractérisent par leur aptitude à fournir de la poussée Pu , proportionnelle à la Consommation horaire Ch en carburant. La distance franchissable D est égale au produit de la vitesse V par le temps t . Ainsi le rapport entre Consommation horaire Ch et la vitesse V (Ch/V) représente la consommation-distance ou consommation kilométrique de l'appareil : plus elle est faible plus il est performant. On cherche à voler avec le moins de poussée spécifique Pu ou le moins de consommation horaire tout en ayant la vitesse V la plus élevée possible. La loi propre à chaque appareil est une courbe semblable à celle de la figure 2.

Elle montre tout l'intérêt d'augmenter la vitesse V (de $V1$ à $V2$), de l'appareil qui rencontre du vent de face. La consommation kilométrique augmente par rapport à la consommation sans vent, mais reste toutefois plus faible, que si la poussée et la vitesse propres n'avaient pas été augmentées.

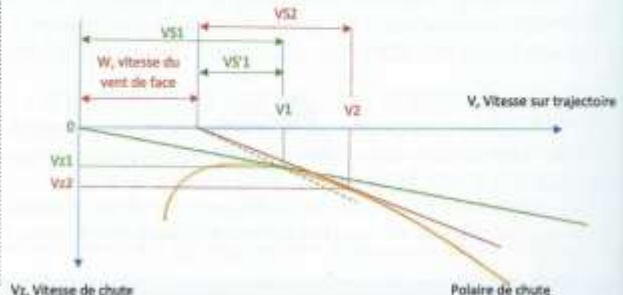
B. L'avion léger d'aéro-club, équipé de moteur à pistons

1. Un compromis qui ne privilégie pas la consommation kilométrique, sans vent ou face au vent

Nos amis, pilotes de ligne ou pilotes de planeurs, parfois pilotes

Figure 1. La polaire de chute du planeur

- Sans vent le planeur (ou l'avion en panne de moteur) avance à la vitesse propre $V1$, qui est aussi sa vitesse-sol $VS1$. Sa pente de descente (trait vert tangent à la courbe en jaune à $V1$) vaut $Vz1/V1$ et sa finesse $f1$ vaut $V1/VS1$. A $V1$, $f = f1$ est maximale.
- Avec un vent de face de vitesse W , le repère de chute est décalé de W . Si le pilote maintenait $V1$ à l'anémomètre la vitesse-sol deviendrait $V1 - W = VS1$ et sa vitesse de chute resterait égale à $Vz1$. Sa pente augmenterait (en valeur absolue, trait pointillé vert), et sa finesse deviendrait $f1' = VS1/Vz1$, plus faible que $f1$.
- Afin d'être moins pénalisé en finesse, donc en distance franchissable au sol, le pilote a intérêt à accroître sa vitesse propre jusqu'à $V2$ (nouveau point tangent). Sa vitesse-sol devient $VS2$ et sa pente (trait rouge) devient $Vz2/VS2$. Sa nouvelle finesse devient $f2 = VS2/Vz2$. Il a limité la perte de finesse ($f2 < f1$) et augmenté sa vitesse de chute ($Vz2 > Vz1$).



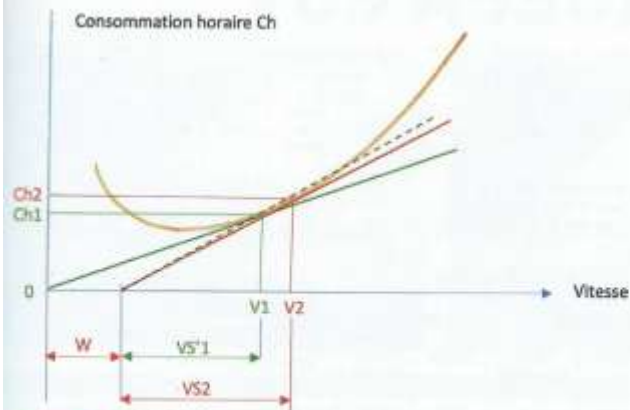


Figure 2. La relation Consommation horaire/vitesse, en fonction de la vitesse d'un appareil équipé de turboréacteurs. Les pentes des droites (Ch/V) sont l'image de la consommation kilométrique

