

Polaires d'un planeur en virage

Exemple et méthode d'établissement

Matthieu Scherrer
Pour la commission formation du CNVV

Septembre 2004

Table des matières

1 Exemple : le planeur ASW 28	4
1.1 La documentation disponible	4
1.2 Quelques informations utiles obtenues à partir de ces données	5
1.3 Résultats : polaire avec inclinaison	7
1.3.1 Polaires et inclinaison	8
1.3.2 Polaires et rayon de virage	11
2 La méthode de création des polaires en virage	15
2.1 Établissement de la polaire aérodynamique	15
2.2 Polaires en virage	17
2.3 Rayon de virage et inclinaison	18

Introduction

Vous trouverez ici quelques données sur l'influence de l'angle d'inclinaison en virage sur les performances d'un planeur. Sont utilisées uniquement des "informations ouvertes", disponibles dans la documentation classique des planeurs.

Dans un premier temps, l'exemple du planeur ASW 28 est traité : à partir de la polaire disponible dans le manuel de vol, on trouve la polaire aérodynamique de ce planeur. Puis les polaires de ce planeur en virage sont obtenues, et tracées de plusieurs façons.

Dans un second temps, on expose la méthode qui permet d'aboutir à ces résultats. Quelques équations assez simple permettront de réutiliser la méthode pour d'autres planeurs.

Chapitre 1

Exemple : le planeur ASW 28

1.1 La documentation disponible

En consultant le manuel de vol, ou encore la documentation publicitaire, il est possible de trouver la polaire de vitesse du planeur ASW 28. Cette polaire constitue la base de travail pour ensuite en déduire les polaires modifiées pour le virage.

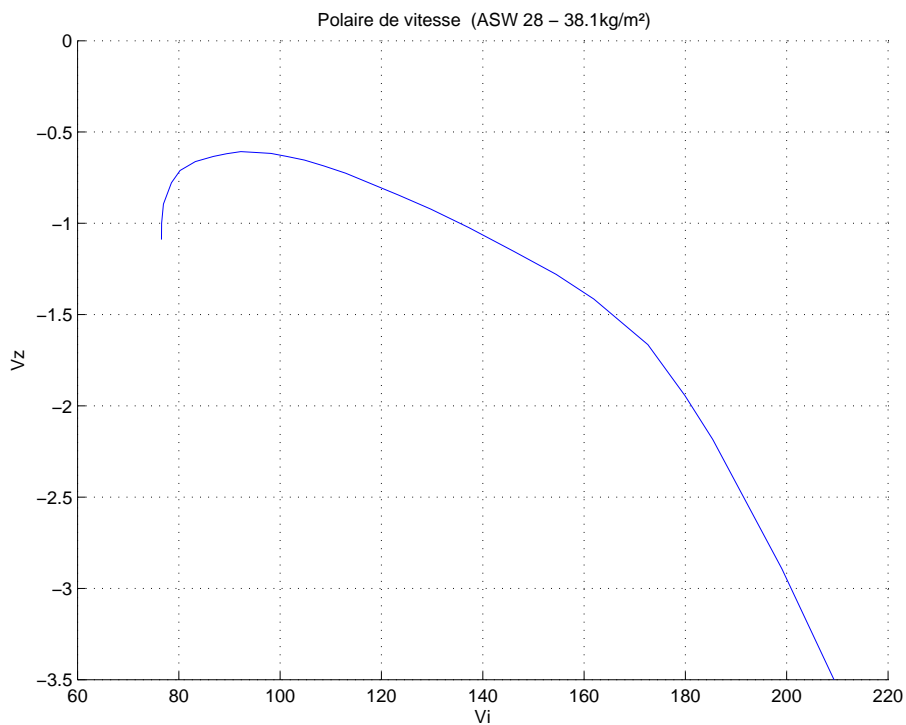


FIG. 1.1 – La polaire de vitesse, disponible dans le manuel de vol. Planeur ASW 28 à 38.1kg/m²

1.2 Quelques informations utiles obtenues à partir de ces données

À partir de cette polaire de vitesse, et connaissant la charge alaire (ici 38.1kg/m^2), on en tire la polaire aérodynamique du planeur ASW 28.

