

Cours de perfectionnement au vol à voile N° 4

« Le vol à finesse max »

Résumé :

20. La polaire des vitesses en air calme
21. La polaire des vitesses en air animé de mouvements verticaux
22. La polaire des vitesses avec vent
23. Comment voler le plus loin ?

20 - La polaire des vitesses en air calme

Définition

La polaire des vitesses est la courbe d'évolution du taux de chute propre du

planeur (V_{zp}) en fonction de sa vitesse indiquée (V_i).

Conditions de validité

Cette polaire n'est valable que pour des conditions bien particulières :

- Configuration donnée (cas des planeurs à envergure variable)
- charge alaire définie
- vol en ligne droite symétrique (inclinaison nulle et facteur de charge = 1)
- absence de générateur de traînée supplémentaire (AF, train, parachute de queue)
- absence d'élément perturbant l'écoulement aérodynamique (moucheron, pluie, déformation de profil)
- vol en air calme
- centrage donné

Exemples de polaire de vitesses

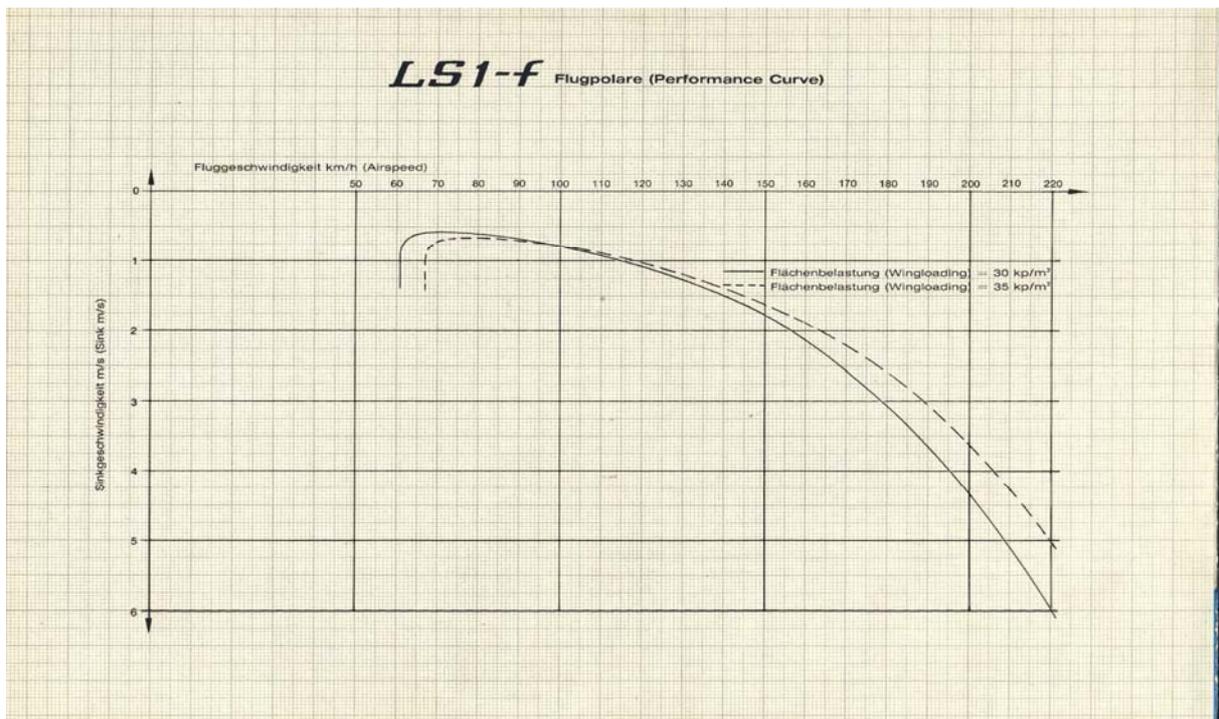


Figure 1 : Polaire des vitesses du LS 1-f à 30 et 35 kg/m²

Pour faciliter la lecture des polaires des vitesses des planeurs on n'utilise pas la même échelle sur les deux axes. L'angle des Vz est

dilaté sinon la courbe serait tellement aplatie qu'elle serait inexploitable. L'angle de plané représenté sur la figure n'est donc pas correct.

