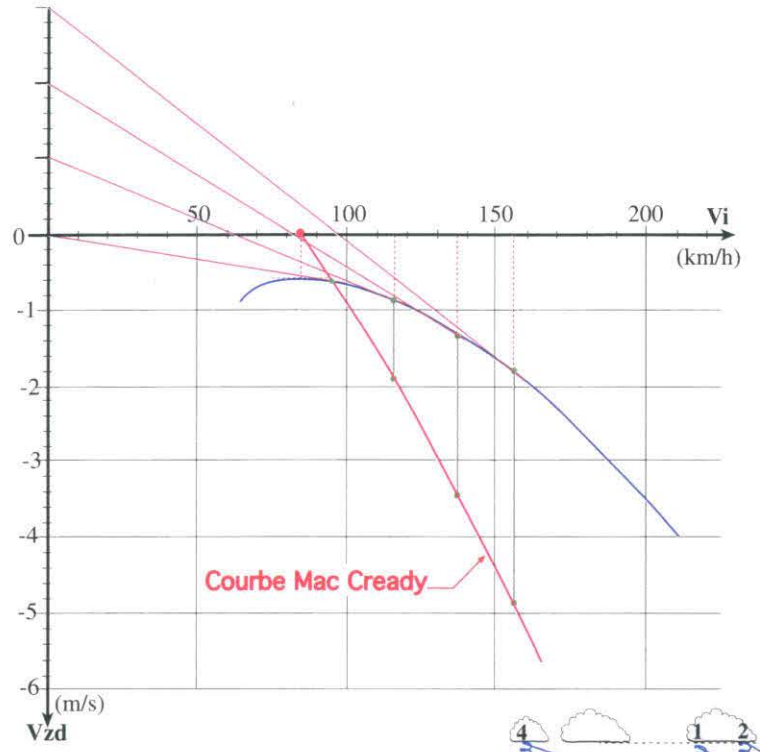
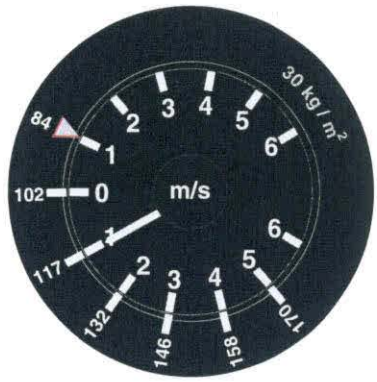
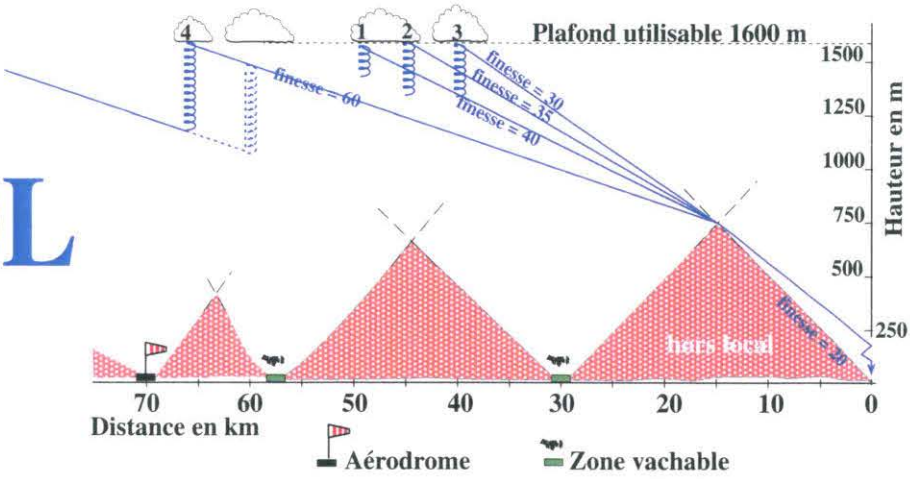
CENTRE NATIONAL
DE VOL À VOILE DE St AUBAN

BASES THEORIQUES





DU VOL



SUR LA CAMPAGNE

I - VOL A FINESSE MAX

L'objectif du vol à finesse max. est d'utiliser l'autonomie maximale du planeur dans les transitions. C'est à dire que cela revient, si l'on raisonne en termes de consommation d'énergie, à voler suivant un régime économique.
Le Vélivole peut adopter cette tactique de vol **soit pour ne perdre que le minimum d'altitude entre deux zones ascendantes, soit pour parcourir la plus grande distance possible** sans exploiter d'ascendance, compte tenu de la hauteur/sol dont il dispose et des conditions qu'il rencontre.
Les renseignements qui lui sont nécessaires pour respecter ce choix lui sont fournis par la polaire des vitesses du planeur employé.

1. POLAIRE DES VITESSES EN AIR CALME

1.1. Définition

La polaire des vitesses est la courbe d'évolution du taux de chute propre du planeur (Vzp) en fonction de sa vitesse indiquée (Vi).

1.2. Conditions de validité

Cette polaire n'est valable, en l'état, que dans des conditions très particulières :

- charge alaire définie $\left(\frac{P}{S} = 30 kg/m^2 \text{ par ex.}\right)$
- vol en ligne droite symétrique (inclinaison nulle et facteur de charge égal à 1) .
- Absence d'éléments générateurs de traînée supplémentaire (AF, train et parachute de queue rentrés) ou perturbant l'écoulement aérodynamique (planeur propre, sec et en bon état).
- Vol en air calme (pas de mouvements verticaux de la masse d'air : Vzw = 0).
- Centrage donné.

1.3. Exemple de polaire de vitesses

Voici la polaire des vitesses d'un planeur de classe standard. $\frac{P}{S} = 30 kg / m^2$

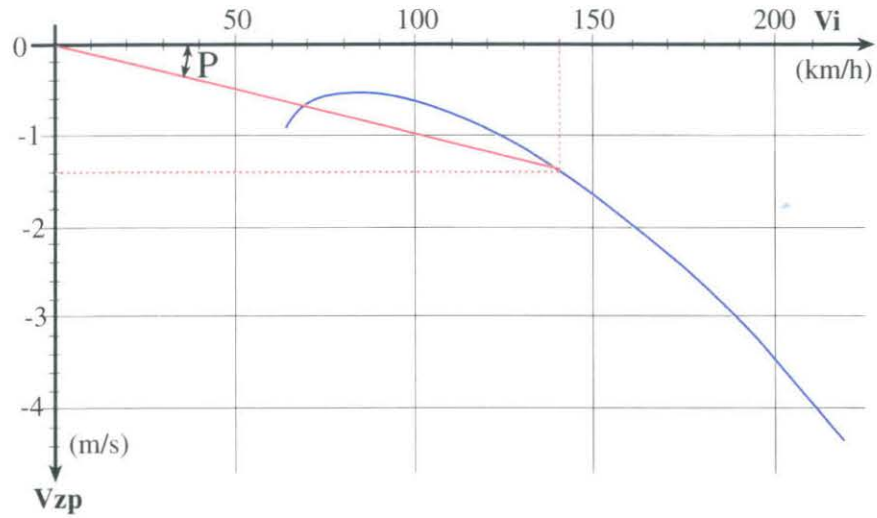


Figure 01

Si le pilote adopte, en air calme, une vitesse de 140 km/h, il pourra lire au vario un taux de chute propre (Vzp) égal à -1,4 m/s.

L'angle de plané obtenu pendant cette phase du vol est figuré par l'angle "P", compris entre la droite OA et l'axe horizontal (axe des Vi).

Remarque importante sur les conditions de tracé :
Pour faciliter la lecture de la polaire des vitesses, on n'a pas utilisé la même échelle sur les deux axes. L'axe des Vz a été dilaté. Sans cela, la polaire aurait été une courbe beaucoup trop aplatie pour être exploitable. **L'angle de plané P représenté sur la figure n'est pas correct**, l'angle de plané réel doit être évalué en fonction des autres données. Cette remarque est valable pour toutes les polaires de l'ouvrage.

1.4. Angle de plané, finesse, pente de trajectoire

La figure 01 montre bien qu'à l'angle "P" correspond une pente de trajectoire définie par une Vi et une Vzp. Le rapport $\frac{Vi}{Vzp}$ donne la finesse du planeur, f.

La finesse est donc avant tout un élément d'évaluation de l'angle de plané.

Dans l'exemple choisi, le planeur a une finesse de : $f = \frac{Vi}{Vzp} = \frac{38,9\ m/s}{1,4\ m/s} = 27$

$Vi = 140km/h = 38,9m/s$

$Vzp = 1,4m/s$

Une approximation de la valeur de l'angle "p" peut alors être obtenue de la façon suivante : $P = \frac{60}{f}$ Dans ce cas, $P \approx 2°$

Plus la finesse est grande, plus l'angle de plané est faible (et intéressant pour le vélivole).
A titre de comparaison, l'angle de plané d'un planeur bois et toile tel que le WA 21 est de l'ordre de 4° et celui du Nimbus III de 1° seulement. Sur la route, un panneau indicateur "pente à 10% " signale un angle de descente de 6° environ.

1.5. Points caractéristiques

a) Vitesse de décrochage
Elle est une limite du domaine de vol.
Conventionnellement, cette vitesse est appelée VS1 (VS0 en configuration atterrissage et à masse maxi).
Ex :. Point 1 : VS1 = 64 km/h.

b) Taux de chute mini.
C'est en ce point-là (2) (point de tangence entre la polaire et une parallèle à l'axe horizontal) que le taux de chute est le plus faible possible. Il y correspond la vitesse de taux de chute mini. Toute autre vitesse, inférieure ou supérieure, amène un taux de chute plus fort.

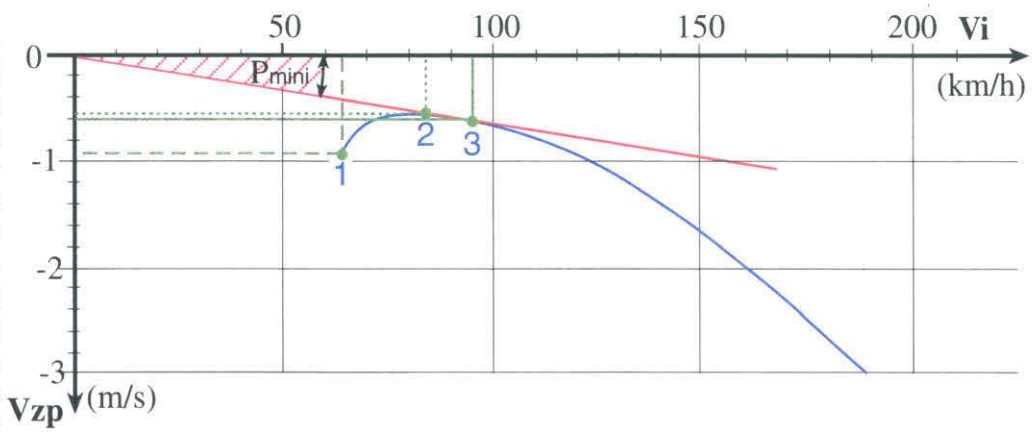


Figure 02

Ex .: Point 2 : Vzp = 0,58 m/s à Vi = 83 km/h.

Remarque :
La plage des vitesses comprises entre VS1 et la vitesse de taux de chute mini. est appelée la plage de vol aux grands angles.

c) Finesse maximale
C'est le point pour lequel l'angle de plané est le plus petit possible. Et l'angle "p" est minimal lorsque la droite passant par 0 tangente la polaire. Le point de tangence correspond à une Vi et une Vzp dont le rapport $\frac{Vi}{Vzp}$ est le plus grand possible.

Ex.: Point 3 : $\left.\begin{array}{l} -Vi = 94km/h = 26,1m/s \\ Vzp = 0,63m/s \end{array}\right\} f = \frac{26,1}{0,63} = 41,5$

1.6. Courbe des finesses

Suivant la vitesse adoptée, l'angle de plané varie et donc la finesse aussi. Il est possible en calculant plusieurs valeurs d'obtenir une courbe continue d'évolution de la finesse en fonction de la vitesse Vi. Pour cela, une graduation verticale est adjointe à droite de la figure 03.

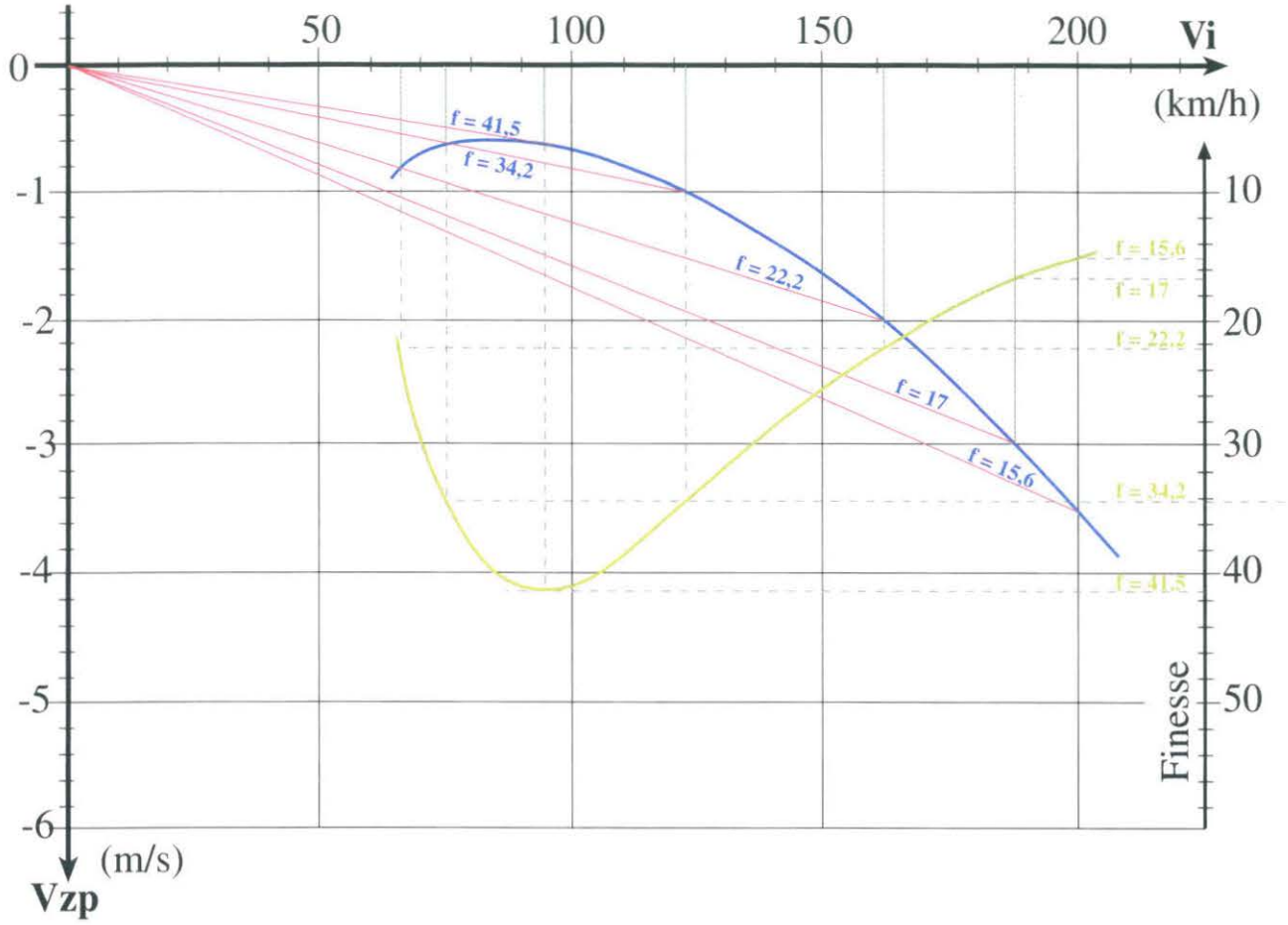


figure 03 - Polaire des vitesses et courbe des finesses

Il est important de noter qu'à deux vitesses très différentes, une inférieure et une supérieure à la Vi de finesse max., peut correspondre un seul et même angle de plané et donc une finesse identique.

NOTE :
Pour être tout à fait rigoureux, il serait bon de préciser qu'il s'agit de la "finesse aérodynamique" dont la définition se réfère aux paramètres aérodynamiques et mécaniques du vol du planeur, à l'exclusion de toute influence de la masse d'air. La finesse en question vaut alors : $fa = \frac{Rz}{Rx} = \frac{Cz}{Cx} = ctga^{(1)}$ et ne doit pas être confondue avec la finesse effective (fe) qui permet de tenir compte du vent et des mouvements verticaux de la masse d'air : $fe = \frac{D}{H}$

Cependant, autant de rigueur ne paraît pas indispensable si on considère pour la suite que la finesse prise en compte est toujours la finesse effective, parfois égale à la finesse aérodynamique. On parlera également souvent de finesse air ou de finesse sol (fe).
(1) a : angle d'incidence du planeur, voir cours de mécanique du vol.

2. POLAIRE DES VITESSES EN AIR ANIME DE MOUVEMENTS VERTICAUX

2.1. Mouvement vertical descendant

Généralement, le vélivole ne se déplace pas en air calme, mais rencontre des masses d'air qui se déplacent verticalement et notamment vers le bas.
Supposons qu'avec le même planeur que dans les exemples précédents il traverse une zone où la masse d'air chute à -2 m/s. Tout se passera alors comme s'il se trouvait soudain aux commandes d'un planeur beaucoup moins performant, qui, à chaque vitesse, chuterait de deux mètres/secondes plus vite. Une bonne image de la situation est donnée, par conséquent, en descendant la polaire d'une valeur équivalente au taux de chute de la masse d'air (Vzw)-. Une deuxième polaire, parallèle à la première, est ainsi obtenue.