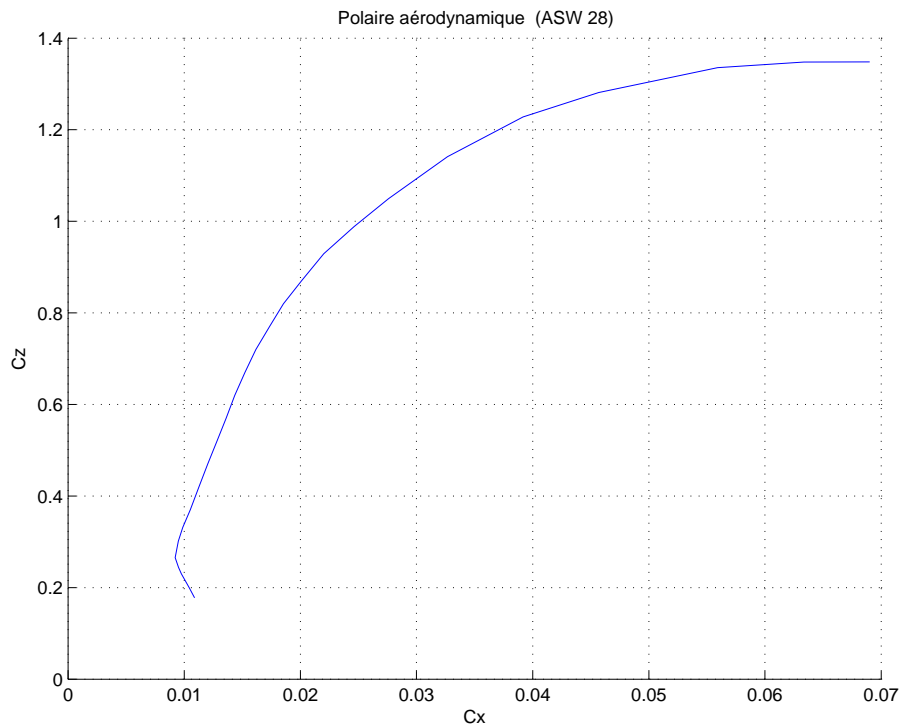


FIG. 1.2 – La polaire aérodynamique, obtenue à partir de la polaire de vitesse pour une charge alaire donnée.

Au delà de l'utilisation que l'on va ensuite faire de cette polaire aérodynamique, on peut en tirer également quelques informations sur l'aérodynamique de ce planeur :

- Coefficient de traînée minimum $C_{x_{min}} = 0.0092$
- Coefficient de portance maximale $C_{z_{max}} = 1.35$
- Coefficient de portance à la finesse max $C_{z_{Finesse\ max}} = 0.74$
- Finesse max $f_{max} = 44$

À partir de là on peut, en passant, tracer la vitesse de finesse max de cet ASW 28, en fonction de la charge alaire.

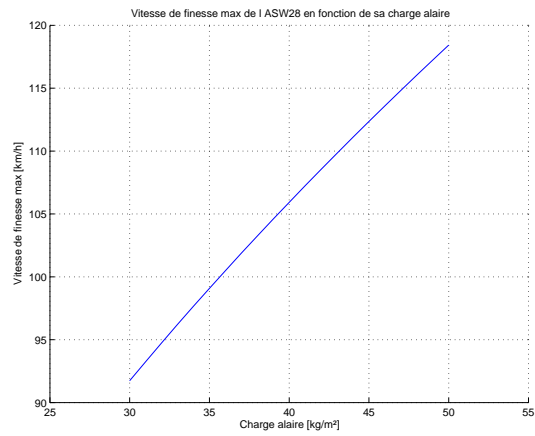


FIG. 1.3 – Vitesse de finesse max en fonction de la charge alaire.

Annexe : la polaire de vitesse de l'ASW 28

polaire asw28 38.1kg/mš

210.9400	-3.593
199.0300	-2.892
185.4000	-2.184
179.9100	-1.944
172.5900	-1.665
161.9100	-1.415
154.5000	-1.280
146.1994	-1.155
137.2214	-1.023
129.7172	-0.922
123.3232	-0.845
117.7902	-0.781
112.9407	-0.726
108.6448	-0.686
104.8046	-0.654
101.3447	-0.634
98.2063	-0.617
95.3426	-0.612
92.2500	-0.607
89.4400	-0.619
86.8100	-0.634
83.2500	-0.662
80.2500	-0.711
78.5600	-0.778
76.9500	-0.895
76.6000	-1.000
76.5900	-1.089

1.3 Résultats : polaire avec inclinaison

Voici, en utilisant la méthode qui sera décrite plus loin, les polaires de cet ASW 28 en virage, pour une charge alaire de 38.1kg/m^2 . On représente de plusieurs façons, plus ou moins lisible et plus ou moins esthétique (!), ces polaires.

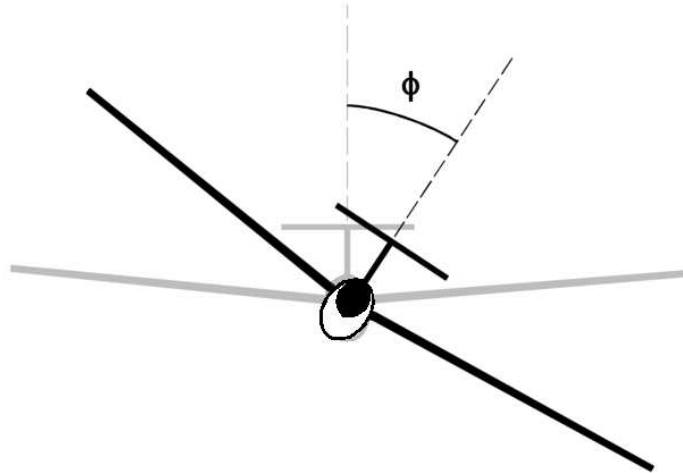


FIG. 1.4 – Illustration de l'inclinaison ϕ .