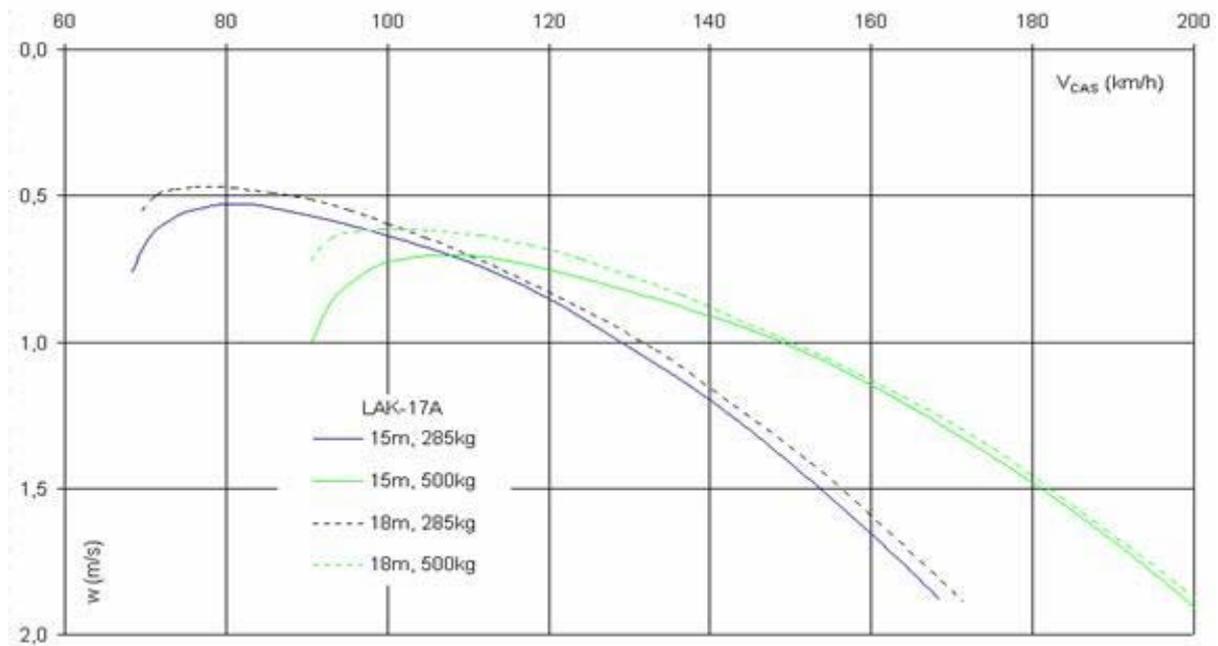


Figure 2 : Polaire du Lak 17A à différentes envergures et charges alaires

Sur la figure ci-dessus on voit apparaître plusieurs polaire pour un même planeur dans plusieurs configurations (envergure ou charge

alaire différente), et l'on voit que les différences de performances peuvent être très importantes



Angle de plané, finesse et pente de trajectoire

L'angle de plané correspond à une pente de trajectoire définie par une V_i et une V_{zp} . Le rapport V_i/V_{zp} donne la finesse du planeur, f . La finesse est donc avant tout un élément d'évaluation de l'angle de plané.

Pour pouvoir faire le calcul de finesse d'un planeur, V_i/V_{zp} , il convient de choisir une unité commune en effet sur les courbes de polaire la V_i est exprimée en km/h et la V_{zp} en m/s. Pour mémoire $1 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h}$.