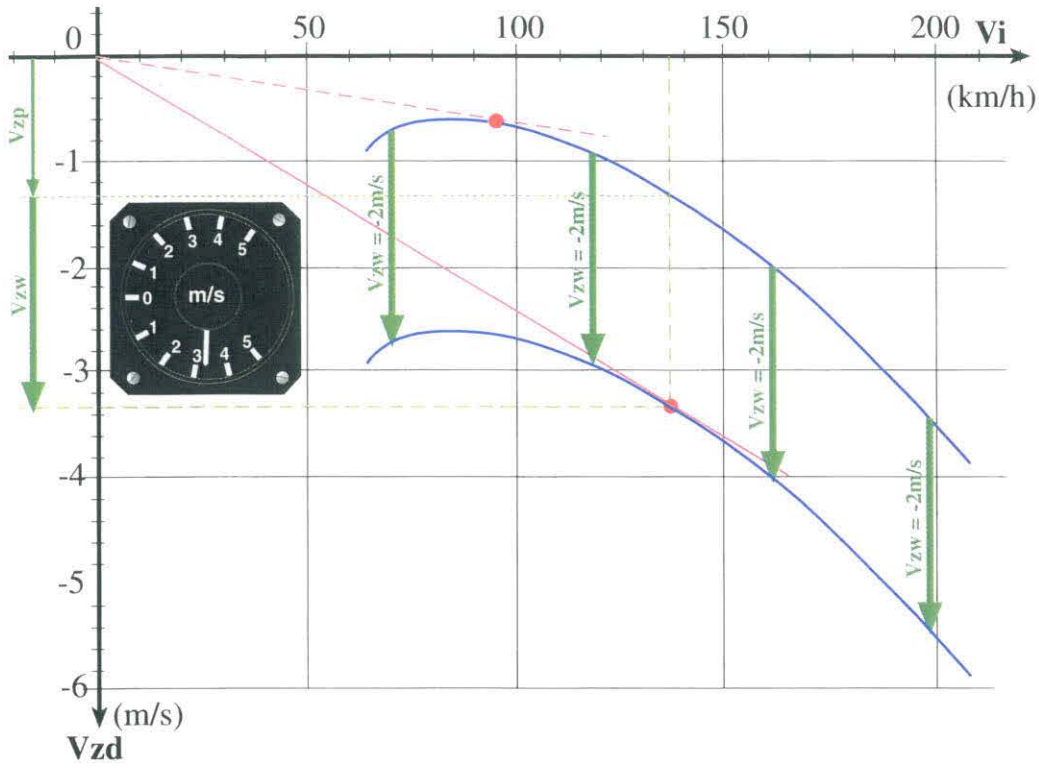


figure 04

Sur cette nouvelle polaire, un nouveau point de finesse maximale doit être recherché. Le plus faible angle de plané est trouvé selon le même procédé (tangente à la polaire) et le point de tangence nous donne la vitesse de finesse max. dans ce cas ainsi que le taux de chute correspondant.

Attention : il ne s'agit plus du taux de chute propre du planeur (Vzp), mais du taux de chute lu au vario (Vzd), égal à la somme : Vzd = Vzp + Vzw.

Il est dorénavant possible de calculer la nouvelle finesse du planeur :

$Vzp = -1,3 m/s \quad \{Vi = 137 km/h \Rightarrow 38 m/s \qquad Vzw = -2 m/s \quad \{Vzd = 3,3 m/s \qquad f = \frac{38 m/s}{3,3 m/s} = 11,5$

On remarque une forte augmentation de l'angle de plané, donc une diminution de la finesse mais obtenue à une vitesse plus importante.

Le principe du déplacement vers le bas de la polaire des vitesses peut être généralisé par plusieurs valeurs négatives différentes de Vzw. On obtient alors une famille de polaires parallèles décalées vers le bas ainsi qu'une famille de points de tangence avec des droites toutes issues de l'origine.

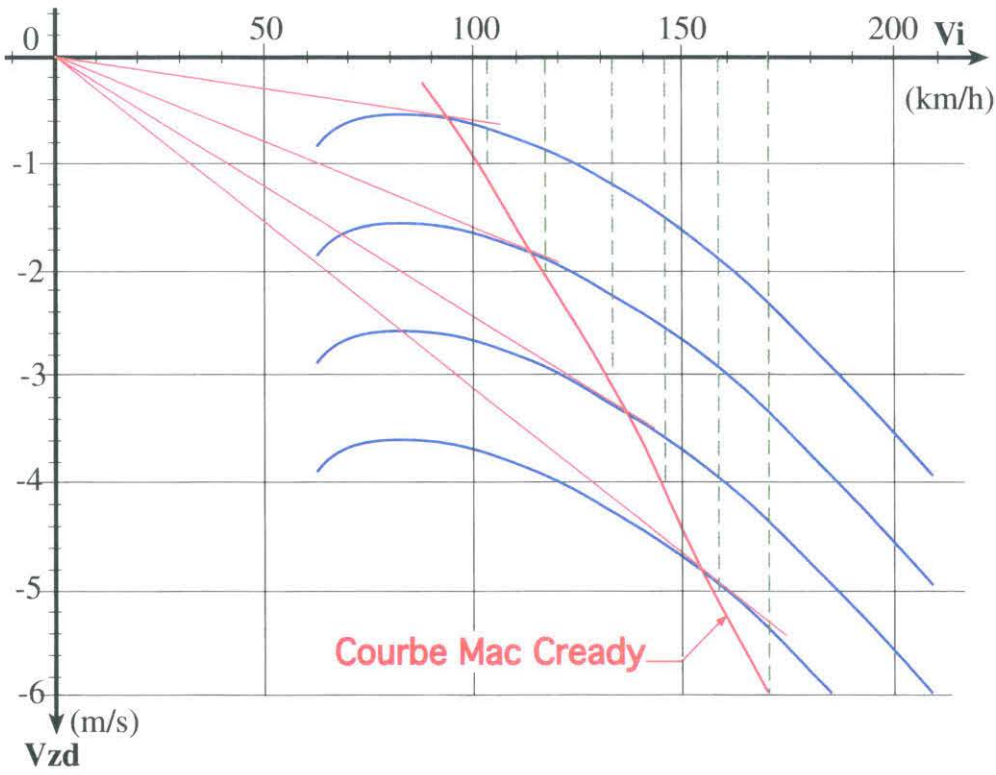


Figure 05

2.2. Courbe et anneau Mac Cready

Figure 06

Cette famille de points constitue la courbe Mac Cready (du nom de son inventeur). Elle se définit donc comme la courbe d'évolution de la Vi de finesse max. en fonction du taux de chute lu au vario. Dès l'instant où cette courbe est tracée, c'est elle et elle seule qui permet de choisir la vitesse à adopter pour voler à finesse max.

Ex. Vzd = -2 m/s
Vi = 117 km/h.

Cependant, le vélivole ne saurait utiliser un tel dispositif en l'air. Pour obtenir, à tout moment, cette information, il transcrit sur une couronne cerclant son variomètre les valeurs de la Vi de finesse max. correspondant aux valeurs de taux de chute indiquées. Le montage est appelé anneau Mac Cready (ou couronne des vitesses).
Voici celui qui correspond à l'exemple choisi sur la figure n°5.
Ex. pour cette indication au vario, il faudra voler à 117 km/h.

2.3. Mouvement vertical ascendant

Il se peut, à l'inverse, que le vélivole traverse en ligne droite des zones faiblement ou même fortement ascendantes. Suivant le même raisonnement que dans le cas du mouvement descendant, il convient alors de déplacer la polaire, cette fois-ci vers le haut.

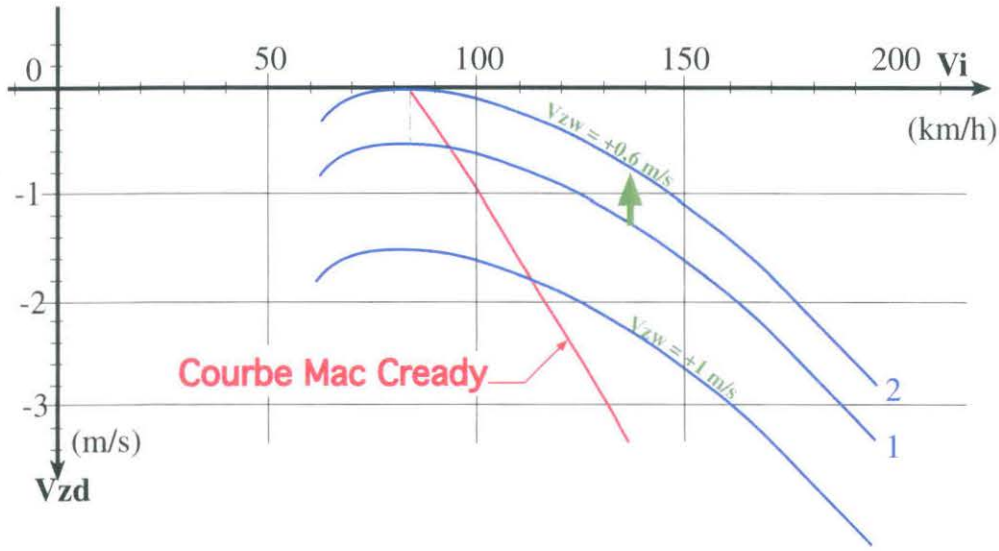


Figure 07

✻ Supposons que le planeur pénètre dans une zone faiblement ascendante, de telle sorte que la Vzw équilibre exactement la Vzp mini. du planeur. La polaire se colle alors sous l'axe horizontal et le point de tangence "A" déterminant la vitesse de finesse max. à adopter, désigne dans ce cas, la vitesse de chute mini. C'est cette valeur qui sera donc inscrite sur l'anneau Mac Cready face au zéro du vario. A noter que dans ces conditions, la finesse du planeur est infinie puisque le taux de chute est nul et l'angle de plané aussi.

Figure 08

Exemple :

- Polaire n° 1 - Air calme Vzw = 0 m/s Vzp mini. = -0,6 m/s = Vzd
- Polaire n° 2 - Air ascendant Vzw = +0,6 m/s
  Vi de finesse max. = Vi de chute mini
  Vzp = 0,6 m/s
  Vz lue au vario = 0 m/s (Vzd).

2.4. Utilisation pratique du Mac Cready

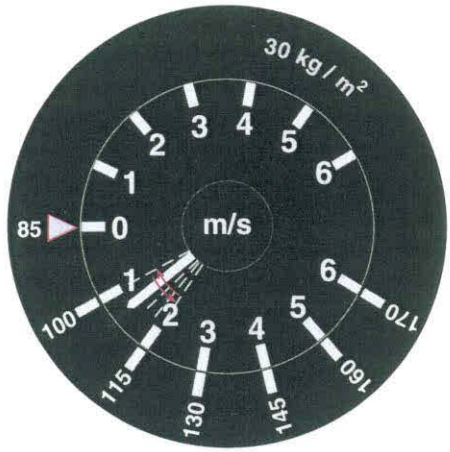


Figure 09

✻ L'anneau Mac Cready est maintenant gradué. Reste à l'utiliser judicieusement. Le principe est simple : le pilote adopte la vitesse nécessaire en modifiant l'assiette pour équilibrer les indications de la couronne des vitesses et de l'anémomètre. Mais il faut tenir compte de l'inertie du planeur à prendre sa nouvelle vitesse. La vitesse sera ensuite ajustée avec l'anneau Mac Cready par une nouvelle et faible variation d'assiette (si nécessaire).

Il serait vain cependant de rechercher dans cette manœuvre une précision outrancière qui présente beaucoup de difficultés et peu d'intérêt. La mobilité très variable des masses d'air traversées à peu d'intervalle, les turbulences éventuelles font subir à l'aiguille du vario des oscillations plus ou moins rapides. Ce sont donc seulement les tendances ou les indications moyennes du vario qui peuvent et doivent être suivies, avec une approximation raisonnable de la vitesse (±5 km/h).

C'est aussi pour cette raison que les couronnes des vitesses sont souvent graduées en chiffres arrondis.

Exemple :Dans ce cas, le pilote adopte et garde une vitesse indiquée d'environ 110 km/h.

✻ Plus grave est l'erreur communément appelée "Course au Mac Cready" qui a pu mettre certains débutants dans l'embarras ou même dans des situations dangereuses, ce qui est un comble... Elle est due à une trop grande précipitation dans le changement de régime de vol qui empêche les indications du Mac Cready et de l'anémomètre de s'équilibrer. De sorte que le taux de chute au vario a toujours un temps d'avance sur la vitesse indiquée, toujours inférieure à l'indication du Mac Cready. Et le pilote pousse son planeur dans une trajectoire plongeante. Afin d'éviter cette erreur, il convient de stabiliser soigneusement la vitesse, après chaque changement d'assiette, à l'aide des repères extérieurs, avant de contrôler de nouveau la correspondance Mac Cready-anémonètre. Une légère correction supplémentaire est parfois nécessaire et, si elle est effectuée avec le même soin, suffisante. On peut également anticiper légèrement la nouvelle vitesse à adopter liée à la variation de Vzp.

En procédant de cette façon, le Mac Cready est un bon instrument, pour qui évite de voler les yeux rivés au tableau de bord.

Exemple : si le vario passe à -2,5 m/s alors que je suis encore à 105 km/h, j'adopte tout de suite l'assiette correspondant à 130 km/h.

2.5. Autre façon de construire le Mac Cready

Il existe une méthode simple qui évite de décaler la polaire et facilite une construction précise de la courbe Mac Cready. Mais il faut pour cela avoir bien assimilé ce qui précède.

Plutôt que de déplacer la polaire, il est bien plus pratique de déplacer l'axe horizontal et l'origine vers le haut, pour une valeur négative de Vzw, ou vers le bas pour une valeur positive de Vzw. Chaque fois, la tangente à la polaire détermine un point d'utilisation à finesse max. différent. Ces points, par contre, se trouvent tous rassemblés sur la polaire. Il convient, ensuite, pour obtenir la courbe Mac Cready de les décaler vers le haut ou vers le bas d'une valeur égale à la Vzw qui a permis de les déterminer. Il est évident que la courbe Mac Cready obtenue est identique à la précédente.

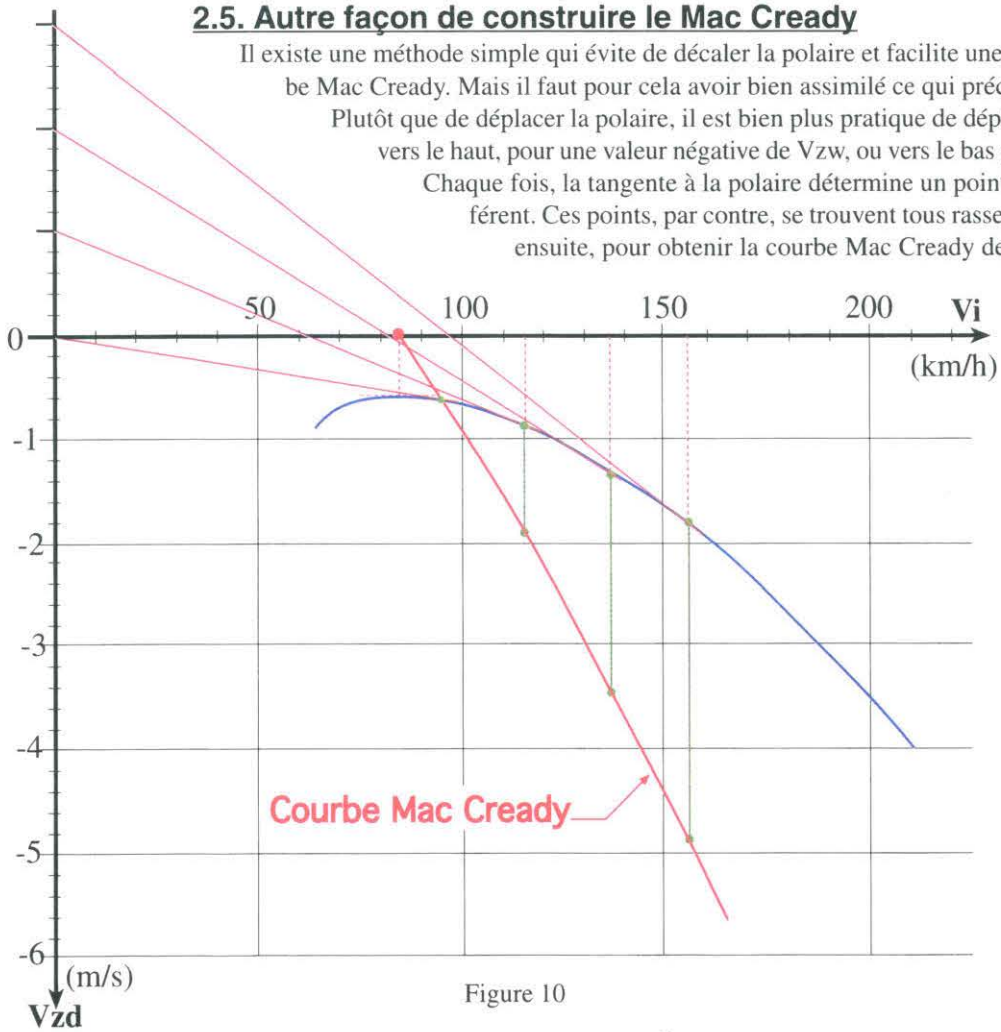


Figure 10

Exemple :

- Le point de finesse max. en air calme reste sur la polaire puisque Vzw = 0
- Le point de finesse max. quand Vzw = +0,6 m/s = Vzp remonte sur l'axe horizontal
- Le point de finesse max. quand Vzw = -2 m/s descend à -3,3 m/s puisque Vzp = -1,3 m/s.

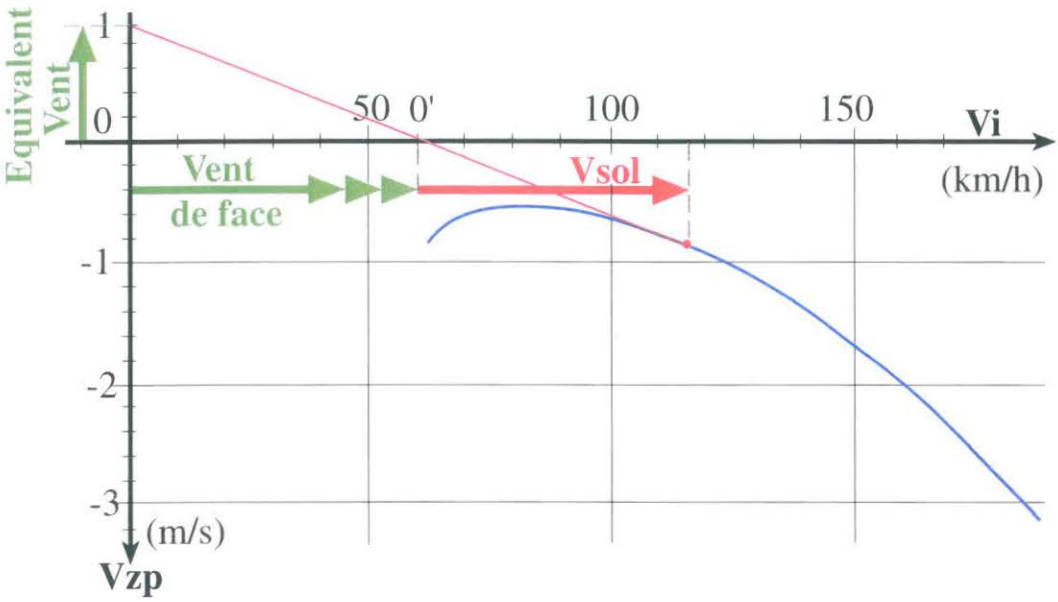
3. POLAIRE DES VITESSES AVEC VENT

3.1. Cas du vent de face

Supposons maintenant que le pilote veuille amener son planeur à finesse max. au-dessus d'un point précis au sol, par vent fort. Quelle vitesse doit-il adopter ?

Si le vent est de face, l'axe vertical est déplacé vers la polaire puisque la vitesse/sol diminue (voir figure ci-après). De la nouvelle origine 0' est issue une tangente à la polaire qui détermine le point d'utilisation à finesse max. en air calme.