- Sans vent l'avion avance à la vitesse V_1 égale à VS_1 en utilisant la consommation Ch_1 . La pente de la droite en vert est l'image de la consommation kilométrique, la plus faible possible sans vent (tangente à la courbe Ch).
- Si l'avion rencontrait un vent de face de vitesse W et n'augmentait pas la poussée la vitesse-*sol* deviendrait VS_1 et la consommation serait la pente Ch_1/VS_1 de la droite en pointillés verts.
- En ajustant la consommation à Ch_2 l'avion accélère à V_2 qui donne VS_2 comme vitesse *sol*. Le rapport Ch_2/VS_2 (pente rouge) est plus faible que Ch_1/VS_1 (pointillés verts) qui représenterait la consommation kilométrique si l'appareil n'accélérait pas. Donc l'appareil parcourt davantage de distance qu'en conservant Ch_1/VS_1 . D'où l'intérêt d'avoir accéléré vers V_2 . Toutefois Ch_2/VS_2 reste supérieur à la consommation kilométrique initiale Ch_1/VS_1 qui était obtenue sans vent.

de ligne et pilotes de planeurs, peuvent être conduits à appliquer les deux mêmes principes précédents, essentiels en cas de vent de face : accélérer face au vent. Les comportements du planeur et de l'avion de ligne, tous deux optimisés pour un rendement maximum (utilisation de l'énergie potentielle pour le planeur, utilisation optimale du carburant pour l'avion de ligne), sont en effet très similaires. L'un et l'autre croisent, ou transitent, à un point unique de leur polaire : celui où la finesse est maximale $f = C_z/C_x$ (ou $V/V_z \text{ maxi}$) pour le planeur, au point où le rapport $C_x/(racine \text{ carrée de } C_z)$ est minimal pour l'avion à turboréacteurs (point de *maxi-range*).

Mais s'il existe bien un point similaire (le point où la finesse est maximale, V_1 sur la **figure 3**), pour l'avion léger de l'aéro-club, on est bien loin de l'utiliser pour déterminer le régime de croisière. Pourtant, sans vent, croisant à V_1 , l'avion

réaliserait la consommation kilométrique la plus faible. Les raisons du non-intérêt de V_1 pour la croisière sont multiples. La principale s'explique par le fait qu'un avion léger qui serait conçu pour croiser à sa finesse maximale ne présenterait aucun intérêt pratique et aucune sécurité. En effet, avec les surfaces et les masses actuelles pour un bi-place ou pour un quadriplace, la finesse maximale se situe entre 130 et 160 km/h, et requiert une puissance de 70 à 120 ch ce qui représenterait un appareil certes économique, mais peu attractif pour le voyage.

On pourrait aussi, occasionnellement, imaginer que l'appareil voyage en utilisant la puissance seulement nécessaire au vol à la vitesse de finesse maximale. Mais il faudrait alors demander au moteur de délivrer de trop faibles puissances (20 ou 30 %) incompatibles avec son bon fonctionnement : vibrations, encrassement, risque de givrage, refroidissement,