On supposera que le pilotage est parfait (fil au milieu, en particulier), ce qui conduit sans doute à sous-estimer l'influence du virage sur le taux de chute.

1.3.1 Polaires et inclinaison

On trace classiquement des polaires de vitesse telles qu'on a l'habitude de les voir, mais pour plusieurs inclinaisons.

On peut ainsi illustrer les deux résultats classiquement observés :

- La vitesse minimale augmente avec l'inclinaison (ligne noire pointillé).
- Le taux de chute minimal augmente, et la vitesse de chute mini augmente également.
- La vitesse de finesse max augmente, et la finesse max diminue (ligne rouge pointillé).

Par exemple, incliné à 60° , il faut spiraler à 130km/h pour être à taux de chute minimal

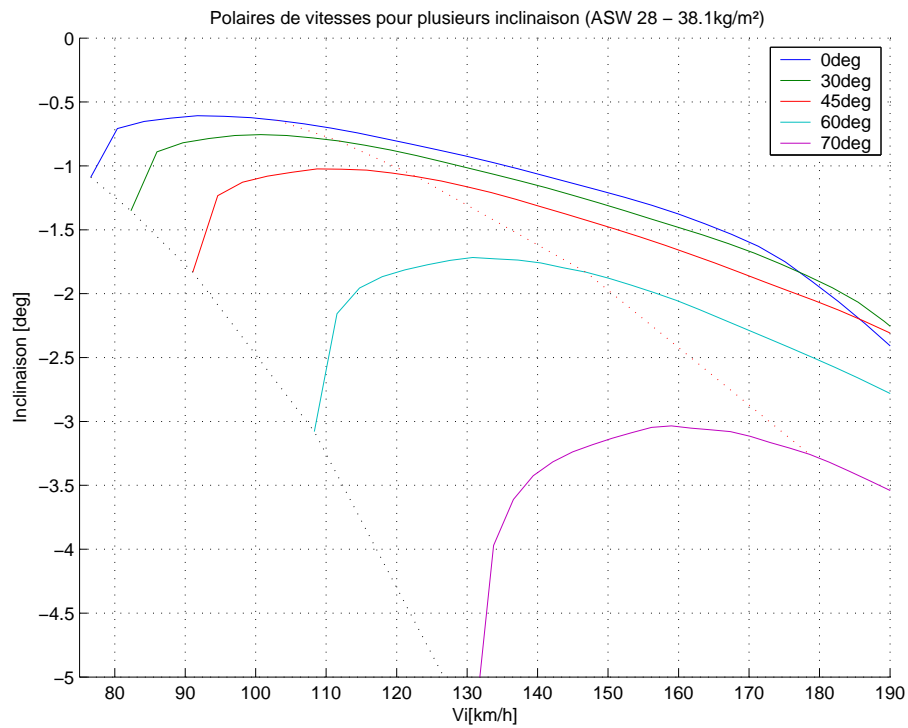


FIG. 1.5 – Les polaires de vitesse pour plusieurs inclinaisons.

En assemblant ces polaires, il est également possible tracer une surface, représentant le taux de chute V_z en fonction de la vitesse et de l'inclinaison. C'est très joli, mais finalement assez peu lisible.