Exemple de finesse :

Planeur LS 1-f (Figure 1) chargé à 30 kg/m^2 et volant à $V_i = 108 \text{ km/h}$ (30 m/s), nous avons un taux de chute propre du planeur de $0,90 \text{ m/s}$ soit une finesse $f = V_i/V_{zp} = 30/0,90 = 33,3$

Angle de plané :

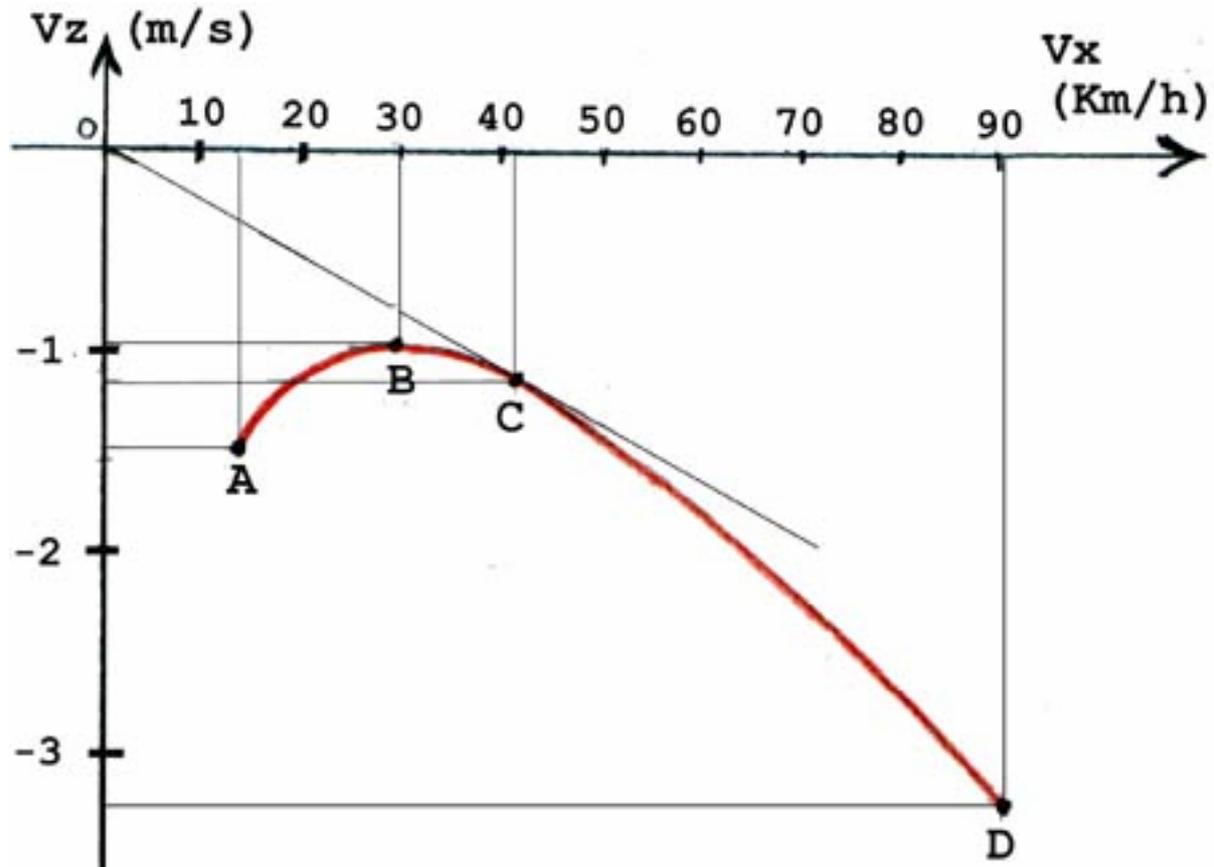
Le chiffre de finesse est la cotangente de l'angle de plané en degré, dans notre exemple $33,3$ est la cotangente de $1^\circ 45'$. Une approximation de l'angle de plané (P) peut être obtenue de la façon suivante $P = 60/f$, dans l'exemple précédent $P = 60/33,3 = 1,8^\circ$ soit $1^\circ 48'$.