Dans l'exemple choisi, la Vi de finesse max. est de 115 km/h en air calme, pour un vent de face de 60 km/h. La vitesse sol est donc de 55 km/h et le taux de chute de 0,8 m/s. La finesse est égale à : $Vsol = 55km/h = 15,3m/s \quad f = \frac{15,3}{0,8} = 19$



Si nous comparons cette figure avec la figure n°5 où était recherchée la finesse max. pour un taux de chute masse d'air - 1 m/s sans vent, nous retrouvons les mêmes valeurs pour la Vi et la finesse. Le taux de chute n'est pas le même, mais l'angle de plané est identique. Ceci est facilement vérifiable sur la figure n°11 en prolongeant la tangente de 0' vers l'axe vertical, quelle coupe sur la valeur de +1 m/s.

Figure 11

Reportons-nous à l'anneau Mac Cready pour en voir l'utilité. Sa graduation faisait correspondre 117 km/h à -2 m/s. Dans le cas présent, la correspondance devrait être 115 km/h pour -0,8 m/s. En décalant l'anneau vers le haut, d'un cran, nous affichons les deux valeurs ensemble. L'index du Mac Cready est calé sur l'équivalent-vent : +1 m/s.

En toute rigueur, ce système est seulement valable pour une masse d'air en simple déplacement horizontal, sans mouvements verticaux. Si le planeur rencontre des taux de chute masse d'air, la vitesse indiquée par l'anneau Mac Cready est inférieure à la vitesse idéale que devrait respecter le pilote.

Figure 12

3.2. Cas du vent arrière

Dans le cas inverse du vent dans le dos, pour arriver à finesse max. sur un point donné, le pilote pourra-t-il utiliser le même principe ?

L'axe vertical, cette fois-ci, est éloigné de la polaire d'une valeur égale à la force du vent.

De la nouvelle origine "0", est issue une tangente qui détermine le point d'utilisation à finesse max. en air calme. (Voir figure n°13).

Dans l'exemple choisi, la Vi de finesse max. est de 88 km/h pour un vent arrière de 60 km/h. La vitesse/sol est de 148 km/h, le taux de chute de 0,6 m/s seulement. La finesse s'en trouve considérablement augmentée :

$$f = \frac{Vsol}{Vzp} \approx 68,5 \quad (148km/h = 41,1m/s)$$

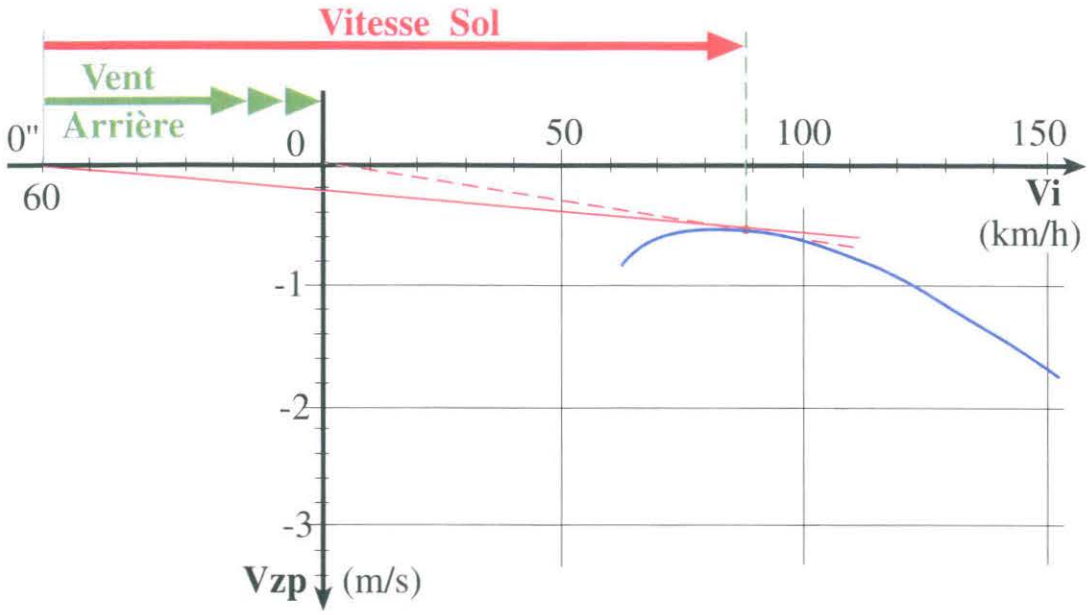


Figure 13

L'équivalent-vent est de -0,2 m/s environ. Il faudrait donc caler le Mac Cready à -0,2 m/s. Mais cela modifierait les indications de façon négligeable. C'est pourquoi, le calage à zéro sera maintenu, dans les transitions vent-arrière à finesse max.

3.3 Tableau simplifié des équivalents vent

Equivalent vent	f ≤ 35	35 < f < 45	f ≥ 45
0,5	30	40	50
1	50	60	70
2	70	80	90
	Vent effectif de face en km/h		

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

- Sans vent : calage du Mac Cready à zéro ;
- Avec vent arrière : calage à zéro ;
- Avec vent de face : calage à l'équivalent-vent si on vole vers un repère fixe par rapport au sol, sinon il faut caler à zéro.

Rappelons que ce régime de vol est un choix délibéré du pilote et qu'il en est d'autres, par conséquent, qui présentent d'autres avantages pour la réalisation d'un circuit. Si le vol à finesse max. est comparable à une conduite économique, un vol rapide correspondant à une conduite plus sportive, est envisageable lorsque l'énergie disponible (les ascendances pour un planeur) le permettent.

CHAPITRE I

✺

A RETENIR

1. La "polaire des vitesses" est la courbe d'évolution du taux de chute propre du planeur (Vzp) en fonction de sa vitesse indiquée (Vi).

2. Conditions de validité de la polaire des vitesses :
   - Charge alaire définie
   - Vol en ligne droite symétrique
   - Absence d'éléments générateurs de traînée supplémentaire
   - Vol en air calme
   - Centrage optimal
   - Planeur propre et sec.

3. L'angle de plané est *figuré* (mais non réel), sur la polaire, par l'angle P, compris entre la trajectoire et l'horizontale.

4. La finesse est avant tout un élément d'évaluation de l'angle de plané. Plus elle est grande, plus l'angle de plané est petit.

5. Points caractéristiques :
   - Vi de décrochage
   - Taux de chute mini.
   - Finesse maximale.

6. La courbe Mac Cready se définit comme la courbe d'évolution de la Vi de finesse max. en fonction du taux de chute lu au vario.

7. La Vi de chute mini. est inscrite face à l'index de l'anneau Mac Cready placé sur le 0 du vario pour le vol à finesse max.

8. L'erreur communément appelée "Course au Mac Cready" est due à une trop grande précipitation dans le changement de vitesse de vol.

9. En air calme, pour un vent de face de 60 km/h ou bien pour un taux de chute masse d'air de -1 m/ sans vent, l'angle de plané est identique (pour un planeur dont la finesse max. est supérieure à 35). Pour le vol à finesse max. face au vent, l'index du Mac Cready doit donc être calé sur l'équivalent-vent.

10. Les transitions vent -arrière à finesse max. se font avec le Mac Cready calé à 0.

11. Le vol à finesse max. est un régime de vol délibérément choisi par le pilote, parmi d'autres possibilités. C'est le vol qui offre la plus grande autonomie, qui permet soit d'aller le plus loin possible, soit d'arriver le plus haut sur un point déterminé.

EXERCICES SE RAPPORTANT AU CHAPITRE I

Vous trouverez sur la figure suivante la polaire des vitesses d'un autre planeur :

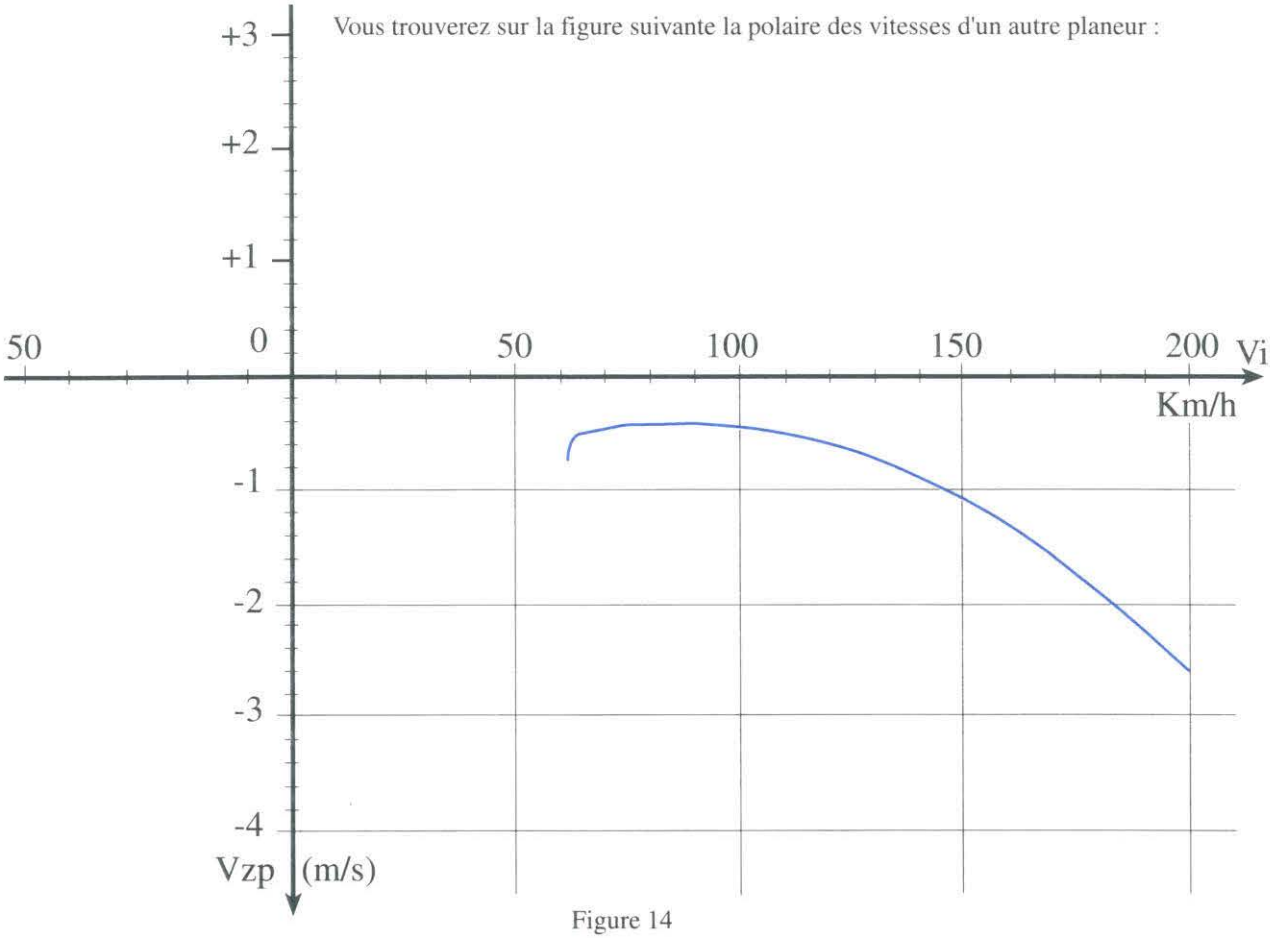


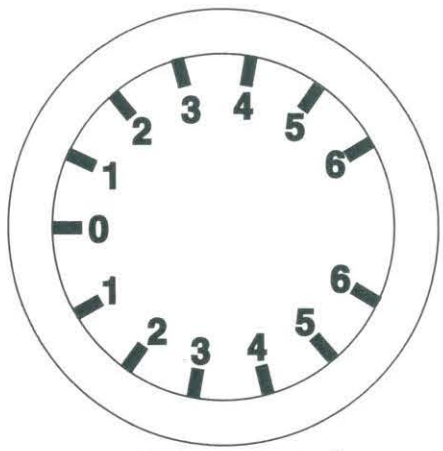
Figure 14

❑ Quelles sont :
- la VS1.....km/h
- la Vi de chute mini. ? Vi = ...km/h
- la Vzp mini. ? Vzp = ...m/s

❑ La finesse max. de ce planeur est de ? f = ...
ce qui correspond à un angle de plané de ? P = ...°

❑ Si le planeur traverse une masse d'air chutant à 1 m/s (sans vent),
- quelle sera la vitesse de finesse max. à adopter ? Vi = ...km/h
- quel sera le taux de chute propre du planeur ? Vzp = ...m/s
- quel sera le taux de chute lu au vario ? Vzd = ...m/s
- quelle sera la finesse effective f = ...

❑ Tracez la courbe MC et graduez l'anneau correspondant.



P/S = 31 kg/m^2

❑ Vous essayez de rejoindre votre terrain de départ (sans espoir de trouver d'ascendances) avec 70 km/h de vent de face, quels seront :
- le calage Mac Cready ? .....
- la vitesse de transition adoptée ? Vi = ...km/h
- la finesse max. envisageable ? f = ...

❑ Renonçant à cette possibilité, vous comptez rejoindre un autre aérodrome, sous le vent de votre position actuelle, quels sont :
- le calage Mac Cready ? .....
- la vitesse de transition adoptée ? Vi = ...km/h
- la finesse max. envisageable ? f = ...

II - VOL DE CROISIERE

Avant de pouvoir comparer le régime de vol à finesse max. (que nous connaissons bien dorénavant) à d'autres régimes de vol, il nous faut évaluer le bilan d'un vol. Ce bilan, pour un voyage aérien, comme pour tout autre déplacement, se fait grâce à l'appréciation de la vitesse de croisière, sur une partie ou sur l'ensemble d'un circuit.
Lorsque nous saurons calculer la vitesse de croisière (Vcr), nous connaîtrons les différents éléments dont elle dépend, en particulier les facteurs sur lesquels peut intervenir le vélivole. Nous pourrons donc, alors, comparer l'importance de ces éléments afin d'améliorer la vitesse de croisière.

1. NOTION DE VITESSE DE CROISIERE

1.1. Définition

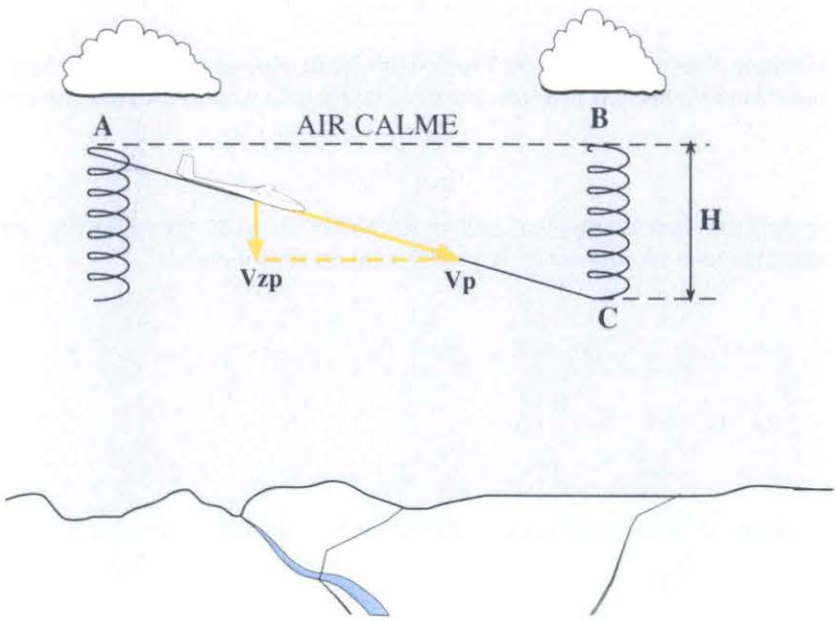


Figure 15

La vitesse de croisière (Vcr) est une vitesse moyenne réalisée sur un circuit donné ou une portion de ce circuit. Elle est donc le rapport entre une distance et le temps mis à la parcourir.

$$Vcr = \frac{\text{Distance}}{\text{Temps}}$$

Nous allons nous intéresser à la Vcr d'un planeur passant d'une ascendance à une autre, volant à une vitesse de transition notée Vp, en air calme (Vzw = 0).
(Pour rendre le calcul plus simple, Mac Cready pose comme hypothèse que la masse d'air est calme entre les 2 ascendances. La validité de cette hypothèse sera discutée au paragraphe 2.4, nous allons également considérer que Vp est égal à Vi).
Dans cet exemple, nous allons choisir Vi = vitesse de finesse maximum.

1.2. Démonstration

C'est le temps de passage de A en B qui doit être considéré. En effet, en B le planeur aura retrouvé l'altitude qu'il avait en A et sera donc dans la même situation, exactement. La distance AB sera donc en fait parcourue en deux temps, un temps de transition en descente (td) et un temps de spirale en montée (tm). La vitesse de croisière sera donc :

$$Vcr = \frac{AB}{td + tm}$$

Or, vu le très faible angle de plané réel (moins de 2° dans ce cas), il est possible de dire que AB = AC. Nous pouvons aisément mesurer AC, transition effectuée à une vitesse connue (Vi de finesse max.) et un temps donné (td) :

$$AB = AC = Vi \cdot td \quad \text{d'où} \quad Vcr = Vi \frac{td}{td + tm}$$

Restent à déterminer td et tm.
Au cours de la transition, le planeur a perdu une hauteur H à une vitesse de chute Vzd (qui en l'occurrence égale Vzp puisque Vzw = 0). On a donc :

$$td = \frac{H}{Vzp}$$

Au cours de la spirale, le planeur est remonté d'une même hauteur H à une vitesse ascendante Vza ; donc :

$$tm = \frac{H}{Vza}$$

Si nous revenons à l'égalité de départ, nous pouvons maintenant l'écrire ainsi :

$$Vcr = Vi \frac{\frac{H}{Vzp}}{\frac{H}{Vzp} + \frac{H}{Vza}}$$

qu'en simplifiant nous écrivons successivement :

$$Vcr = Vi \frac{\frac{1}{Vzp}}{\frac{1}{Vzp} + \frac{1}{Vza}} = Vi \frac{\frac{1}{Vzp}}{\frac{Vza + Vzp}{Vza \cdot Vzp}} = Vi \frac{1}{Vzp} \cdot \frac{Vza \cdot Vzp}{Vza + Vzp}$$

Après simplification, il reste :

$$Vcr = Vi \cdot \frac{Vza}{Vza + Vzp}$$

Cette formule montre que **la vitesse de croisière théorique d'un planeur sur une portion de circuit dépend des vitesses de montée et de descente du planeur, de la vitesse de transition affichée par le pilote, mais est indépendante des hauteurs gagnées et perdues dans cette portion de circuit.**

Exemple :
Le planeur pris en exemple dans le premier chapitre avait une Vi de finesse max. de 94 km/h ≈ 26 m/s. A cette vitesse, sa Vzp était de 0,63 m/s. Si ce planeur rencontre des ascendances effectives de 3 m/s (lues au vario = Vza), sa vitesse est :

$$Vcr = 26 \cdot \frac{3}{3,63} = 21,5 \text{ m/s}$$

$$Vcr \approx 77,5 \text{ km}$$

1.3. Démonstration graphique

La méthode précédente, qui permet au vélivole de comprendre comment on calcule la Vcr, n'est pourtant pas d'une utilisation très facile pour lui. Par contre, et c'est beaucoup plus pratique, il peut prendre connaissance de la Vcr directement par la polaire des vitesses, par un tracé simple (figure 16).