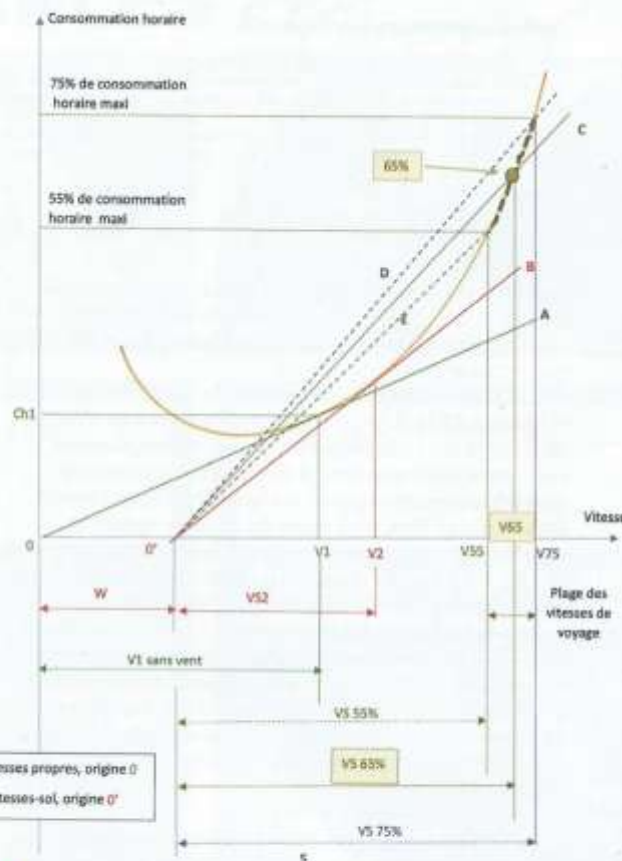


Figure 3. La réalité de l'avion léger de voyage

- Le voyage a lieu généralement entre les vitesses $VS_{55\%}$ et $VS_{75\%}$. Les puissances sont alors bien plus élevées que celle correspondant à la consommation horaire Ch_1 , la puissance de consommation kilométrique minimale.
- Pour Ch_1 , V vaut V_1 , vitesse où la consommation kilométrique est la plus faible ou vitesse de finesse maximale. Elle correspond au rapport C_z/C_x maxi ;
- La consommation kilométrique est donnée par la valeur des pentes, tracées avec ou sans vent, vers les points de fonctionnement :
 - droite A, pente la plus faible, donc consommation kilométrique la plus faible sans vent. Rapport Ch_1/V_1 le plus faible réalisable sans vent. V_1 , vitesse de finesse maximale ;
 - droite B, pente de la consommation kilométrique la plus faible, avec un vent de face de vitesse W . Peu exploitable sur avion léger ;
 - droite C, pente qui indique la consommation kilométrique à la puissance de 65 %, usuelle en voyage ;
 - droite D, pente qui indique la consommation kilométrique à 75 % de la puissance à la vitesse $VS_{75\%}$. Plus forte que la pente de D elle traduit une augmentation de la consommation kilométrique par rapport à la vitesse V - droite E, pente de la consommation kilométrique à 55 %. Plus faible que la pente à 65 %, elle traduit une diminution de la consommation kilométrique donc une augmentation de la distance franchissable après réduction de la vitesse à $V_{55\%}$. Si 55 % est la puissance minimale autorisée par le constructeur du moteur c'est elle qui sera choisie pour obtenir la consommation kilométrique la plus basse.
- La comparaison entre la pente C et la pente E, montrant bien l'intérêt de la réduction de puissance face au vent, est qualitativement semblable sur tous nos avions légers de voyage.
- Dans tous les cas augmenter la puissance face au vent, comme souvent suggéré, est un non-sens car la consommation kilométrique serait plus forte et la distance franchissable plus faible.

SÉCURITÉ

Chiffres constructeurs pour 4 appareils

	SOCATA TB20 à 4000 pieds					
	55%, puissance « éco » 40,1 litres/heure		65%, puissance « éco » 45,8 litres/heure		75%, puissance « éco » 51,9 litres/heure	
	Vs (km/h)	Conso. Kilométrique (litres/100)	Vs (km/h)	Conso. Kilométrique (litres/100)	Vs (km/h)	Conso. Kilométrique (litres/100)
Sans vent	252	15,6	273	16,7	288	18
Vent 20 kt	215	18,6	236	19,4	251	20,7
Vent 30 kt	196	20,4	217	21,1	232	22,3

	Piper PA 28 à 4000 pieds							
	Long range 54,6 litres/heure		Economy 62,45 l/h		Normal 70 l/h		High speed 112 l/h	
	Vs (km/h)	Conso. Kilom. (litres/100)	Vs (km/h)	Conso. Kilom. (l/100)	Vs (km/h)	Conso. Kilom. (l/100)	Vs (km/h)	Conso. Kilom. (l/100)
Sans vent	261	21,0	275	22,7	291	24,0	304	37
Vent 20 kt	224	25,5	238	26,2	254	27,5	267	43
Vent 30 kt	205	26,7	219	28,4	235	29,7	248	45,3

lubrification... D'où la nécessité de retenir pour la croisière seulement les pourcentages de puissance recommandés par le constructeur du moteur, quitte à passer à côté de pourcentages plus économiques.

L'avion classique (Robin DR400, Piper Pa 28, Cessna 172, Socata TB20, APM20...) quadriplace ou biplace n'est donc certes pas optimisé pour la consommation/distance, sans vent ou avec vent, mais il représente un compromis qui a fait ses preuves et, pour quelques litres de carburant consommés en plus, nous assure de décoller, voyager et atterrir en toute sécurité. La plage de ses vitesses de voyage (Figure 3) est bien au-dessus de la plage de ses vitesses de consommation kilométrique minimale, avec ou sans vent (entre V1 et V2 sur la figure 3).