Pente de trajectoire :

La pente de trajectoire (P) en pourcentage s'obtient en multipliant la tangente de l'angle de plané par 100, dans notre exemple $\text{tg de } 1^\circ 45' = 0,0305 \Rightarrow P = 0,0305 \times 100 = 3\%$



Points caractéristiques



Exemple de polaire des vitesses d'un deltaplane.

A – Vitesse de décrochage :

C'est le point de démarrage de la courbe et aussi la limite du domaine de vol de la machine, conventionnellement cette vitesse est appelée VS1 (et VS0 en configuration d'atterrissage et à masse maxi), dans l'exemple du deltaplane $VS1 = 14 \text{ km/h}$

B – Vitesse de taux de chute mini :

C'est le point de tangente entre la courbe et une parallèle à l'axe horizontal, dans l'exemple du deltaplane nous avons un taux de chute minimum de 1 m/s à 30 km/h

C – Vitesse de finesse maximum :

C'est le point de tangente de la courbe et d'une droite passant par l'origine du système de coordonnées, dans l'exemple du deltaplane cette vitesse est de 42 km/h . Dans cet exemple le taux de chute de la machine est de $1,2 \text{ m/s}$ soit une finesse de $(42/3,6)/1,2 = 9,7$

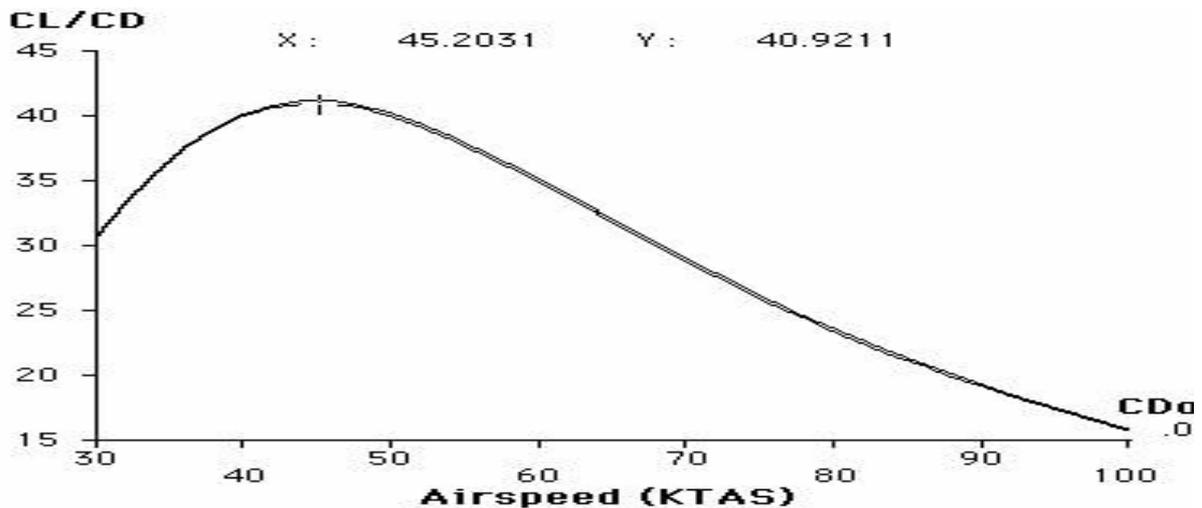
Courbe des finesesses

Suivant la vitesse adoptée, l'angle de plané varie et la finesse du planeur avec lui. Il est possible en calculant plusieurs points d'obtenir une courbe d'évolution de la finesse en fonction de la vitesse.

Il est important de noter qu'à deux vitesses très différentes, une inférieure

et l'autre supérieure à la vitesse de la finesse maximale nous retrouvons la même finesse, et donc le même angle de plané.

Il s'agit bien sur de finesse aérodynamique, ou finesse « air », à l'exclusion de toute influence de la masse d'air.



21 - La polaire des vitesses en air animé de mouvements verticaux

Mouvement vertical descendant

Il est rare que le pilote de planeur se déplace dans une masse d'air calme, mais plutôt dans un environnement où l'air est animé de mouvements verticaux, notamment vers le bas.