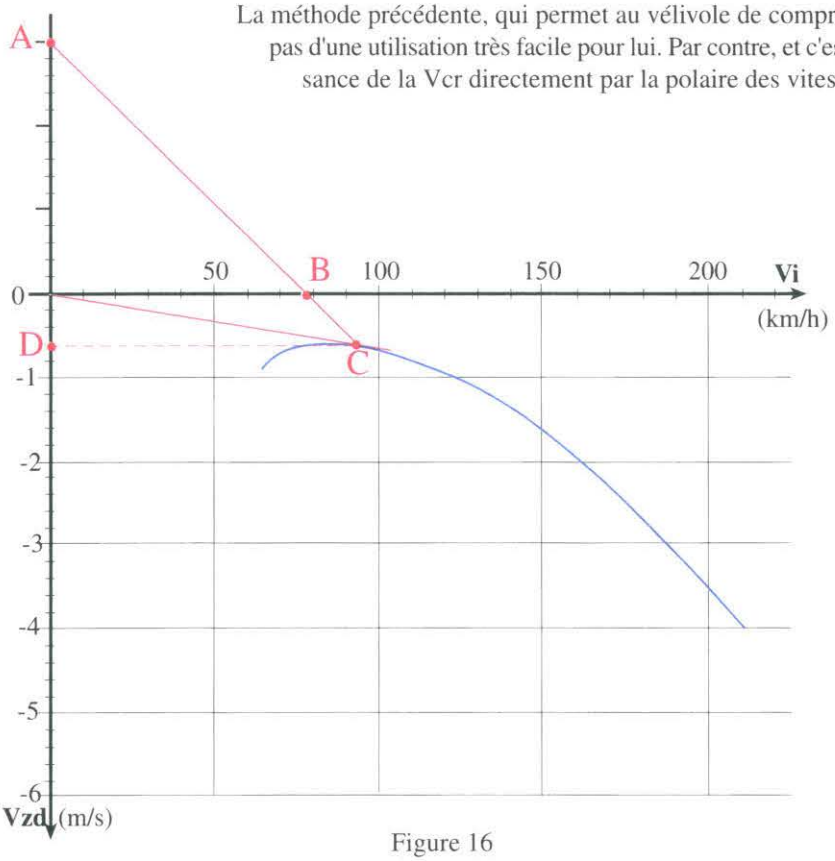


Figure 16

Le point C est le point d'utilisation de la polaire (dans l'exemple ci-contre, point de finesse max. en air calme sans vent, correspondant à un calage de 0).
Arbitrairement, le point A marque la valeur de la Vza rencontrée. Le point D est la projection de C sur l'axe vertical. Le point B, l'intersection de AC avec l'axe horizontal.
Les deux triangles AOB et ADC sont semblables. Les rapports entre leurs côtés similaires sont donc égaux.
En particulier :

$$\frac{OB}{DC} = \frac{AO}{AD} \quad \text{ou encore} \quad OB = DC \cdot \frac{AO}{AD}$$

Si nous remplaçons DC, AO et AD par leur valeur :
DC = Vi
AO = Vza
AD = AO + OD = Vza + Vzp

donc : $OB = Vi \frac{Vza}{Vza + Vzp}$ si on compare à la formule précédente, on voit : OB = Vcr

Puisque le calcul de **la vitesse de croisière ne dépend pas de la hauteur perdue ou regagnée, ni de la distance parcourue, mais de la Vza, la Vzp et la Vi**, le vélivole peut connaître cette valeur pour un circuit tout entier. Il suffit, dans ce cas, de considérer la Vza moyenne qu'il rencontrera (information météo) et de déterminer le régime de vol (Vi en transition). Avant le décollage, le vélivole pourra donc estimer la longueur du circuit réalisable en fonction de la Vcr ainsi calculée et du temps dont il disposera.

Exemple :
Reprenons le planeur qui nous a servi dans l'exemple précédent. Un vélivole se voit confier ce planeur pour 3 heures de vol sur la campagne. Il compte voler à finesse max. et les ascendances moyennes prévues pendant ces 3 heures-là sont de 3 m/s.

Il n'y a pas de vent.
Sa Vcr sera de 77,5 km/h.
Son temps de vol de 3 h.

Il pourra donc raisonnablement faire un panneau de circuit de 200 km, le maximum possible dans ces conditions étant de 232,5 km.

Questions :

- Un autre vélivole, à bord de ce même planeur, pourrait-il faire un plus grand circuit dans les mêmes conditions et le même temps de vol ?
- Et si oui, quel est le plus grand circuit réalisable dans ce cas-là ?

2. RECHERCHE DE VCR MAX.

La réponse à ces deux questions est liée, bien entendu, à la possibilité d'accroître et d'optimiser la Vcr durant cette période et c'est ce que nous allons voir maintenant.

2.1. Accroissement et optimisation de Vi en transition

Dans l'exemple choisi, la Vza et les conditions rencontrées en transition (Vzw = 0) sont fixées. La seule variable dépendant du pilote reste donc la Vi en transition. En effet, comme cela a déjà été dit, le vol à finesse max. est un choix du vélivole. Il est possible de voler plus vite en transition entre deux ascendances. Voyons quelles sont les conséquences sur la Vcr.

Le second pilote va choisir, arbitrairement, une Vi supérieure, par exemple, 120 km/h en transition. La Vzp passe à -0,97 m/s. Le point d'utilisation, sur la polaire des vitesses, change. (Voir figure ci-contre).

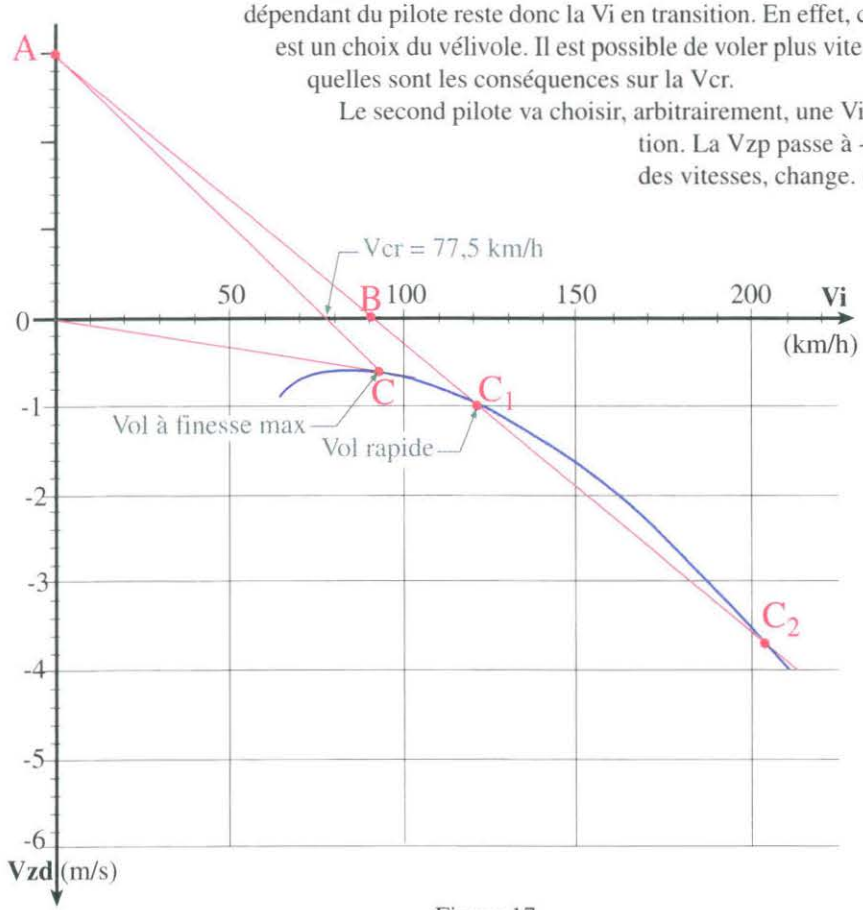


Figure 17

La finesse est réduite :

$$f = \frac{Vi}{Vzp} = \text{environ } 34$$

Mais la Vcr a augmenté sensiblement. Elle est passée à 90 km/h.
Ce vélivole pourrait, en trois heures, prévoir un circuit de 250 km (au maximum 270 km).

NOTE :
Si vous observez la figure ci-dessus, vous noterez qu'un vol en transition à 200 km/h, donnerait le même résultat du point de vue de la Vcr.

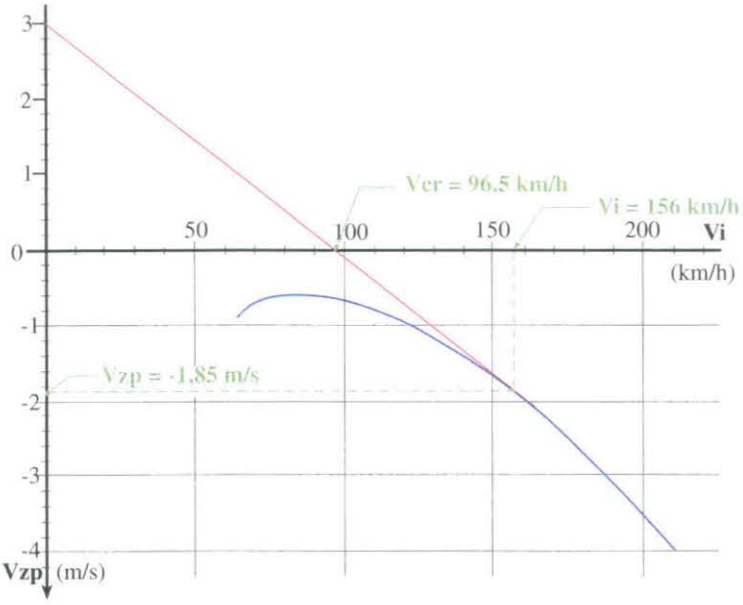


Figure 18

Cependant, aucune de ces deux solutions (points C1 et C2) n'est optimale.
Sur la figure, il apparaît bien que la meilleure valeur de Vcr est obtenue lorsque le point d'utilisation sur la polaire est le point de contact entre la polaire et la tangente issue de la valeur de Vza rencontrée.

2.2. Calage Mac Cready et vol à Vcr max.

a) Comment le vélivole peut-il obtenir en vol l'indication de la Vi à suivre qui lui donnera la Vcr max. ?
Regardons l'anneau Mac Cready (voir ci-dessous) et comparons-le avec les paramètres donnés par la polaire de la figure n°18 pour le vol à Vcr max. lorsque :

Vza = +3 m/s :
Vi = 156 km/h
Vzd = Vzp = 1,85 m/s.

Si le pilote maintient son anneau MC calé sur zéro et vole à la vitesse optimale théorique de 156 km/h, l'aiguille du vario est sur -1,85 m/s et indique une vitesse de 115 km/h qui ne présente aucun intérêt. Il apparaît que l'écart sur l'anneau MC, entre ces 115 km/h et les 156 km/h à obtenir, est égal à 3 graduations sur le vario. (Voir ci-après).

Le pilote devra faire correspondre, par une rotation de l'anneau Mac Cready, l'indication du taux de chute et l'indication de Vi à suivre en transition. La valeur 156 vient en face de -1,85 m/s, et vous noterez alors que l'index du Mac Cready est aligné sur la valeur +3 du vario. C'est exactement le principe du calage Mac Cready pour le vol à Vcr max. : il suffit de placer l'index de la couronne des vitesses sur la valeur de la Vza espérée dans la prochaine ascendance.

Figure 19

Figure 20

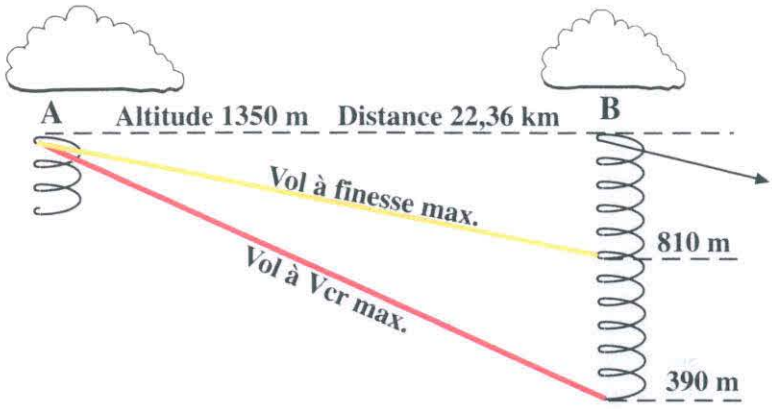
b) A partir de là, l'utilisation du Mac Cready pour le vol à Vcr max. est simple, mais doit être rigoureusement respectée dans sa logique.
Le pilote traversera successivement des zones de descendances puis d'ascendances moyennes où il ne s'arrêtera pas pour spiraler. Il adoptera alors les Vi qui lui seront indiquées par son anneau Mac Cready.

Exemple :
- Traversée d'une zone où Vzd = -1 m/s
Vi = 146 km/h

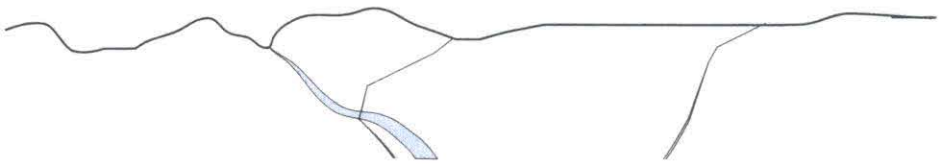
- Traversée d'une zone où Vza = +0,5 m/s
Vi = environ 125 km/h.

D'autre part, le vélivole qui vole au régime de Vcr max. va refuser de s'arrêter dans les ascendances inférieures à 3 m/s et ne spiralera que dans des ascendances supérieures ou égales à 3 m/s.
Dans l'hypothèse de Mac Cready, les transitions se feront dans une masse d'air globalement calme (bilan Vzw = 0) à une Vi moyenne en transition de 156 km/h avec une Vzd = -1,85 m/s.

La finesse sera réduite à : $f = \frac{43,3}{1,85}$ = environ 23



Exemple :
Deux planeurs identiques volent, l'un à finesse max., l'autre à Vcr max. Les Vza valent +3 m/s, le bilan Vzw = 0 en transition et le vent est nul.
Ils partent ensemble du plafond (1 350 m) vers une ascendance +3 m/s située à 22,36 km de là.



Comparons les deux vols :

Figure 21

Note :
Dans la démonstration, jusqu'ici, la montée dans l'ascendance a été placée à la suite de la transition. Mathématiquement, le même résultat aurait été obtenu en inversant ces deux phases.

Il semble cependant évident qu'en ce qui concerne le calage Mac Cready, c'est bien la force de l'ascendance suivante que le pilote doit pressentir puis afficher.

Il serait illogique par exemple de perdre beaucoup d'altitude avec un calage +3 alors qu'il est visible que l'ascendance à venir n'est que de +1 m/s.

Comparons les deux vols.

	① VOL A FINESSE MAX	② VOL A Vcr MAX
Altitude de départ	1350 m	1350 m
Vi en transition	Vi = 94 km/h = 26 m/s	Vi = 156 km/h = 43 m/s
Temps de descente	Td1 = 800 sec	Td1 = 520 sec
Taux de chute	Vzp1 = 1,63 m/s	Vzp2 = 1,85 m/s
Perte d'altitude	H1 540 m	H2 = 960 m
Finesse	f = 41,5 (finesse max)	f = 23
Raccrochage à	810 m environ	390 m
Temps de montée au plafond	tm = 540 / 3 = 180 sec	tm = 960 / 3 = 320 sec
Temps total de A à B	tAB = 1040 sec	tAB = 840 sec

Conclusion : *Le planeur n° 2 sera reparti de l'ascendance B avant même que le n° 1 n'y soit arrivé.*

La Vcr max. sera donc obtenue en calant le Mac Cready à une valeur égale à celle de la prochaine Vza espérée. Les ascendances précédentes ne peuvent servir que d'élément de référence pour évaluer la valeur de celle-ci.
Pour vérifier cela, faites l'exercice suivant :

Exercice :
Les deux mêmes planeurs ayant trouvé une ascendance de 3 m/s, en A, espèrent 3 m/s en B. Ils adoptent les mêmes régimes de vol que dans l'exemple ci-dessus, mais, arrivés en B, ne trouvent en fait que du 1 m/s. Faites la comparaison entre ces deux temps tAB = td + tm.
Tirez-en les conclusions.

	① VOL A FINESSE MAX	② VOL A Vcr MAX
Altitude de départ	1350 m	1350 m
Temps de descente	Td1 = 800 sec	Td1 = 520 sec
Perte d'altitude	H1 530 m	H2 = 960 m
Raccrochage à	810 m environ	390 m
Temps de montée au plafond	Tm = 840 sec	Tm = 960 sec
Temps total de A à B	TAB = 1400 sec = 23 mn 20 sec	TAB = 1480 sec = 24 mn 40 sec

Conclusion : Le pilote qui a sur-calé est pénalisé car il arrive au plafond sous le cumulus B après l'autre pilote. Si nous faisons le bilan du vol à Vcr max., nous notons plusieurs choses importantes :

- Pour voler à Vcr max., le vélivole cale son Mac Cready à la valeur estimée de l'ascendance suivante.
- Il accepte de perdre une partie de la finesse disponible (f passe de 41,5 à 23 dans notre exemple).
- En contrepartie, il gagne beaucoup de temps dans les transitions et peut donc faire un circuit plus long (ou plus rapide).
- Il doit être sûr de trouver une ascendance supérieure ou égale à son calage.
- Il est conduit à raccrocher à plus basse altitude que s'il volait plus lentement, et donc à prendre plus de risques aérologiques et physiques. Il accumule également plus de stress et de fatigue.

Note : Il ne faut pas assimiler Vza et calage Mac Cready. Ce sont deux paramètres qui peuvent être dissociés. On sait que pour avoir la Vcr max., il faut que calage MC = Vza. Mais, nous avons vu, dans un exemple précédent, qu'on peut très bien faire un circuit avec des Vza de 3 m/s et un calage 0, c'est à dire avec le régime de vol à finesse max.

- Le paramètre Vza est un point porté par l'axe vertical sur le graphique de la polaire des vitesses.
- Le paramètre Calage est choisi par le pilote et détermine un point sur la polaire des vitesses. Ce point est le point de contact de la polaire avec la tangente issue de la valeur du calage choisi sur l'axe vertical.

On peut très bien inscrire sur la polaire les points correspondant aux différents calages. (Voir figure ci-dessous).