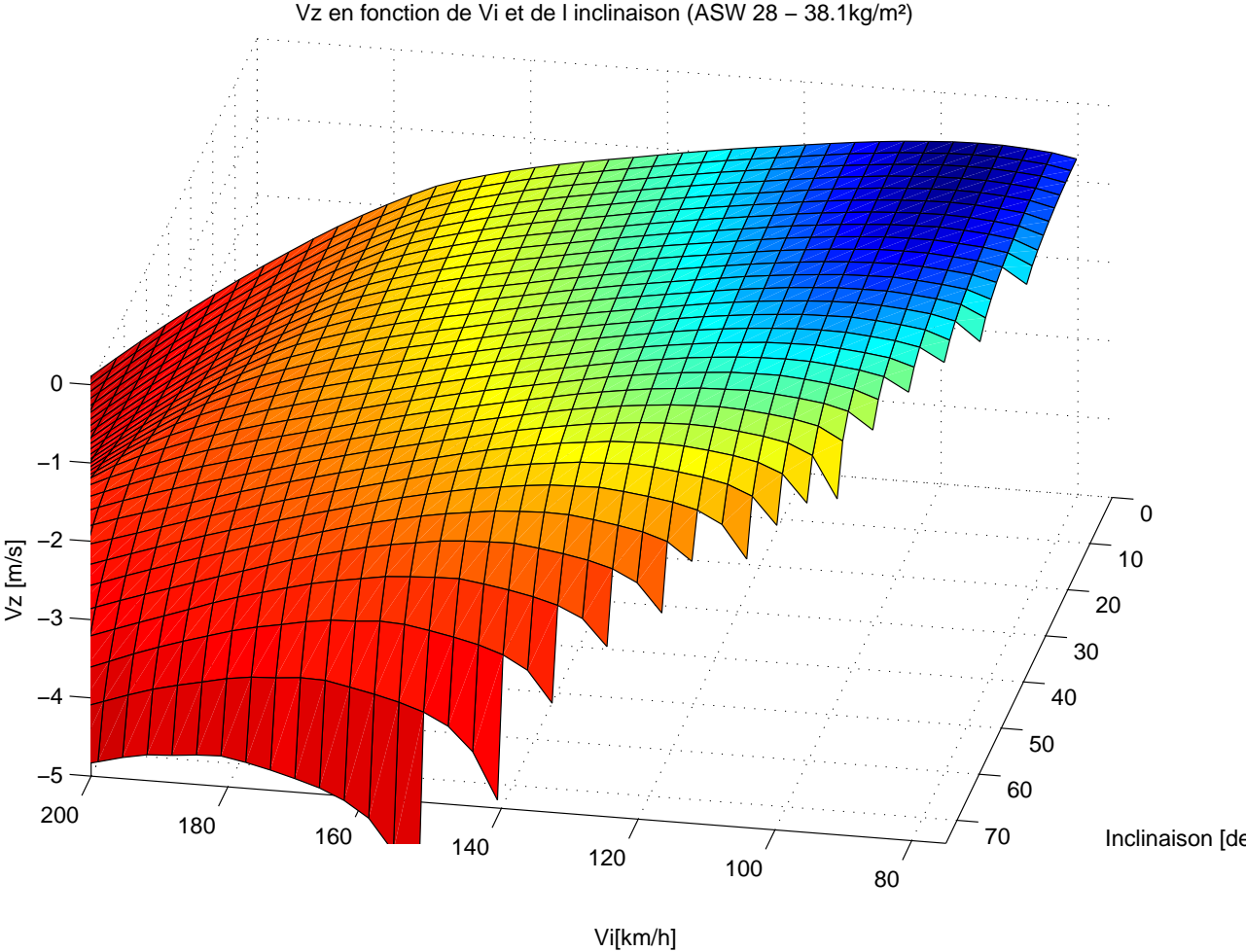


FIG. 1.6 – Visualisation en trois dimensions : V_z fonction de V_i et de l'inclinaison.

Une autre façon plus lisible pour tracer une surface est de représenter les lignes de niveau du taux de chute V_z en fonction de la vitesse et de l'inclinaison. On obtient ainsi une "carte IGN" du taux de chute, dont la hauteur correspond au taux de chute. Aller vers le taux de chute minimum, c'est se placer sur le "sommet" du relief ainsi dessiné. Et plus on descend la pente, plus on est vers des taux de chute importants.