Supposons que notre planeur traverse une masse d'air qui descend à 2 m/s. Tout se passera comme si nous étions aux commandes d'une machine beaucoup moins performante qui chuterait 2 m/s de plus.

Une bonne image de la situation est obtenue en descendant la polaire d'une valeur équivalente à la chute de la masse d'air. Une deuxième polaire parallèle à la première est ainsi obtenue.

Sur cette nouvelle polaire on pourra à nouveau déterminer la vitesse de finesse max en traçant la tangente à la courbe passant par l'origine.

Voir schéma 04 page 6 des bases théoriques du vol sur la campagne

Reprenons notre exemple du chapitre précédent, un LS 1-f chargé à 30 kg/m², volant à 108 km/h ($V_i = 30$ m/s) avec un taux de chute propre (V_{zp}) de 0,90 m/s, nous aurons si la masse d'air descend (V_{zw}) à 2 m/s un taux de chute réel de 2,90 m/s et une finesse de $V_i / (V_{vp} + V_{zw}) = 30 / (0,90 + 2,00) = 10,3$ (contre 33,3 en air calme).

Pour continuer à voler à la finesse maximale dans cet air descendant

Courbe et anneau de Mc Cready (méthode de construction)

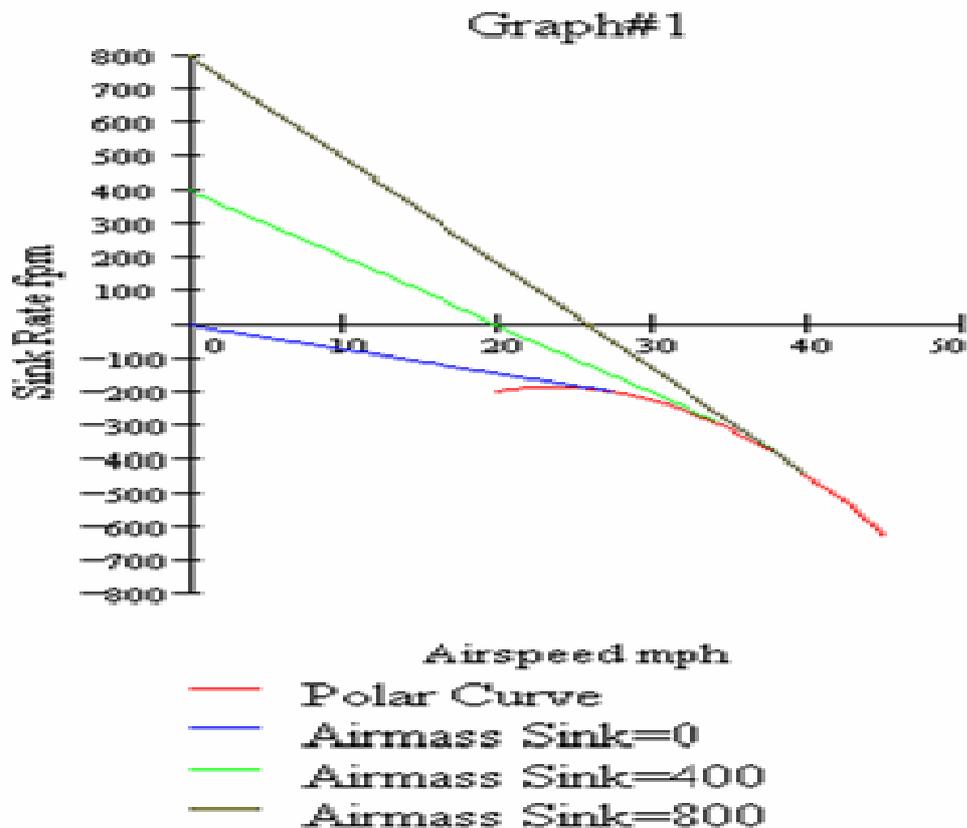
En traçant plusieurs polaires à des intervalles correspondant à différents taux de chute de la masse d'air (-0,5 m/s, -1 m/s, -1,5 m/s et c...) et en déterminant le point de finesse max sur chacune de ces polaires, on peut tracer une courbe passant par tous ces points

appelée courbe de Mac Cready (du nom de son inventeur).