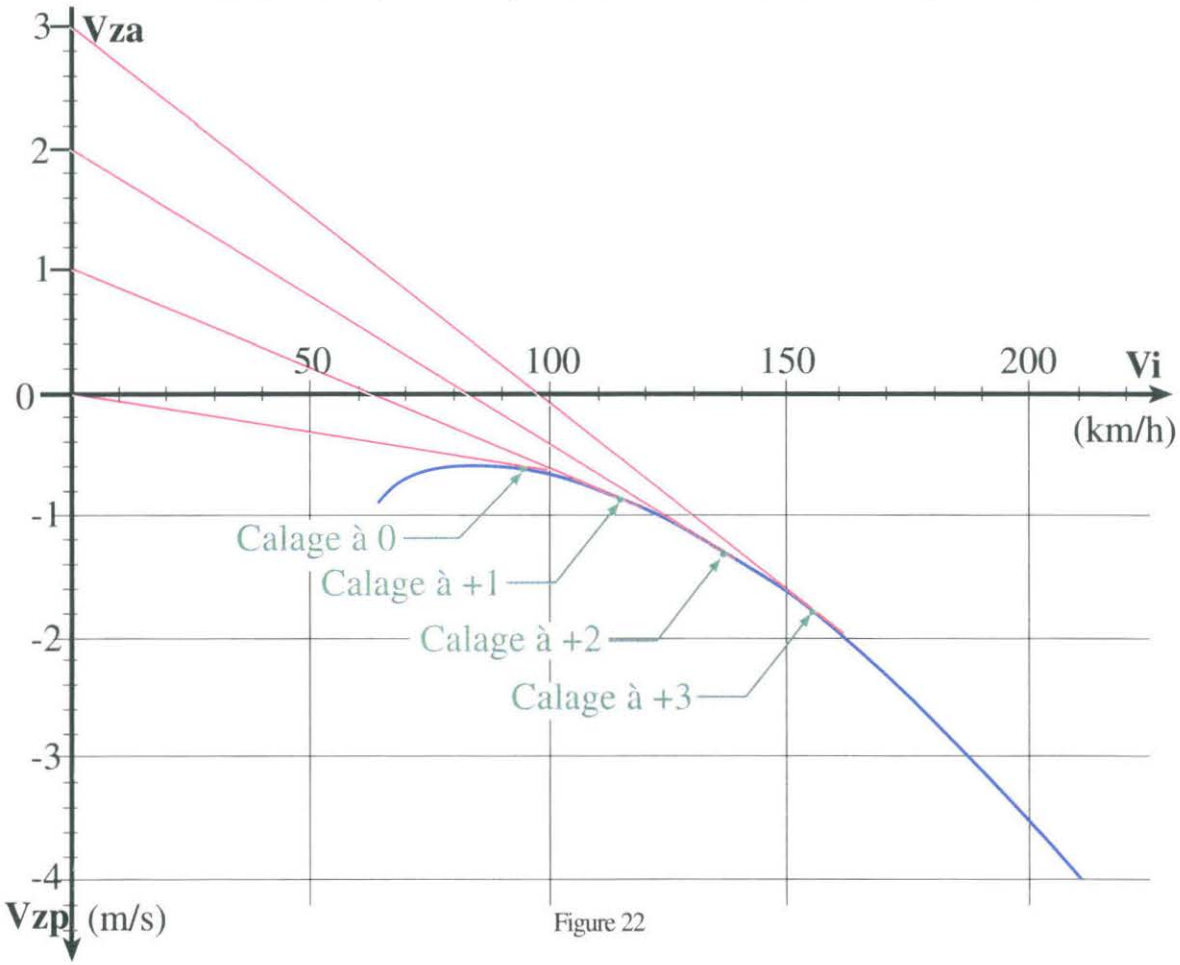


Figure 22

Par la suite, à partir d'une valeur définie de Vza, il est possible de calculer la Vcr quel que soit le calage adopté. (Voir exemple page suivante).

Exemple de détermination graphique de la Vcr

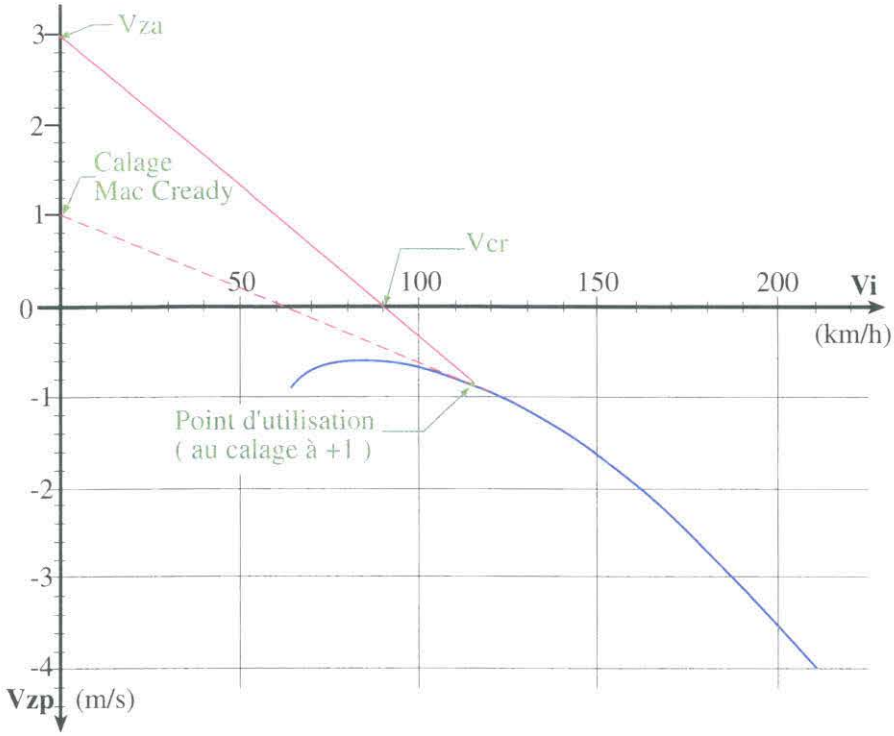


Figure 23

Il faut bien comprendre que la valeur de Vza espérée dans la ou les prochaines ascendances n'oblige pas le vélivole à adopter un calage égal à cette Vza. Une infinité de régimes de vol existe entre le vol à Vcr max. (le plus rapide) et le vol à finesse max. (le plus économe) : chaque Vi en transition correspond à un régime de vol différent. Cependant, les vélivoles adoptent généralement des régimes de vol déterminés par un calage de l'anneau Mac Cready sur une valeur arrondie (calage à 0, à 0,5, à 1, etc...).

Notez également que, si la valeur des Vza exploitées ensuite doit être au moins égale au calage, l'inverse n'est pas obligatoire.

Dans l'exemple décrit par la figure n °23, le pilote adopte un régime de vol relativement lent (calage +1) mais sélectionne les ascendances très rigoureusement de manière à obtenir une Vza de 3 m/s.

Le sous-calage (calage à une valeur inférieure à la Vza) permet, en acceptant une Vcr modérée, de limiter les effets du principal inconvénient du vol rapide : forte perte d'altitude et raccrochage bas.
Ce dernier point demande à être développé, car il fait appel à la notion d'autonomie. Et, il découle de cette constatation une série de problèmes tactiques, que nous allons aborder en détail.

Régime de vol	Vi en transition	Vzp correspondante	Finesse
Finesse max (calage à 0)			
Calage à +1			
Calage à +2			
Calage à +3			
Calage à +4			

Exercice :

Remplissez le tableau ci-contre :

Evolution de la finesse, en air calme, en fonction du régime de vol (calage) adopté (réponse à la fin du livre).

2.3. Autonomie et Vcr max.

Le planeur qui vole rapidement perd beaucoup de hauteur durant sa transition. Avant de quitter l'ascendance et de voler vers la suivante, le pilote doit donc évidemment se poser la question de savoir s'il dispose d'une altitude suffisante pour parcourir le chemin prévu au régime de vol optimal que la théorie Mac Cready lui indique.

Exemple :
Revenons à notre dernier exemple (voir figure n°21). L'altitude de départ en A était de 1 350 m. Le planeur volant à Vcr max. avait, sauf cas exceptionnel, de bonnes chances de raccrocher en B à 390 m.
Mais si le sol est à une altitude de 200 m QNH, ce planeur n'arrivera pas en B et se sera arrêté avant, dans une ascendance inférieure à 3 m/s ou aux vaches. L'autre planeur, lui y parviendra à 610 m/sol, ce qui lui laisse encore toutes les chances de raccrocher et poursuivre le vol.

Il est donc nécessaire d'adapter sa tactique de vol, non seulement aux Vza rencontrées, mais aussi (et au préalable) à l'autonomie dont on dispose.
Un rapide calcul mental indique au pilote la perte de hauteur à prévoir. Si elle le conduit à raccrocher en dessous du plancher qu'il s'est fixé (suivant ses compétences et les conditions), il envisagera aussitôt un régime de vol plus lent pour la prochaine transition, qui lui assurera un bon compromis vitesse-autonomie.

Exemple :

Le pilote calcule qu'à 22 de finesse (calage à +3), il perdra environ 1 000 m. Cela le ferait parvenir dans la zone ascendante à 350 m (soit 150 m/sol) ce qui est beaucoup trop bas. Ce régime de vol, théoriquement optimal, est donc à exclure ici. S'il fixe son "plancher" à 450 m (soit 650 m QNH) en toute sécurité (zone atterrissable à disposition), il peut consommer 700 m en transition seulement. Pour parcourir 22 km, cela exige une finesse de 30.
Un calage à +2 donne une finesse inférieure, un calage à +1 une finesse supérieure. Un calage à +1,5 représente alors le meilleur compromis.
En montagne, le passage d'un obstacle vers la prochaine ascendance visée ou l'arrivée à la hauteur optimale sur une crête peuvent également conduire à ce genre d'option. (Voir exercice ci-après).

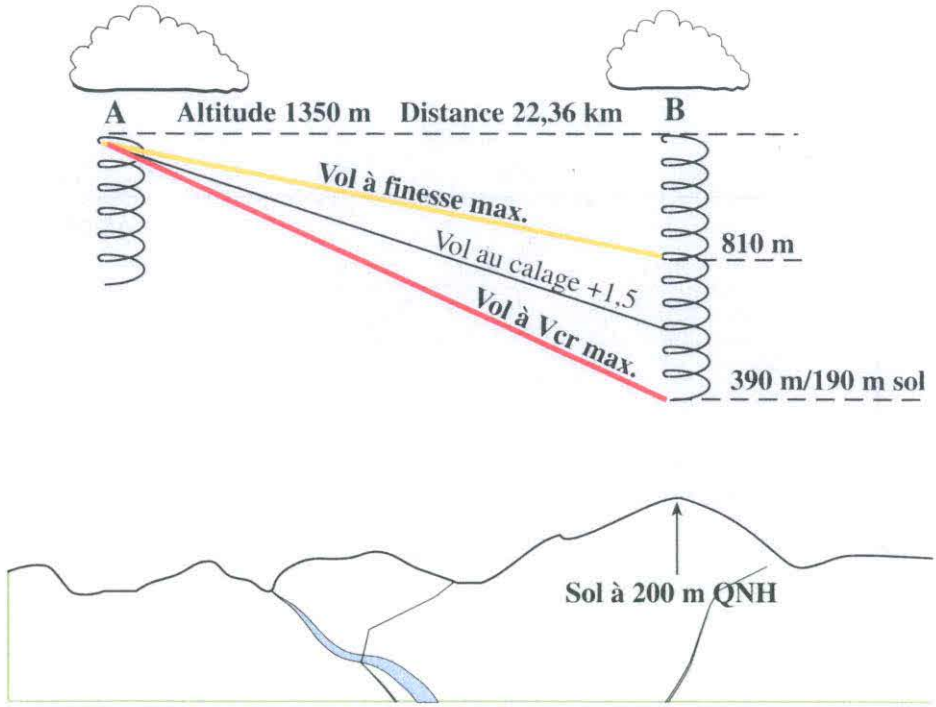


Figure 24

Exercice :
Vous disposez du planeur utilisé plus haut. Vous devez passer de A en B dans les conditions suivantes :

AB = 14,7 km
Vent nul ou négligeable.
Vzw = 0 entre A et B.
Vza en B = 3 m/s (à condition d'arriver au-dessus du "plancher des ascendances").

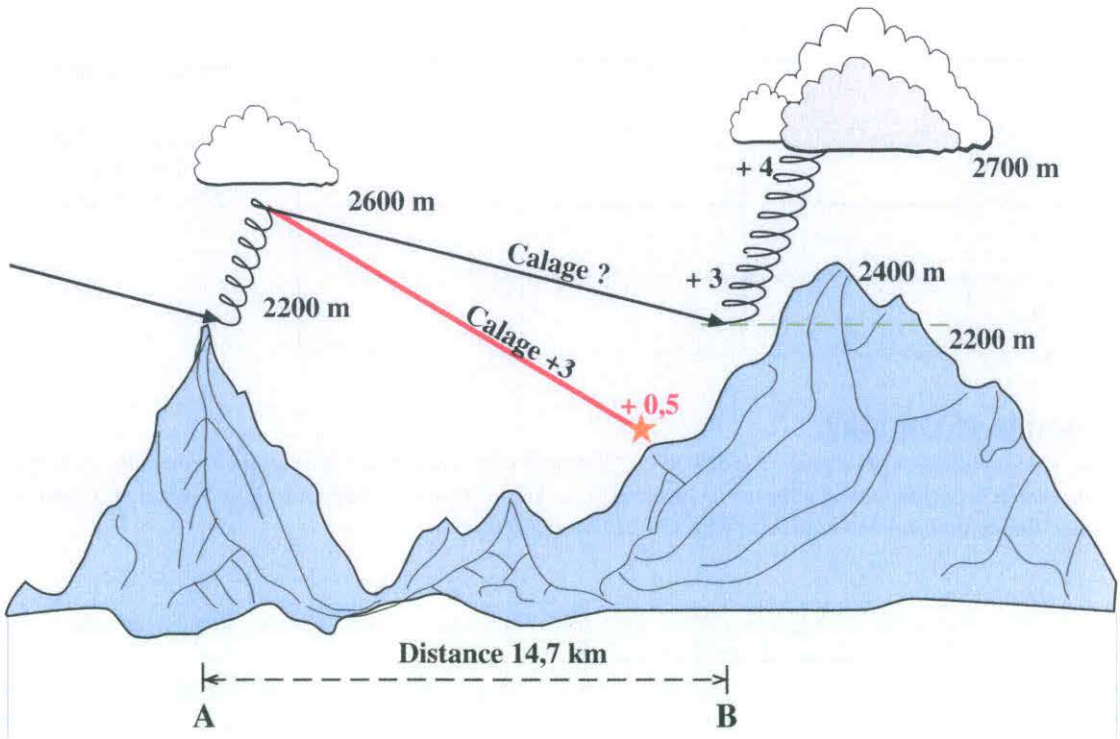


Figure 25

Le calage à +3 amène ce planeur à une altitude trop basse en B, car son autonomie est insuffisante.

* Quelle est la finesse minimum nécessaire ?
* A quel calage cette finesse correspond-elle ? (Arrondir au 1/2 mètre ou au mètre le + proche).
* Quelle sera la Vi de transition correspondante ?

Note : Les valeurs des finesses à différentes Vi vous sont données par la courbe des finesses. (Voir figure n° 03 - Chap. I).

Exemple

Ce dernier cas peut se présenter en plaine sous une forme quelque peu différente. Les ascendances, en effet, ne sont pas régulières et la Vza n'est donc pas forcément la même du sol au plafond. La structure verticale d'une ascendance peut poser des problèmes de tactique, si l'on veut aller vite en circuit, assez semblables à celui que nous venons de voir en montagne.

Dans ce cas, la théorie voudrait que, connaissant la répartition verticale des Vza dans l'ascendance suivante, le vélivole équilibre la Vza qu'il quitte avec celle qu'il atteindra après la transition effectuée au calage correspondant.

Cependant, cette technique n'est utilisable (et rentable) que si le vélivole a des informations très précises sur les ascendances en avant sur sa route ; par exemple, dans le cas d'un circuit en équipe avec d'autres vélivoles, la vitesse de croisière de chacun des coéquipiers s'en trouve parfois augmentée de façon non négligeable.

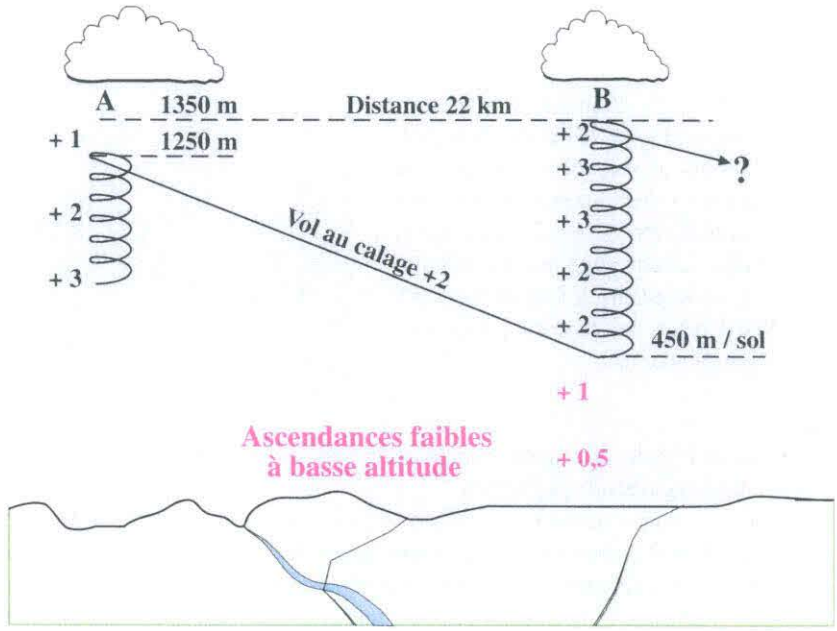


Figure 26

2.4. Validité de la théorie Mac Cready et cas particuliers

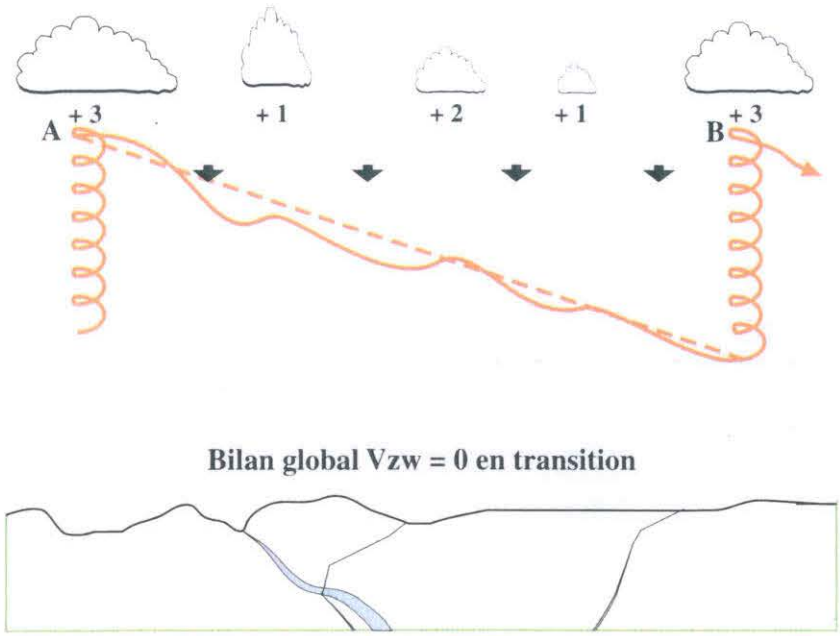


Figure 27

Depuis le début de l'étude de la vitesse de croisière, nous avons supposé que le planeur pris en exemple volait, pendant sa transition, en air calme. Cela correspond-il à la réalité ?