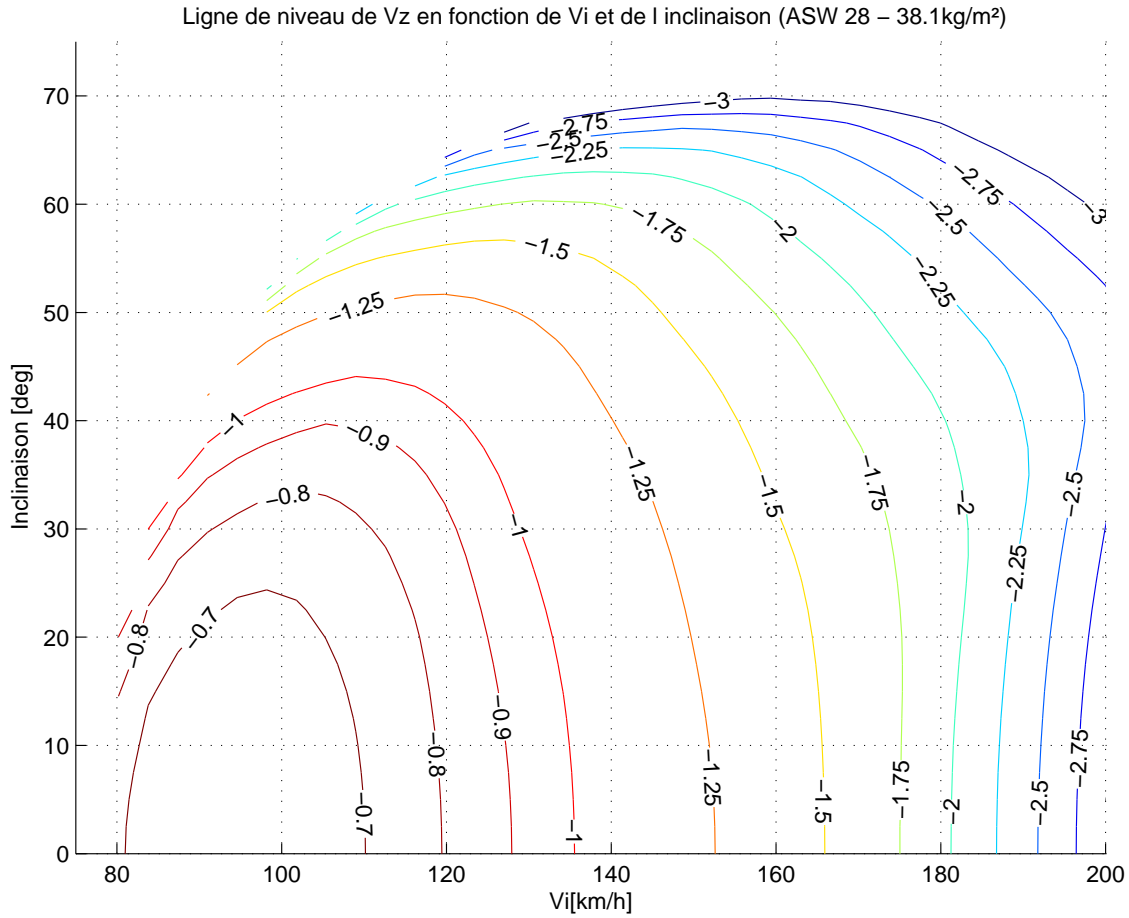


FIG. 1.7 – Visualisation en ligne de niveau : valeur de V_z fonction de V_i et de l'inclinaison.

1.3.2 Polaires et rayon de virage

Un des enjeux de la spirale est de choisir le bon rayon de virage vis à vis de l'ascendance, plus que l'angle d'inclinaison. Il peut donc être intéressant de connaître les polaires, non pas en fonction de l'angle d'inclinaison, mais en fonction du rayon de virage effectif.

Notons que la relation entre vitesse, inclinaison et rayon de virage est indépendante du planeur.

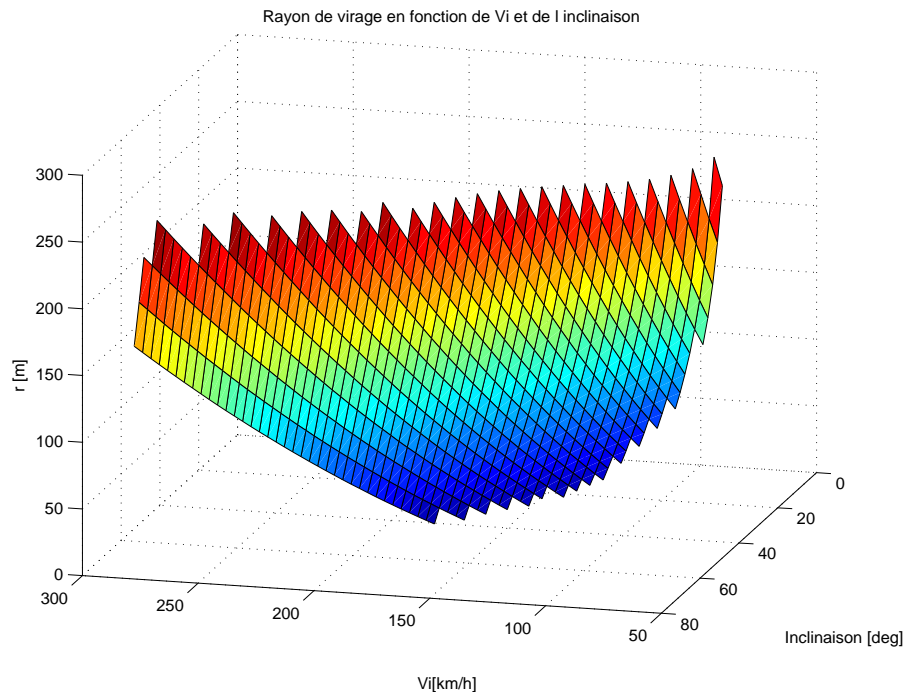


FIG. 1.8 – Visualisation en trois dimension du rayon de virage en fonction de V_i et de l'inclinaison (indépendant du planeur).

On peut là encore tracer plusieurs polaires, mais correspondant cette fois à plusieurs rayon de virage. On illustre bien que serrer une ascendance coûte du taux de chute, mais également, selon le rayon de virage choisi, la vitesse de chute minimale n'est pas la même.