On notera que plus le taux de chute est élevé, plus la vitesse à laquelle on obtient la finesse max est importante et plus l'angle de plané est fort, et par conséquent la finesse est plus faible.

Voir schéma 05 page 6 des bases théoriques du vol sur la campagne

Cette méthode de tracé est fastidieuse, on peut obtenir le même résultat en gardant la même polaire et en décalant le point d'origine vers le haut sur l'axe des Vz de la valeur désirée, et en traçant les tangentes à la courbe en fonction de ces nouvelles origines.



Afin de pouvoir déterminer en vol à quelle vitesse il faut voler pour garder en permanence la meilleure finesse en fonction du taux de chute, Mac Cready a construit une couronne installée autour du variomètre et ou sont

reportée des vitesses en fonction du taux de chute, le zéro étant la vitesse de chute mini et les valeurs à -1 m/s, -2 m/s et c. étant lues sur la courbe de Mac Cready.

Voir schéma 10 page 8 des bases théoriques du vol sur la campagne

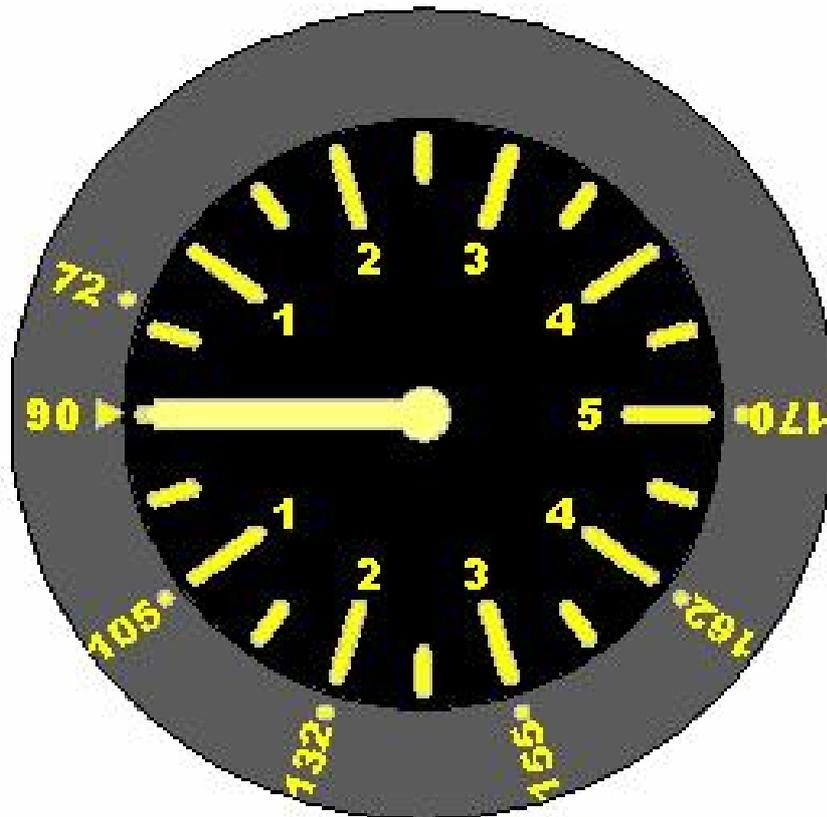
Mouvement vertical ascendant

Il se peut à l'inverse que le planeur traverse en ligne droite des zones ascendantes. Suivant le même raisonnement que dans le cas d'un mouvement descendant, il convient de déplacer la polaire, mais cette fois ci vers le haut, ou encore le point

d'origine mais pour cette fois vers le bas.

Il est à noter que la finesse est infinie à partir du moment où l'ascendance est égale au taux de chute propre du planeur à la vitesse de chute mini.