Dans l'exemple choisi précédemment, il paraît tout à fait invraisemblable de trouver un volume d'air calme entre deux ascendances de 3 m/s. En réalité, entre deux ascendances fortes et éloignées, le volume d'air traversé est animé par une succession de descendances et d'ascendances inégalement puissantes et réparties tout au long du parcours. (Voir figure n°27).

L'hypothèse de M. Mac Cready est que, sur un parcours **suffisamment long**, les descendances et les ascendances s'équilibrent globalement. Et statistiquement, la justesse de ce raisonnement est vérifiée, de sorte que le bilan sur une telle transition, est équivalent à une masse d'air calme (bilan Vzw = 0).

Ainsi, la trajectoire d'un planeur moderne, en réalité ondulante de Vzw - en Vzw + peut se ramener schématiquement à la trajectoire en air calme à la Vi de transition choisie.

Ces précisions nous amènent tout naturellement à définir certains cas exceptionnels où les résultats de la théorie Mac Cready sur la Vcr ne peuvent être appliqués tels quels :

* **premier cas particulier :**

Supposons qu'un planeur ancien fasse la même transition que le planeur pris en exemple ci-dessus (figure 27). Ayant des performances très inférieures, il serait contraint, par manque d'autonomie, de reprendre de l'altitude dans chacune des ascendances rencontrées. Ses transitions se ferraient donc intégralement entre deux ascendances successives et en traversant des volumes d'air descendants. L'hypothèse de M. Mac Cready ne se vérifie pas exactement dans ce cas.

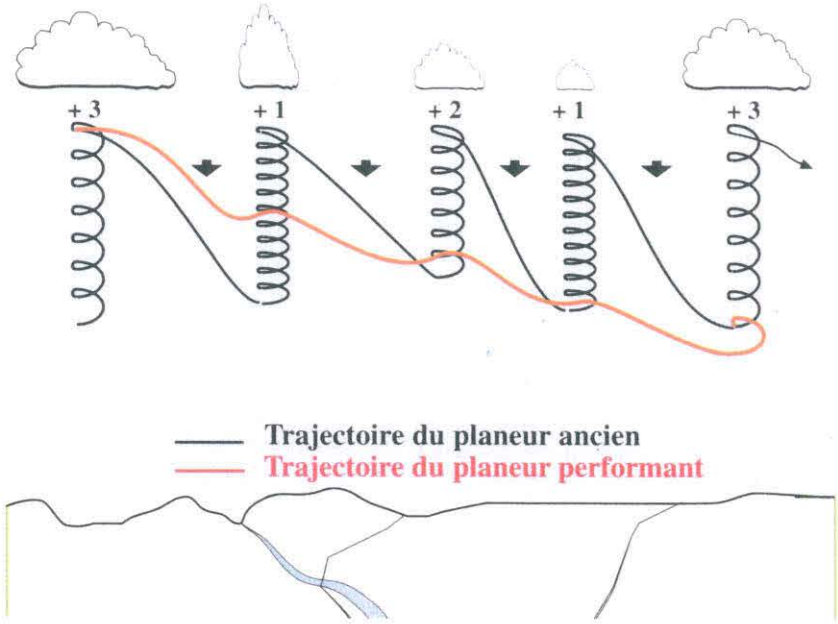


Figure 28

Note :

Dans certaines régions du monde (climats continentaux, désertiques ou semi-désertiques), les plafonds sont fréquemment très élevés et les ascendances très puissantes.

Il n'est pas rare, alors, que ces ascendances soient éloignées les unes des autres (des distances de l'ordre de 50 km se trouvent aisément) et que de fortes descendances existent entre elles. Le cheminement est quasiment impossible, les pertes d'altitudes importantes entre deux ascendances. Cela conduit le pilote à spiraler pratiquement dans chacune de celles-ci, même s'il utilise une machine très fine. Dans ce cas, il se retrouve dans une situation similaire à celle du planeur peu fin dans nos régions.

Il faudrait alors, pour apprécier la vitesse de croisière sur un circuit ou une portion de circuit, réintégrer le paramètre "taux de chute masse d'air" dans le calcul :

$$Vcr = Vi - \frac{Vza}{Vza + Vzd} \qquad (\text{où } Vzd = Vzp + Vzw)$$

ainsi que sur le graphique, en utilisant une polaire décalée vers le bas d'une valeur égale à Vzw :

Exemple : Bilan en transition - Vzw = -1 m/s.

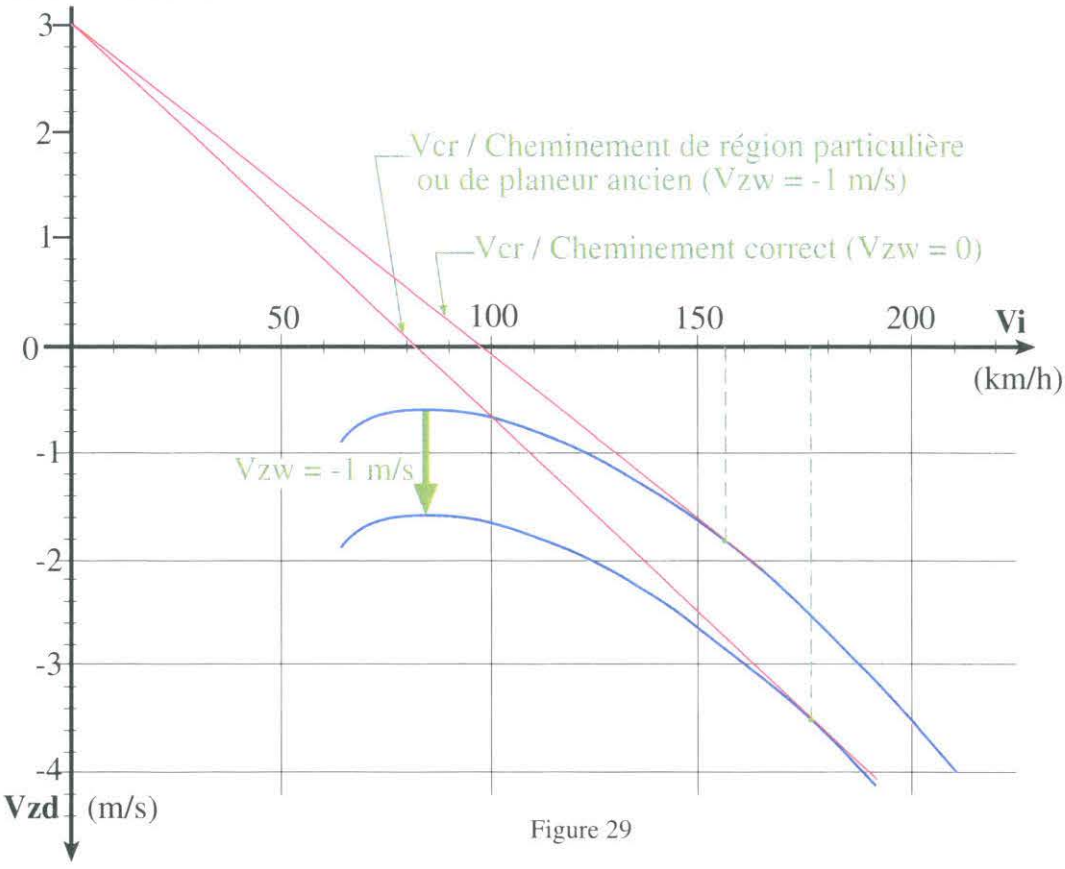


Figure 29

Cheminement

Le facteur Vzw s'ajoute au taux de chute du planeur : la perte sur la vitesse de croisière par mauvais cheminement est très importante. Si, certaines fois, ce facteur est météorologique et subi par les pilotes (cumulus éloignés les uns des autres), dans la plupart des cas, le pilote a une influence certaine sur sa valeur. C'est en modifiant son cap, judicieusement de façon à passer dans les volumes d'air les plus favorables, que le pilote va diminuer, voire annuler ou inverser Vzw. Ce facteur est aussi déterminant que la force des ascendances pour la détermination de Vcr.

Le vélivole doit constamment observer sur sa route prévue, le plus loin possible devant lui pour adapter sa trajectoire de telle sorte qu'il réalise au mieux le compromis entre :

- Vitesse sur trajectoire ;
- Moindre taux de chute ;
- Allongement de la trajectoire.

*** Deuxième cas particulier :**

Considérons à l'inverse un planeur d'une très grande finesse, encore supérieure à celle des meilleurs planeurs connus actuellement. Son taux de chute propre très faible à basse vitesse et peu élevé à grande vitesse lui permettrait de regagner, par une ressource dans chaque ascendance et sur un parcours suffisamment long, toute l'altitude perdue pendant la transition. Ce planeur arriverait alors en B (voir figure n°30), sans avoir besoin de spiraler, à la même altitude qu'en A. Ce type de vol a été appelé "vol ondulé" ou "vol en dauphin".

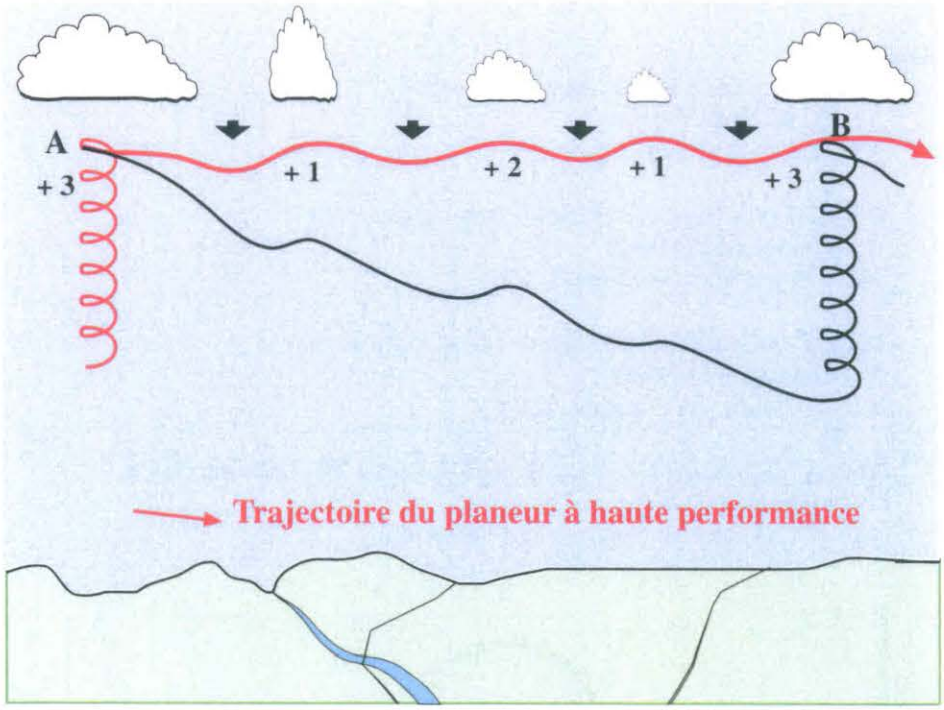


Figure 30

Ce type de vol n'est pas impensable puisque certains chercheurs ont calculé qu'il serait possible avec un planeur dont le taux de chute mini. atteindrait -0,35 m/s. La Vcr serait alors très proche de la Vi moyenne en transition.

Là encore, un pilote adroit et avisé dans ses cheminements pourrait se retrouver dans un cas identique bien qu'il n'utilise qu'un planeur moyennement fin. C'est d'ailleurs ce qui explique que certains records de vitesse ont été réalisés sur des distances assez importantes avec des moyennes très élevées : il n'y a pratiquement jamais d'arrêt dans la progression. C'est de cette façon également que de très longs circuits ont pu être commencés avec des Vza assez faibles et cependant de bonnes Vcr dans les premières heures de vol, en milieu de matinée. Les vélivoles qui ont effectué ces parcours sont partis en cheminant adroitement sous un plafond de cumulus très rapprochés et sans spiraler dans des ascendances d'ailleurs trop faibles pour être exploitées ainsi.

Le gain sur la vitesse de croisière par un bon cheminement peut être également très important.

Ces cas particuliers ne remettent pas en cause l'utilisation de la thèse Mac Cready qui peut donc nous permettre un calcul prévisionnel de Vcr pour la plupart des cas de vol dans nos régions. Encore faut-il l'employer sans erreur et, pour cela, en avoir assimilé la logique sans confusion. En outre, il est important de connaître l'influence relative des divers facteurs qui entrent en jeu dans l'amélioration de la Vcr :

- **Vza moyenne** (= choix, exploitation et abandon des ascendances) ;
- **Vzd moyenne** (= cheminement) ;
- **Vi en transition** (= calage Mac Cready).

3. IMPORTANCE RELATIVE DES DIVERS PARAMETRES INFLUANT SUR LA VCR

3.1. Erreurs de calage Mac Cready

Il est assez facile de chiffrer la perte sur la Vcr en fonction des erreurs de calage, si on compare plusieurs planeurs crédités des mêmes Vza en spirale et Vzd (= Vzp) en transition.

Exemple :
Quatre planeurs identiques effectuent une même portion de circuit avec Vza = +2 m/s, Vzw = 0 en transition et vent nul. Ils adoptent tous des calages différents, de 0 à +3. Quelle sera la perte relative des 3 planeurs qui n'ont pas calé à Vcr max. par rapport à celui qui a choisi ce régime de vol ?

Bilan

- Planeur ayant transité au calage +2 (Vcr max.)
  Vi en transition 136 km/h
  Vcr max. = 82,5 km/h

- Planeur ayant transité au calage +3 (sur-calage de 1 m)
  Vi en transition 156 km/h
  Vcr = 81 km/h, soit une perte de 2%.

- Planeur ayant transité au calage +1 (sous-calage de 1 m)
  Vi en transition 116 km/h
  Vcr = 80 km/h, soit une perte de 3%

- Planeur ayant transité au calage 0 (sous-calage de 2m et sol à fin max.)
  Vi en transition 90 km/h
  Vcr = 71,5 km/h, soit une perte de 13% environ.

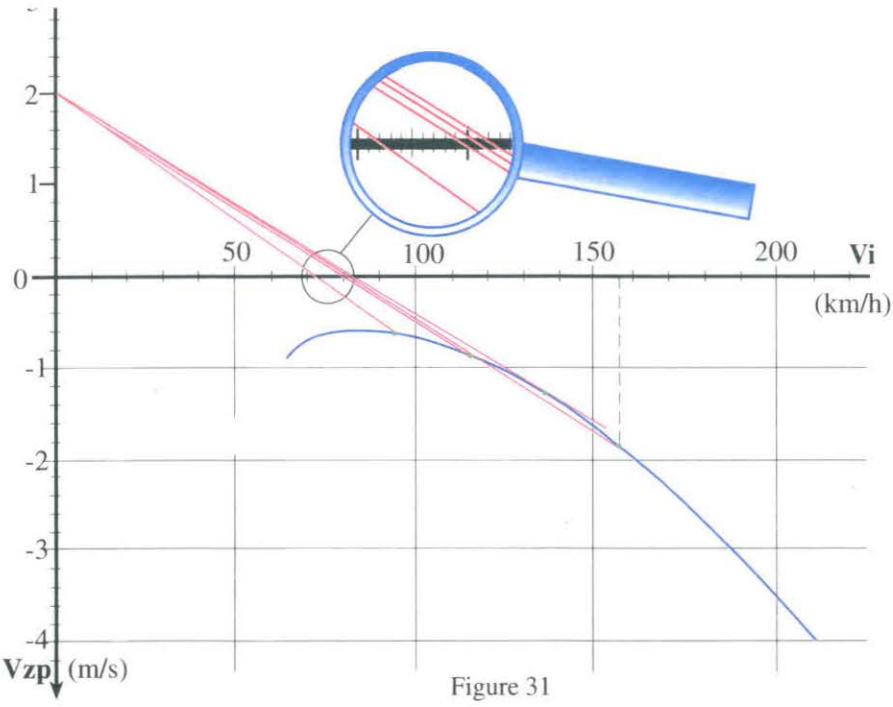


Figure 31

Commentaires :
a) Une erreur de calage de 1 m en plus ou en moins (soit un écart de +20 km/h par rapport à la Vi idéale en transition) n'engendre qu'une faible perte, en pourcentage, sur la Vcr, ayant peu de conséquences si le vol n'est pas orienté vers la compétition ou la performance maximale.
Le sous-calage de 1 m, lors d'un vol avec de fortes Vza, est peu pénalisant. C'est d'ailleurs parfois un choix délibéré du vélivole, au niveau de l'entraînement à la perfo, qui s'assure ainsi **un excellent compromis entre deux tactiques de vol : la recherche de l'autonomie et celle de la Vcr maximale**, économisant quelques points de finesse en transition et perdant très peu sur la vitesse de croisière.

Certains vélivoles croient pouvoir affirmer : "Dans le doute, il vaut mieux sur-caler que sous-caler, car c'est moins pénalisant sur la Vcr".

* C'est d'abord oublier que la finesse se trouve beaucoup plus fortement dégradée et que, par conséquent, la perte d'altitude en transition, beaucoup plus importante, peut créer des difficultés pour la poursuite du vol (raccrochage bas parfois aléatoire, difficulté éventuelle de rester en local permanent d'une zone atterrissable ou d'un aérodrome, fatigue et stress accrus). Et tout cela pour un gain négligeable sur le pilote qui a sous-calé de 1 m.
Calage +3..... f environ 23 Calage +1..... f environ 36.

* C'est ensuite oublier qu'en toute rigueur, un calage du Mac Cready à +3 amène le pilote en question à traverser sans s'y arrêter toutes les ascendances inférieures à 3 m/s. Il devra donc, dans ce cas, diminuer son calage tôt ou tard, faute de quoi il irait jusqu'au sol sans raccrocher. **C'est en effet dans la rigueur de la sélection des ascendances que réside l'efficacité du vol au Mac Cready.**
Le sur-calage du Mac Cready est donc une erreur à éviter.

b) Un sous-calage excessif devient pénalisant et peut empêcher un vélivole, disposant de tous les éléments favorables, de réaliser le circuit ou l'épreuve entrepris.
Enfin, si on compare les Vi en transition, il apparaît qu'une erreur de 10 km/h sur la tenue de vitesse est sans gravité (perte de 1%) surtout lorsque les Vza sont fortes.