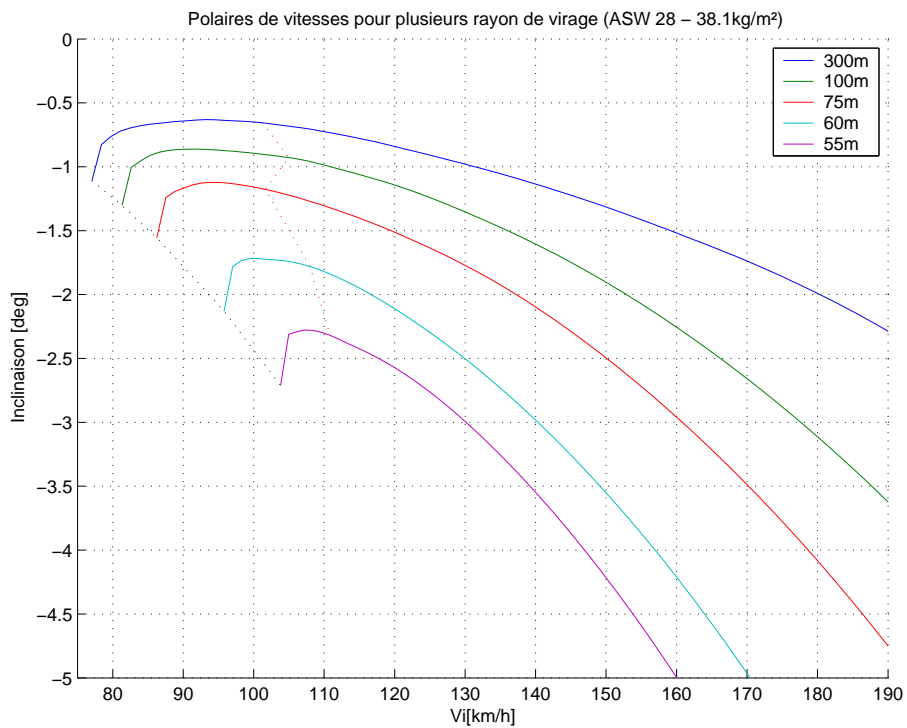


FIG. 1.9 – Les polaires de vitesse pour plusieurs rayon de virage (pilotés).

En assemblant ces polaires, on peut toujours tracer une surface, représentant le taux de chute V_z en fonction de la vitesse et du rayon de virage. C'est encore très joli...

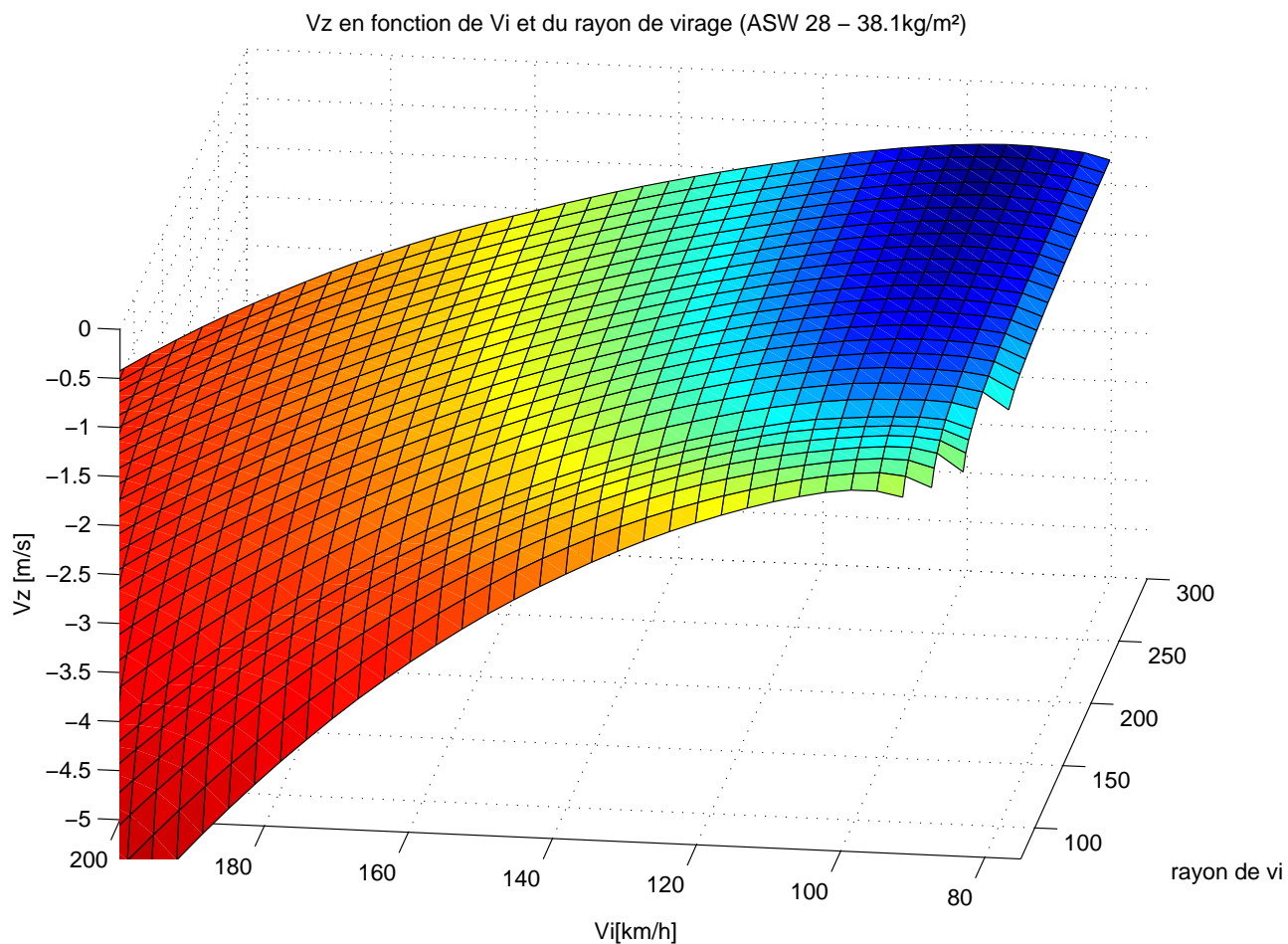


FIG. 1.10 – Visualisation en trois dimension de V_z fonction de V_i et du rayon de virage.