Voir schéma 07 page 7 des bases théoriques du vol sur la campagne



Exemple de couronne Mc Cready pour un LS1-f chargé à 30 kg/m²

Utilisation du Mc Cready

Le principe est simple, pour voler à la vitesse qui nous permettra de garder la finesse optimale il nous suffit alors de voler à la vitesse lue sur la couronne de Mac Cready calé à zéro, c'est-à-dire avec l'origine des graduations au niveau du zéro, en face de l'aiguille du variomètre.

Mais l'aiguille du variomètre n'arrête pas de bouger ... il convient donc de prendre une nouvelle vitesse (inférieure, ou supérieure selon l'indication de la couronne de Mac Cready), mais il faut tenir compte de l'inertie du planeur à prendre sa

vitesse, le pilote agira donc comme il l'a appris dans la formation de base, préaffichage de l'assiette qui correspond à la vitesse souhaitée et attente de la stabilisation de la vitesse.

Il convient que le variomètre sur lequel est installée la couronne du Mc Cready soit bien compensé et n'indique que la valeur de la masse d'air, en effet si ce n'était pas le cas, la vitesse de chute propre augmentant avec la vitesse le pilote se verrait dans l'obligation de toujours accélérer pour tenter de suivre les indications de l'instrument.

22 - La polaire des vitesses avec vent

La couronne de Mac Cready donne la vitesse à laquelle il faut voler pour obtenir la meilleure finesse par rapport à la masse d'air dans laquelle on se déplace. Supposons maintenant que le pilote du planeur souhaite tirer la meilleure finesse par rapport au sol, et qu'il y ait du vent, quelle vitesse doit-il alors adopter ?



Par vent de face

Si le vent est de face la vitesse sol diminue par rapport à la vitesse indiquée, la véritable origine de la polaire s'en trouve donc décalée, et si l'on retrace la tangente à la courbe à partir de cette nouvelle origine on obtient la vitesse à laquelle il convient de voler pour avoir la meilleure finesse sol.

Si l'on prolonge maintenant cette tangente jusque sur l'axe des V_z , le point de rencontre de ces deux droites, nous donnera une valeur que nous appellerons l'équivalent vent, c'est-à-dire les mêmes valeurs de finesse qu'une masse d'air qui chuterait à la valeur indiquée au point de rencontre des deux droites

Voir schéma 11 page 9 des bases théoriques du vol sur la campagne

Pour voler à la vitesse de finesse max avec du vent de face il faudra alors décaler la couronne de Mc Cready vers

le haut et amener l'origine des valeurs de vitesse en face la valeur de l'équivalent vent.

Voir schéma 12 page 9 des bases théoriques du vol sur la campagne

Par vent arrière

Dans le cas inverse de vent arrière, la vitesse sol augment par rapport à la vitesse indiquée, et la véritable origine de la polaire s'en trouvera également décalée mais en sens inverse du cas de vent de face.

Les valeurs d'équivalents vent sont beaucoup plus faibles que dans le cas du vent de face, aussi le pilote du planeur conservera le calage de la couronne Mac Cready sur 0.

Tableau simplifié des équivalents vent

Equivalent vent	Finesse < 35	35 < finesse < 45	Finesse > 45
0,5 m/s	30 km/h	40 km/h	50 km/h
1 m/s	50 km/h	60 km/h	70 km/h
2 m/s	70 km/h	80 km/h	90 km/h

23 – Comment voler le plus loin ?

Nous avons vu maintenant tous les cas de vol à finesse max :

- sans vent => calage de la couronne de Mac Cready à 0
- avec vent arrière => calage de la couronne de Mac Cready à 0
- avec du vent de face => calage de la couronne du Mac Cready à l'équivalent vent.

Ce régime de vol, qui permet de voler plus loin possible, est un choix délibéré du pilote de planeur, il en existe d'autres, qui sont utilisés par les pilotes de performance et qui permettent d'obtenir des vitesses moyennes plus élevées sur un même parcours.

Si le vol à finesse max peut être comparé une conduite économique, le vol rapide correspond à une conduite sportive qui peut être envisagé lorsque l'énergie (les ascendances) est suffisante.