En réduisant la surface de l'aile de façon à la faire travailler à son incidence de finesse maximale aux vitesses de 250 à 300 km/h on arriverait à des voilures de 5 à 8 m². Donc à des appareils peu manœuvrables et à des vitesses de décrochage trop élevées qui pénaliseraient les qualités de vol et l'utilisation des petites pistes en herbe.

2. Justification par les chiffres-constructeur pour quatre appareils : aucun intérêt à accélérer face au vent, mais plutôt toujours choisir la plus petite puissance acceptable pour le moteur pour faire le plus de kilomètres possible avec le carburant restant

Pour les quatre appareils mentionnés dans les tableaux, les chiffres montrent toujours une consommation kilométrique plus faible à la puissance minimale autorisée qu'à des puissances plus élevées.

Plus le vent est fort, plus l'écart s'amenuise. Pour le DR400 et face à un vent de 30 kt on trouve la même consommation kilo-

	ROBIN DR400-120 à 6000 pieds			
	65% 21 litres/heure		75% 25 litres/heure	
	Vs (km/h)	Conso. Kilom. (litres/100)	Vs (km/h)	Conso. Kilom. (l/100)
Sans vent	181	11,6	205	12,2
Vent 20 kt	144	14,6	168	14,9
Vent 30 kt	125	16,8	149	16,8

	APM20 Lionceau, au niveau de la mer			
	Croisière économique 14,5 litres/heure		Croisière rapide 20 litres/heure	
	Vs (km/h)	Conso. Kilom. (litres/100)	Vs (km/h)	Conso. Kilom. (l/100)
Sans vent	175	8,3	210	9,52
Vent 20 kt	138	10,5	173	11,5
Vent 30 kt	119	12,1	154	12,9

métrique à 75 % et à 65 % : 16,8 litres/100 km.

Les calculs démontrent que la tendance s'inverse seulement pour des vents de face très forts. L'inversion ne démarre jamais à moins 35 à 50 % de la vitesse propre de l'avion. C'est seulement au-delà que la consommation kilométrique diminuerait si on augmentait la puissance et la vitesse propre. Mais des vents de 35 à 50 % de la vitesse propre ne sont en général pas compatibles avec la croisière d'un avion léger.

3. Recommandations et conclusions concernant nos avions légers

- Les chiffres du *Manuel de vol* permettent de définir une stratégie face au vent. Pour chaque puissance affichable ou ajustable, il faut chercher la consommation horaire et la vitesse propre correspondante afin d'en déduire la consommation kilométrique ou consommation/distance dans les unités de votre choix.

Exemple : DR400 à 65 %, consommation horaire 21 litres/heure, vitesse propre sans vent 181 km/h. Avec un vent de 30 kt (56 km/h) la vitesse sol de-

vient $181 - 56 = 125$ km/h. La consommation kilométrique vaut $21/125 = 0,168$ l/km ou 16,8 litres/100 km.

Quand vous voyagez, il est toujours utile de définir auparavant une stratégie que vous appliqueriez si vous rencontriez un vent de face :

- quelle puissance est la plus susceptible de me faire parcourir la plus grande distance ?
- quelle sera ma vitesse propre ?
- quelle sera ma vitesse-sol ?
- quelle sera ma consommation/distance ?
- combien reste-t-il dans mes réservoirs ?
- puis-je parvenir à destination ou dois-je dérouter ?
- s'il me reste assez de carburant puis-je voler à une vitesse supérieure, quitte à davantage consommer, de manière à arriver avant la nuit ?
- A noter que la consommation kilométrique est toujours plus faible, même sans vent, en affichant la plus petite puissance autorisée. Ralentir en affichant la puissance minimale autorisée est aussi une bonne technique pour prolonger le vol dans tous les cas de vent, y compris en cas de vent de secteur arrière.
 - Eviter les recettes toutes faites, données par des personnes qui « ont entendu dire que... », mais qui n'ont jamais vérifié ni les chiffres, ni même les tendances.
 - Nous n'avons pas eu le temps de traiter tous les autres cas : montée, descente, vent arrière... Mais les méthodes de calcul restent identiques et nous vous engageons, les jours de mauvaise météo, à les pratiquer et à en discuter avec vos camarades et instructeurs. ●