Une fois de plus, on peut tracer les lignes de niveau du taux de chute V_z en fonction cette fois de la vitesse et du rayon de virage.

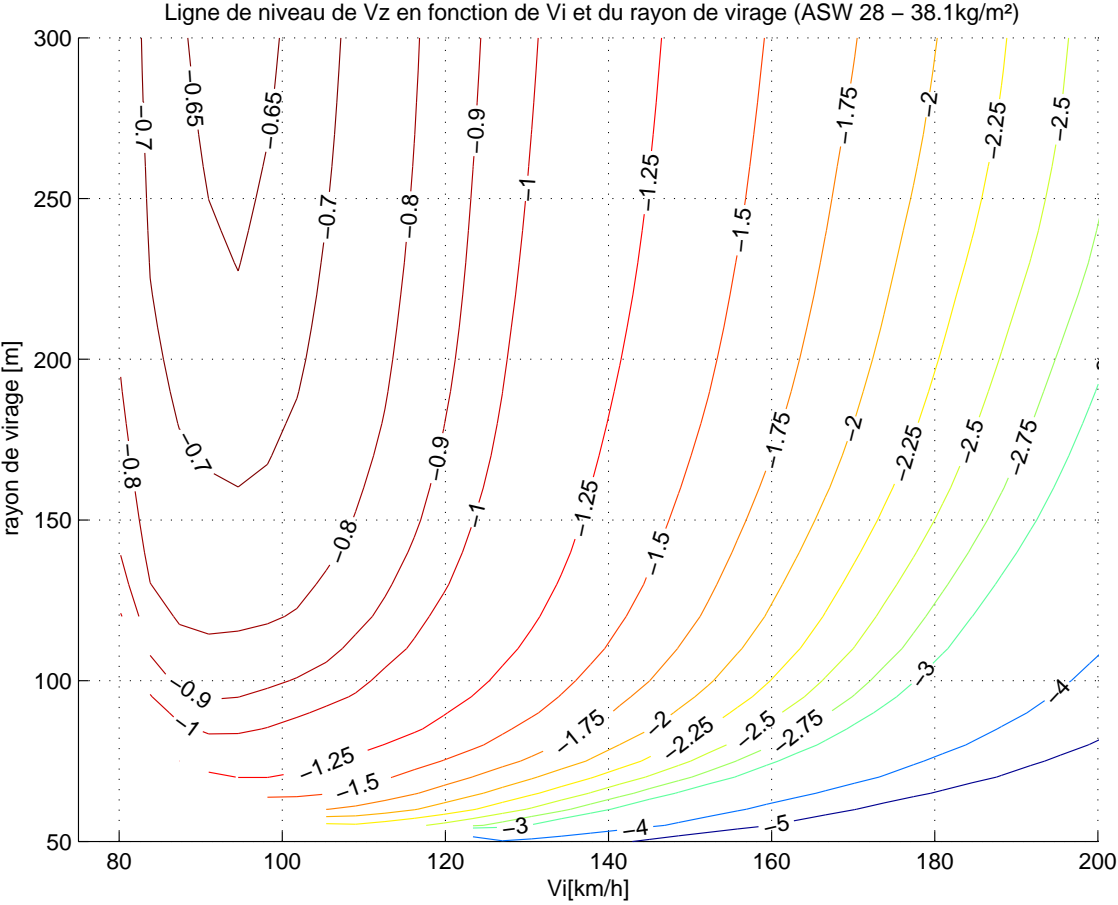


FIG. 1.11 – Visualisation en ligne de niveau : valeur de V_z fonction de V_i et du rayon de virage.

Chapitre 2

La méthode de création des polaires en virage

Dans ce chapitre, on écrit les formules utilisées pour réaliser les polaires en virage de tout planeur, et on explique la méthode.

Dans un premier temps, il faut établir la polaire aérodynamique du planeur concerné. Puis on en déduit les polaires de vitesse en virage.

2.1 Établissement de la polaire aérodynamique

La polaire de vitesse, pour une inclinaison nulle, s'établi usuellement avec les formules suivantes :

$$\begin{cases} V = \sqrt{\frac{2g}{\rho} \frac{m}{S} \frac{1}{\sqrt{Cx}}} \\ Vz = \sqrt{\frac{2g}{\rho} \frac{m}{S} \frac{Cx}{Cz^{3/2}}} \end{cases}$$

En posant $V_1 = \sqrt{\frac{2g}{\rho} \frac{m}{S}}$, qui est une vitesse de référence d'un planeur pour une charge alaire donnée, il est possible d'écrire ces expressions de façon plus lisible :

$$\begin{cases} V_1 = \sqrt{\frac{2g}{\rho} \frac{m}{S}} & \text{Vitesse de référence, dépend de } \frac{m}{S} \\ V = V_1 \frac{1}{\sqrt{Cx}} \\ Vz = V_1 \frac{Cx}{Cz^{3/2}} \end{cases} \quad (2.1)$$

On sépare ainsi l'effet de la charge alaire, qui est contenu dans la valeur de V_1 , et l'effet de l'aérodynamique, contenu dans la polaire aérodynamique (Cx , Cz).