Remarque : Choix d'une vitesse de transition
La modification fréquente de la Vi en transition lors de la traversée successive, en ligne droite, de descendances ou d'ascendances plus ou moins fortes impose une attention soutenue. De plus, une augmentation ou une diminution de Vi à mauvais escient ou à contretemps est plus pénalisante que le maintien d'une Vi moyenne constante.
Partant de cette observation, certains vélivoles ont adopté une tactique de vol simple et assez efficace qui consiste à choisir une seule et même vitesse pour une transition entre deux ascendances sans en changer en cours de route. Cette méthode a pu être parfois présentée comme une réfutation pratique de la théorie Mac Cready. Il n'en est rien, Il s'agit en fait tout bonnement d'une façon différente d'utiliser la même théorie.
Voici comment cela se pratique.
Un vélivole va quitter une ascendance pour une autre qu'il estime à +3 m/s. Compte tenu de son autonomie et de ses choix tactiques, il désire voler à un régime de vol correspondant au calage +2. Ce calage donnerait une Vi moyenne en transition de 136 km/h (voir figure n°31). Il adopte donc une Vi de 135 km/h environ en transition et n'en change plus. C'est trop vite ou trop lent de 10 à 20 km/h lorsqu'il traverse de moyennes ascendances ou descendances. Mais cela le pénalise peu, comme nous l'avons vu plus haut. La méthode donne donc d'assez bons résultats.

Avantages :
* Le pilote doit seulement retenir ou noter quelques paramètres :

Régime de vol	Vi en transition	Finesse
Calage à +1	environ 115 km/h	environ 35
Calage à +2	environ 135 km/h	environ 30
Calage à +3	environ 155 km/h	environ 25

* L'attention du pilote, ainsi libérée, peut se concentrer sur la qualité du cheminement et la sélection des ascendances, paramètres beaucoup plus importants pour réaliser une forte Vcr, ou sur les problèmes éventuels de navigation.

Inconvénients :
Cette tactique n'est vraiment efficace qu'avec de fortes ascendances relativement espacées. Les écarts par rapport à la Vi idéale sont plus faibles et la pénalité moins grave.
Mais, dans les autres cas, et notamment par "petit temps", où les Vza sont faibles (0,5 à 1 m/s) et les régimes de vol pas très rapides (calages peu élevés), un écart de 20 km/h par rapport à la Vi idéale prend beaucoup plus d'importance et devient fortement pénalisant car il fait perdre quelques dizaines de mètres parfois précieuses pour la poursuite du vol. Le vélivole doit alors être beaucoup plus fin dans ses choix de cheminement mais aussi de vitesses de transition. Le vol sur la campagne (surtout s'il doit être rapide) est alors réservé à des vélivoles expérimentés qui sauront supporter une charge de travail plus grande.
Le pilote doit donc savoir éviter les solutions toutes faites et adapter sa tactique de vol à ses propres capacités et aux situations qu'il rencontre.

3.2. Perte due à une mauvaise Vza moyenne

Puisque nous avons maintenant une idée de l'importance des erreurs de calage, il convient de comparer cela avec les pertes dues à une mauvaise Vza moyenne (Vzam).
Il n'est pas rare qu'un vélivole réalisant un circuit dans des conditions thermiques très favorables (par exemple 3 m/s de Vzam possible) n'obtienne en réalité qu'une Vzam relativement faible (par exemple 2 m/s) et ce, de deux façons différentes :

- Soit ce vélivole a une mauvaise technique de prise et d'exploitation d'ascendance et, bien qu'il ne prenne que de bonnes ascendances, n'en tire pas le meilleur parti (problème d'entraînement, de formation, d'expérience) ;

- Soit ce vélivole a une bonne technique en ascendance mais prend toutes ou presque toutes les ascendances qu'il rencontre, même faibles ou moyennes avec l'objectif de rester très haut. La Vza moyenne sera donc très inférieure au maximum possible ce jour-là.

Comparons donc trois planeurs identiques sur une même portion de circuit, dans les conditions suivantes :

-Vza moyenne possible 3 m/s

- Vent nul.

1. Le premier monte et cale bien
Vzam = 3 m/s ; Cal +3
Vi en transition = 156 km/h
Vcr max. = 96,5 km/h

2. Le second monte bien et sous-cale légèrement
Vzam = 3 m/s ; Cal +2
Vi en transition = 136 km/h
Vcr = 95 km/h
soit une perte de 2% environ

3. Le troisième monte mal et cale bien
Vzam = 2 m/s ; Cal +2
Vi en transition = 136 km/h
Vcr = 82,5 km/h
soit une perte de 15% environ sur 1 et de 13% environ sur 2.

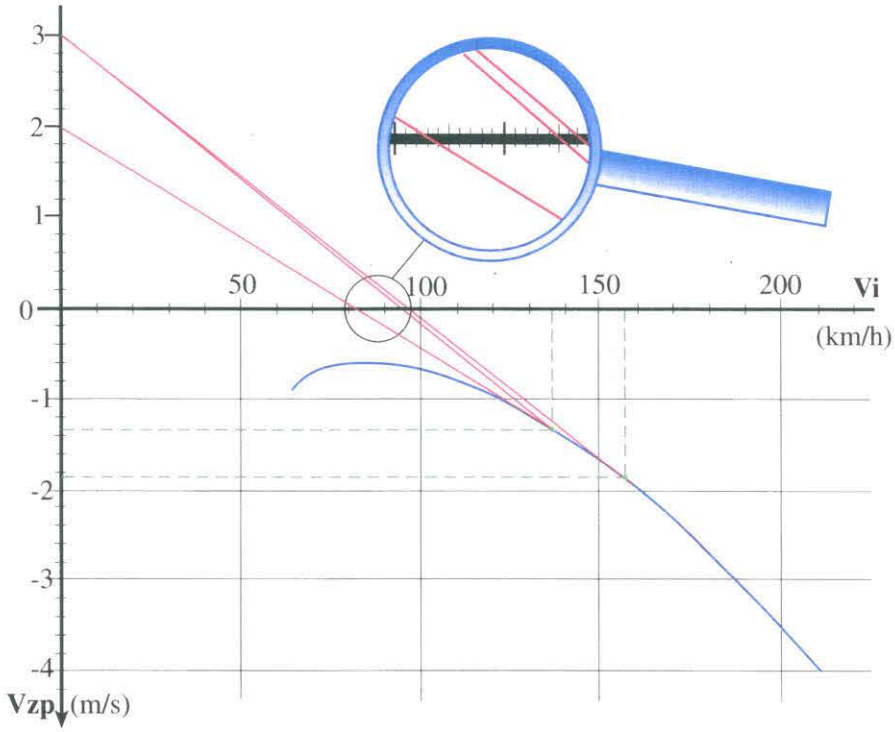


Figure 32

La conclusion paraît évidente :

Il vaut mieux bien monter que bien caler.

Le facteur Vza est très important et cela appelle des commentaires :

- pas de navigation pendant la spirale si possible ;
- technique de prise d'ascendance et de recentrage à perfectionner sans cesse (et donc nécessité de voler pour s'entraîner même si les conditions météo ne permettent que des vols difficiles en local seulement, par exemple en début ou en fin de saison) ;
- attention particulière aux signes révélateurs d'ascendance ;
- observation et analyse aérologique à affiner ;
- sélection très stricte des ascendances en fonction de leur valeur et de leur facilité.

Un vélivole qui perfectionne sa technique de vol et se maintient à un bon niveau d'entraînement réalisera donc de très bonnes Vza moyennes et pourra entreprendre des vols sur la campagne, même longs, avec de très sérieuses chances de réussite, même s'il a tendance à sous-caler volontairement, par exemple pour éviter les raccrochages à basse altitude.
Sur l'ensemble d'un circuit, son temps total de montée en ascendance sera minimum et lui donnera donc plus d'aisance au niveau des transitions (voir également le "Manuel du pilote de vol à voile" phase 7 pages 147 à 154, phase 10 pages 201 à 212).

3.3. Perte ou gain dus au cheminement

Dans la deuxième partie de ce chapitre (II - 2.4.), à propos des cas particuliers d'application de la théorie Mac Cready, le cheminement est apparu comme un élément très influent sur la vitesse de croisière.
Contrairement à l'influence des deux autres facteurs (Vi et Vzam), l'influence du facteur Vzw est difficile à évaluer en l'air. S'il est possible d'évaluer assez précisément la Vza moyenne la meilleure possible et donc le meilleur régime de vol sur un circuit ou une portion de circuit, il est par contre quasiment impossible d'évaluer une valeur Vzw positive qui caractériserait, durant la même période du vol, le meilleur cheminement réalisable ce jour-là.
Pourtant, nombreux sont les vélivoles qui ont pu constater les effets très sensibles de cheminements différents, le même jour, avec des planeurs de performances égales.

Exemples :
※ Fréquemment, des vélivoles transitent en groupe. L'avantage est de "ratisser" les meilleures ascendances, notamment en thermique pur et dans des situations aérologiques délicates. Durant ces transitions, les planeurs se trouvent parfois côte à côte à des distances relativement faibles (200 ou 300 m). Il n'est pas rare alors de voir l'un d'eux s'enfoncer nettement par rapport aux autres ou, à l'inverse, rester "collé au plafond". Involontairement dans ce dernier cas, un meilleur cheminement a été utilisé. Et cela a pu, à certaines occasions, permettre à un vélivole de raccrocher aisément ou de rentrer alors que ses compagnons de route se sont "vachés" ou ont dû faire un "point bas" délicat.

※ De même, en compétition, l'écart entre deux concurrents n'est parfois dû ni à une différence de Vza moyenne ni à des erreurs de choix de régime de vol, mais seulement à des cheminements meilleurs qui ne sont pas toujours dus à la chance mais parfois à une très bonne connaissance et une très bonne observation de l'aérologie.
Dans certaines rencontres, des vélivoles disposant même de planeurs nettement moins performants ont pu se glisser parmi les vainqueurs grâce à leur intelligence de ces éléments du vol sur la campagne.
A défaut d'avoir des données vraiment exactes sur ce problème, il est indispensable d'y avoir été sensibilisé et d'avoir une notion, même approximative, de l'importance du facteur "cheminement" sur la Vcr.
Dans ce but, il est possible de comparer des planeurs identiques volant avec Vza et calage identiques et de leur attribuer des valeurs moyennes de Vzw dues à des cheminements plus ou moins bons.

Quatre planeurs volent avec une Vzam de 3 m/s, un vent nul et un calage à +3. Par contre, ils cheminent différemment :

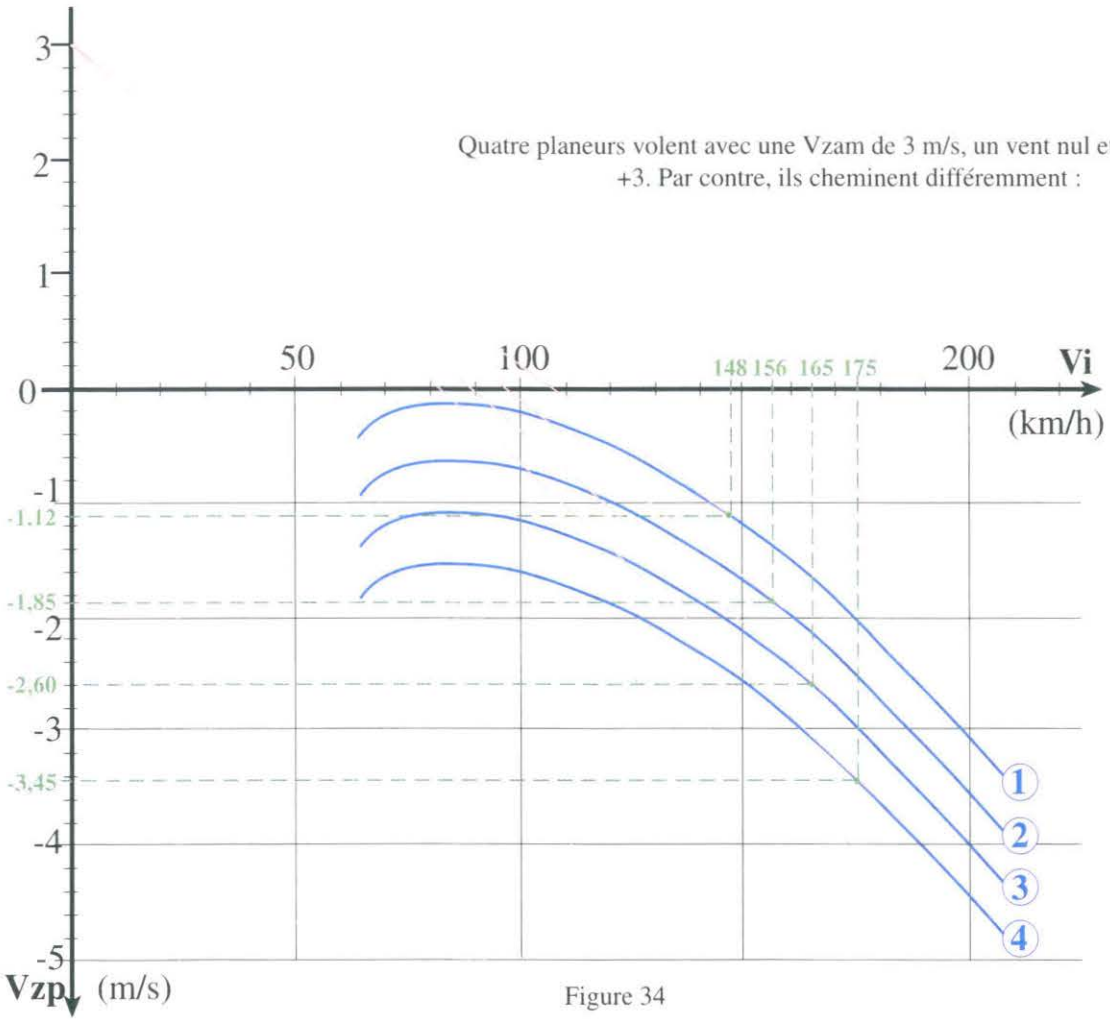


Figure 34

	1	2	3	4
Bilan masse d'air (Vzw) en m/s	+ 0,5	0	- 0,5	- 1
Vitesse de croisière en km/h	107,5	96,5	88	81
Différence en %	+ 11,5	Référence	- 10	- 17
Vi moyenne en transition en km/h	148	156	165	175
Finesse réelle	37	23,5	17,6	14

Les différences sont considérables entre le planeur qui a suivi un bon cheminement et celui qui a suivi un cheminement moyen. Quant à ceux qui cheminent mal, ils ont perdu beaucoup de temps sur le planeur cheminant moyennement et encore plus sur le premier. Nous remarquons également une forte diminution de la finesse.

Il peut être intéressant également de comparer l'importance d'une erreur de cheminement à celle d'une erreur de calage (ou à un sous-calage volontaire).

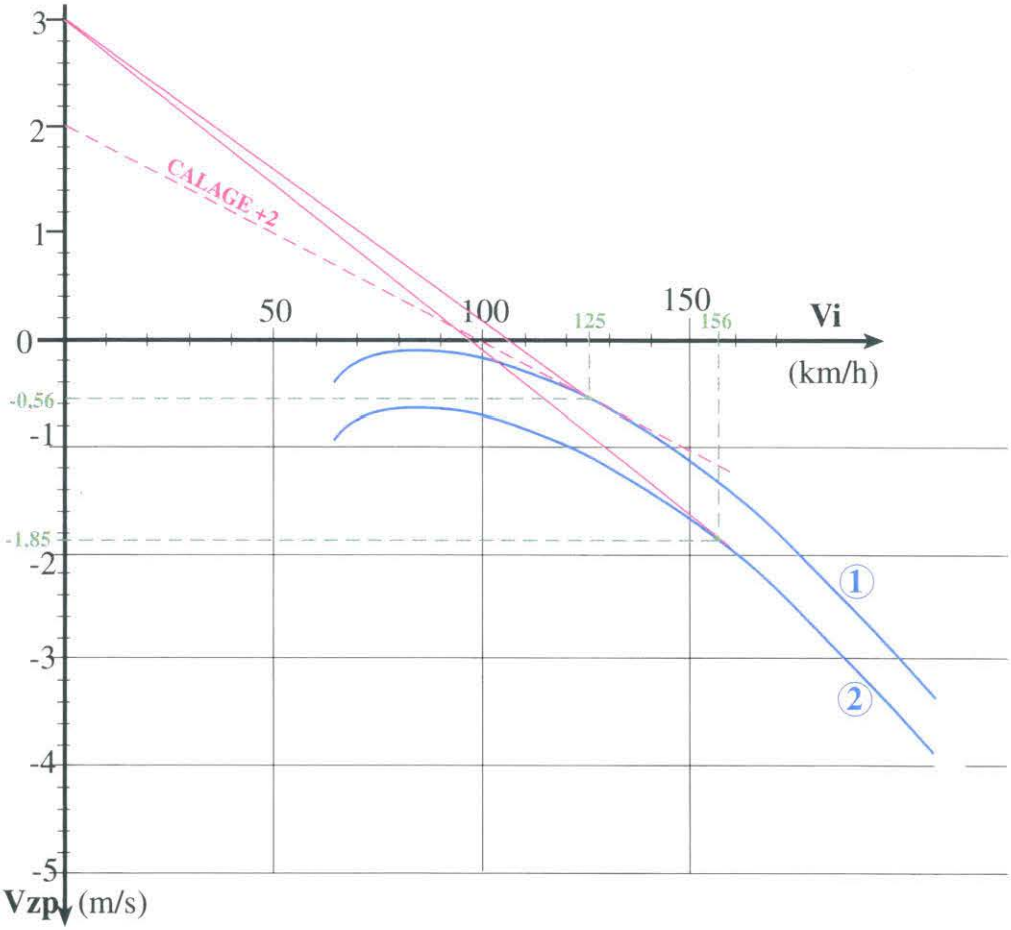


Figure 35

	PLANEUR 1	PLANEUR 2
Bilan masse d'air (Vzw) en m/s	+ 0,5	0
Régime de vol	Cal. + 2	Cal. + 3 (Vcr max)
Vitesse de croisière en km/h	106	96,5
Vi moyenne en transition en km/h	125	156

La comparaison indique clairement **qu'un bon cheminement, tout comme une bonne Vza moyenne, est beaucoup plus important qu'un calage précis**.
Le vélivole doit donc, en tout premier lieu, s'attacher à perfectionner sa technique dans ces domaines (exploitation 'ascendance et cheminement) avant d'entreprendre la réalisation de vols sur la campagne longs, difficiles ou rapides, que ne saurait lui assurer le seul choix de bons régimes de vol en transition.

Exercice :Vous disposez du même planeur et des mêmes conditions :

Vzam = 3 m/s et vent nul.

Comparez les deux cas suivants et tirez-en les conclusions après avoir rempli le tableau :

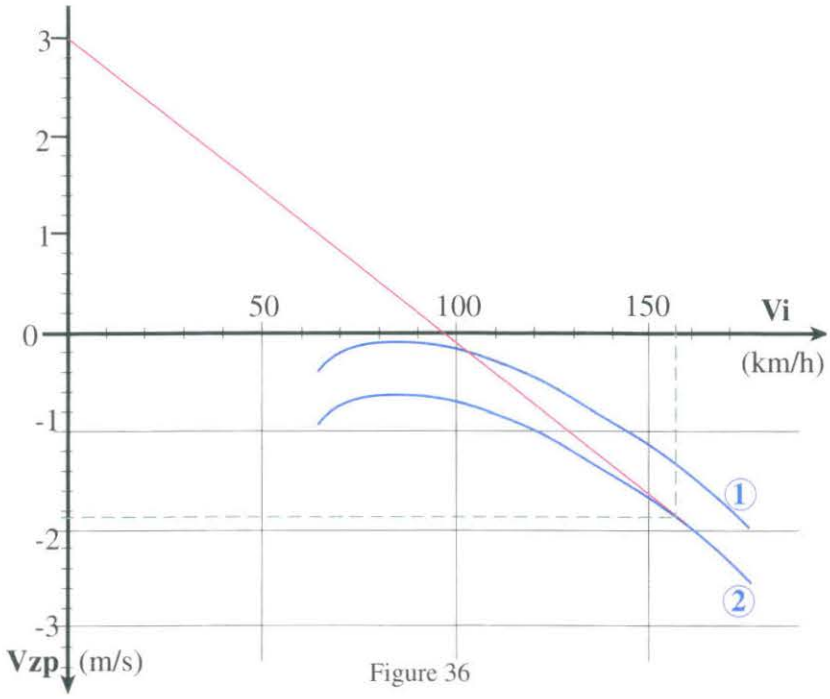


Figure 36

	1	2
Vza réelle	+ 3 m/s	+ 3 m/s
Calage	+ 1 *(sous-calage de 2 m)*	+ 3 *(calage à Vcr max)*
Vzw	+ 0,5 *(bon cheminement)*	0 *(cheminement moyen)*
Vcr		
Vi en transition		
Finesse		

4. INFLUENCE DU VENT SUR LE VOL A VCR MAX.

Jusqu'ici, nous avons vu comment évaluer ou calculer la valeur de la Vcr pour un vol effectué par vent nul. La présence de vent de face ou arrière, sur une partie d'un circuit, va modifier la valeur de cette Vcr. Nous allons voir de quelle manière, selon le cas :

4.1. Vcr max. en vol thermique avec du vent de face

Reprenons la figure représentant notre planeur sur une portion de circuit entre 2 ascendances sélectionnées :

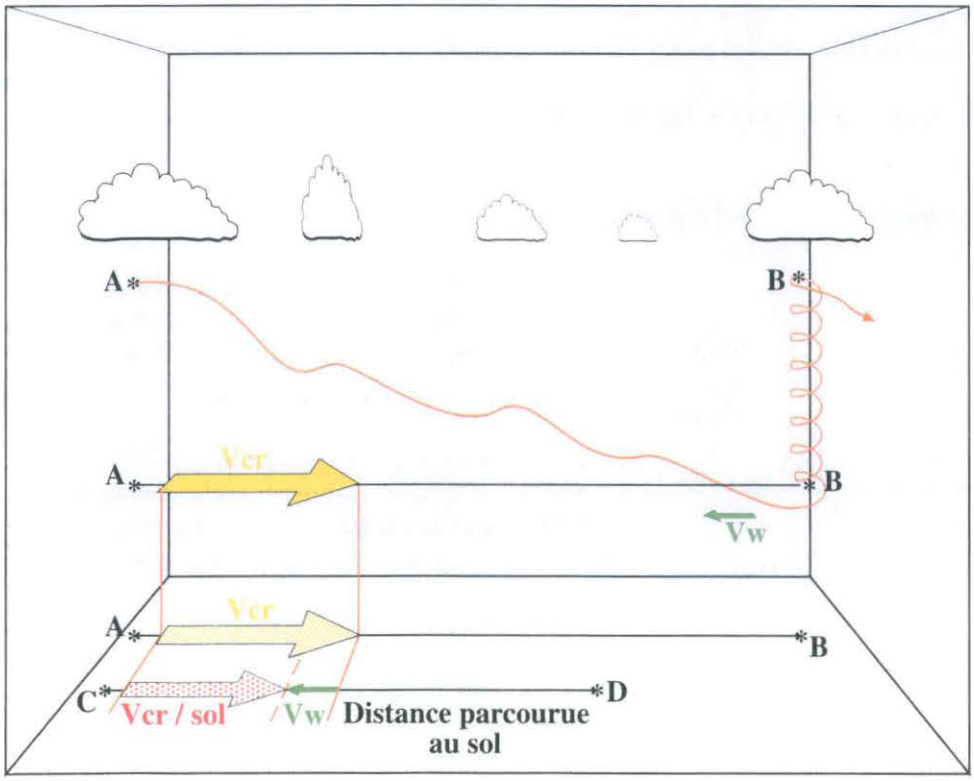


Figure 37

Les ascendances thermiques étant en déplacement avec la masse d'air, nous pouvons considérer un volume d'air dans lequel est contenu le parcours du planeur de A à B.

Sur la distance AB, le planeur a une

$$Vcr = Vi \cdot \frac{Vza}{Vza + Vzp}$$

Sur la distance CD parcourue au sol, le planeur a en vol thermique une Vcr/sol de :

$$Vcr / sol = Vcr - Vw$$

où Vw est la vitesse du vent de face.

Exemple :

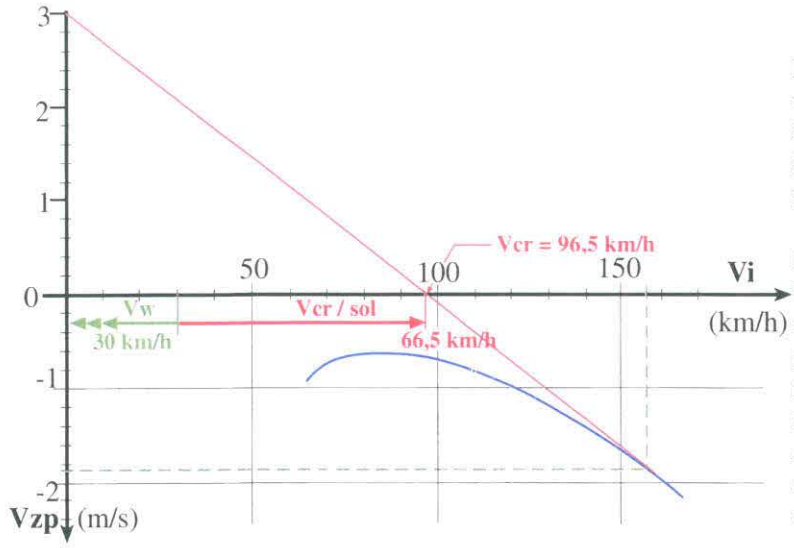


Figure 38

Le planeur effectue son parcours à Vcr max. avec une Vzam de +3 m/s et un vent de face de 30 km/h.
Son calage est de +3.
Sa Vcr sans vent aurait été de 96,5 km/h.
Sa Vcr/sol est en fait de 66,5 km/h seulement.

Comme on peut le vérifier sur la polaire ci-dessus, pour le calage à Vcr max. en thermique, on ne tient pas compte du vent sur la route. Seul le résultat (Vcr/sol) change. Tout autre calage serait pénalisant en vitesse. Pour le vérifier, comparons les Vcr/sol de trois planeurs du même type volant sur une branche vent de face (40 km/h) avec des ascendances thermiques de + 2 m/s. Un seul d'entre eux vole à Vcr max., les deux autres adoptant des régimes de vol plus lents.

Bilan

-Planeur ayant transité au calage +2 (Vcr max.)
Vi en transition = 136 km/h
Vcr = 82,5 km/h
Vcr/sol = 42,5 km/h

-Planeur ayant transité au calage +1
Vi en transition = 116 km/h
Vcr = 80 km/h (perte de 3%)
Vcr/sol = 40 km/h soit une perte de 6%

-Planeur ayant transité au calage 0
Vi en transition = 94 km/h
Vcr = 71,5 km/h (perte de 13%)
Vcr/sol = 31,5 km/h soit une perte de 25%

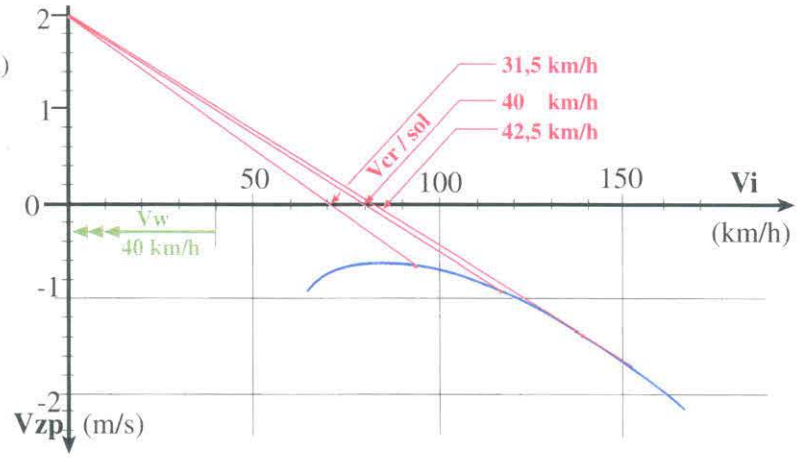


Figure 39

Vous remarquez que **dans le cas du vol en thermique sur une branche vent de face, le sous-calage devient plus fortement pénalisant.**

4.2. Vcr max. en vol thermique avec du vent arrière

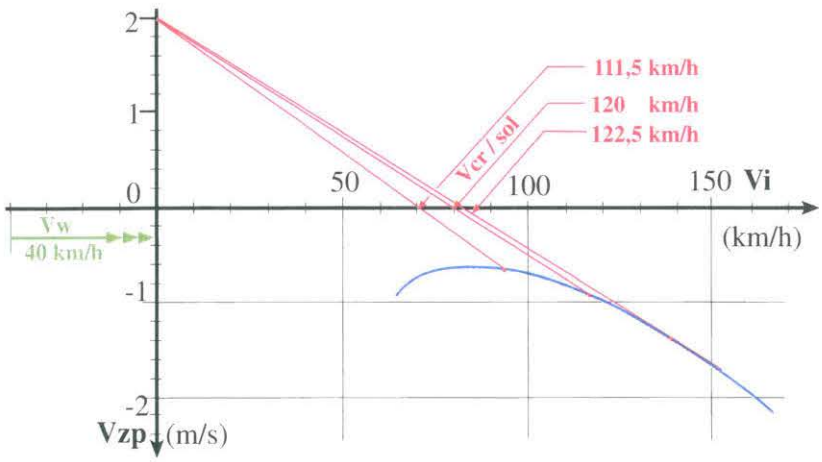


Figure 40

Pour les même raisons, mais dans le sens inverse, un parcours en vol thermique sur une branche vent arrière se fera avec une Vcr/sol égale à :

Vcr / sol = Vcr + Vw

Avec un planeur moderne et dans le cas du vol en thermique **sur une branche vent-arrière, l'erreur de calage**, comme il apparaît nettement sur la figure ci-contre, **perd sa gravité**.

En effet, le planeur volant avec un sous-calage de 1 m subit une perte négligeable et celui qui sous-cale de 2 m subit une perte modérée.

CHAPITRE II

✺

A RETENIR

1. La vitesse de croisière est une vitesse moyenne réalisée sur un circuit ou une portion de circuit.

$$Vcr = Vi \cdot \frac{Vza}{Vza + Vzp}$$

2. La vitesse de croisière ne dépend pas de la hauteur perdue ou regagnée ni de la distance parcourue mais de la Vza, la Vzd (ou Vzp) et la Vi.

3. La meilleure valeur de Vcr est obtenue lorsque le point d'utilisation sur la polaire est le point de contact entre la polaire et la tangente issue de la valeur de Vza rencontrée.

4. Principe du calage Mac Cready pour le vol à Vcr max. : il suffit de placer l'index de la couronne des vitesses sur la valeur de la Vza espérée dans la prochaine ascendance.

5. Bilan du vol à Vcr max. :

Le vélivole :
- cale le MC sur la valeur de l'ascendance espérée ;
- accepte de perdre une partie de la finesse disponible ;
- gagne beaucoup de temps dans les transitions ;
- doit être sûr de trouver une ascendance supérieure ou égale à son calage ;
- est conduit à raccrocher à plus basse altitude, et prendre plus de risques.

6. Il est nécessaire d'adapter sa tactique de vol non seulement aux Vza rencontrées mais encore (et au préalable) à l'autonomie dont on dispose.

7. L'hypothèse de M. Mac Cready est que, sur un parcours suffisamment long, les ascendances et les descendances s'équilibrent globalement (bilan Vzw = 0). Statistiquement, la justesse de ce raisonnement est vérifiée.

8. La perte sur la vitesse de croisière par mauvais cheminement est très importante.
Le gain sur la vitesse de croisière par un bon cheminement peut être également très important.

9. Un sous-calage modéré, lors d'un vol avec de fortes Vza, est peu pénalisant.
Par contre, un sous-calage excessif devient très pénalisant.

10. C'est dans la rigueur de la sélection des ascendances qui réside l'efficacité du vol au Mac Cready.

11. Le sur-calage de Mac Cready est une erreur à éviter.

12. Il vaut mieux bien monter que bien caler.

13. Un bon cheminement, tout comme une bonne Vza moyenne, est beaucoup plus important qu'un calage précis.
Le vélivole doit donc, en tout premier lieu, s'attacher à perfectionner sa technique dans ces domaines (exploitation d'ascendance et cheminement) avant d'entreprendre la réalisation de vols sur la campagne longs, difficiles ou rapides que ne saurait lui assurer le seul choix de bons régimes de vol en transition.

14. Pour le calage à Vcr max. en thermique, on ne tient pas compte du vent sur la route.
Vent de face en vol thermique : Vcr/sol = Vcr - Vw
Vent arrière en vol thermique : Vcr/sol = Vcr + Vw
Lors d'un vol en thermique, sur une branche vent de face, le sous-calage devient plus fortement pénalisant.
Lors d'un vol en thermique, sur une branche vent-arrière, les erreurs de calage perdent leur gravité.

EXERCICES SE RAPPORTANT AU CHAPITRE II

A l'aide de la même polaire qu'en fin de chapitre I, vous pourrez vérifier si vous avez bien assimilé les principaux enseignements du chapitre que vous venez d'étudier.

❑ Quelles sont la Vi en transition, la Vzp et la finesse correspondant aux régimes de vol suivants :
- vol à fin max.
- calage à +1
- calage à +2
- calage à +3

❑ Quelles sont les Vcr respectives de planeurs adoptant ces quatre différents calages avec une Vzam de 3 m/s sur la portion de circuit considérée ?

❑ Comparez la Vcr de ce planeur lorsqu'il aurait une Vzam de 3 m/s et volerait au calage +1,5 avec celle du même planeur qui aurait une Vzam de 2,5 m/s et volerait à Vcr max.
Lequel aurait :
- la meilleure Vcr ;
- la meilleure autonomie ;
- la Vi en transition la plus faible ?

❑ Trois planeurs du même type volent avec une Vzam de 3 m/s.
Le premier pilote chemine plutôt mal (bilan masse d'air Vzw = -0,5 m/s) et vole à Vcr max.
Le second pilote chemine correctement (bilan masse d'air Vzw = 0) et vole également à Vcr max.
Le troisième pilote a décidé de sous-caler fortement afin de pouvoir plus tranquillement peaufiner son cheminement. Le résultat est un bilan masse d'air assez bon (Vzw = +0,5 m/s).
Quelles sont leurs Vcr, leurs Vi en transition et leurs finesses respectives ?

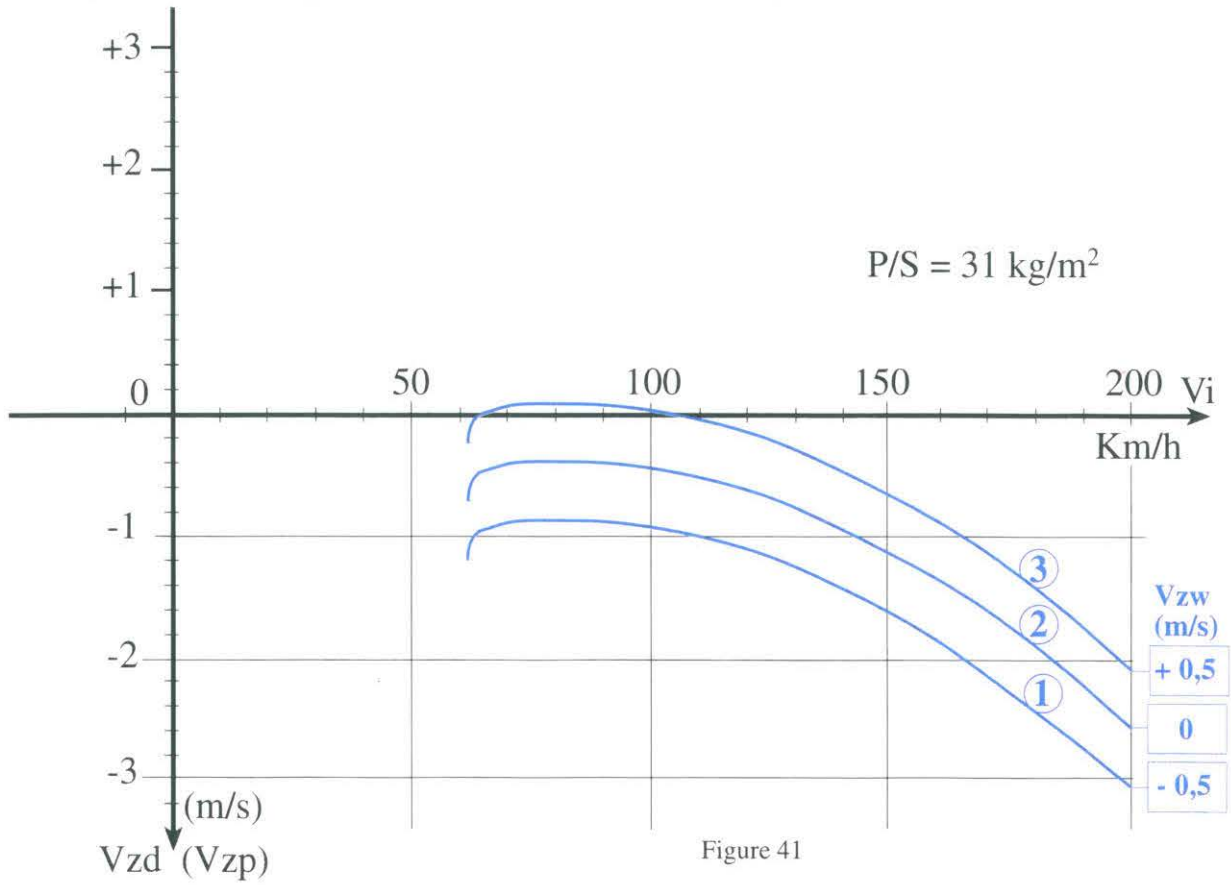


Figure 41