En retournant les expression classiques, il est possible de recréer la polaire aérodynamique en "lisant" la polaire aérodynamique pour une charge alaire donnée, en utilisant les formules suivantes :

$$\text{En posant } V_1 = \sqrt{\frac{2g}{\rho} \frac{m}{S}} \text{ on obtient : } \begin{cases} (1) & Cz = \left(\frac{V_1}{V}\right)^2 \\ (2) & Cx = \frac{V_1^2 Vz}{V^3} \end{cases} \quad (2.2)$$

Expliquons maintenant comment utiliser ces formules !

Méthode de calcul :

1. On calcule la vitesse de référence V_1 pour la bonne charge alaire $\frac{m}{S}$, et les condition standarts au sol ($\rho = 1.225$, $g = 9.81$). Cette vitesse reste la même sur toute la polaire.
2. On choisi une vitesse V , on la transforme en m/s, on en déduit la valeur du Cz grace à la formule (1).
3. On lit sur la polaire le taux de chute Vz correspondant et on en déduit le Cx grace à la formule (2).
4. On reporte sur la polaire aérodynamique le point de coordonnée (Cx, Cz) .

Exemple : On utilise la polaire vue au paragraphe 1.1, pour une charge alaire de 38.1kg/m^2 .

1. On calcule la vitesse V_1 pour la charge alaire $\frac{m}{S} = 38.1\text{kg/m}^2$:

$$V_1 = \sqrt{\frac{2 \times 9.81}{1.225} \times 38.1} = 24.7\text{m/s}$$

Dans les condition standart au sol ($\rho = 1.225$, $g = 9.81$).

2. On choisi par exemple la vitesse $V = 130\text{km/h}$

On la transforme en m/s :

$$V_{m/s} = \frac{130}{3.6} = 36.1\text{m/s}$$

On en déduit la valeur du Cz grace à la formule (1) :

$$Cz = \left(\frac{24.7}{36.1}\right)^2 = 0.4707$$

3. On lit sur la polaire de vitesse le taux de chute Vz correspondant à 130km/h :

$$Vz = 0.92\text{m/s}$$

On en déduit le Cx grace à la formule (2) :

$$Cx = \frac{24.7^2 \times 0.92}{36.1^3} = 0.0119$$

4. On reporte les valeurs ($Cx = 0.0119$, $Cz = 0.4707$) sur la polaire aérodynamique.

On réitère le calcul en partant de l'étape 2. sur les autres vitesses de la polaire de vitesse. En balayant la polaire de vitesse, on obtient toute la polaire aérodynamique.

Pour les basses vitesses, il faut à la fois faire beaucoup de point (75km/h , 77km/h ...) et être le plus précis possible dans la détermination du taux de chute. Pour les grandes vitesse, au delà de 150km/h quelques points suffisent généralement.

2.2 Polaires en virage

Pour réaliser les polaires de vitesse en virage, il faut préalablement connaître la polaire aérodynamique (C_x , C_z), se référer à la partie 2.1.

On va utiliser les formules suivante pour calculer les polaires en virage :

$$\left\{ \begin{array}{l} V_1 = \sqrt{\frac{2g m}{\rho S}} \quad \text{Vitesse de référence, dépend de } \frac{m}{S} \\ (3) \quad V = V_1 \frac{1}{\sqrt{C_z \cos(\phi)}} \\ (4) \quad Vz = V_1 \frac{C_x}{(C_z \cos(\phi))^{3/2}} \end{array} \right. \quad (2.3)$$

On utilise là encore la vitesse de référence V_1 , qui dépend de la charge alaire. Expliquons maintenant comment utiliser ces formules !

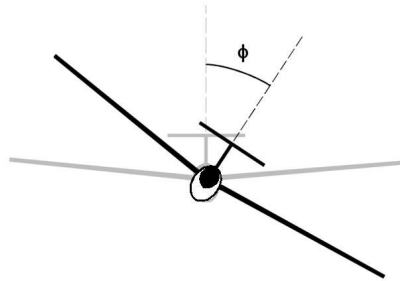


FIG. 2.1 – Illustration de l'inclinaison ϕ .

Méthode de calcul :

1. On calcule la vitesse de référence V_1 pour la bonne charge alaire $\frac{m}{S}$, et les condition standards ($\rho = 1.225$, $g = 9.81$). Cette vitesse reste la même sur toute la polaire.
2. On choisi un inclinaison ϕ .
3. On choisi une valeur de C_z , on en déduit la vitesse V grace à la formule (3) et on la transforme en km/h.
4. On lit sur la polaire aérodynamique le C_x correspondant au C_z choisi, et on en déduit Vz grace à la formule (4).
5. On reporte sur la polaire des vitesse le point de coordonnée (V, Vz) , valable pour une inclinaison donnée.

Exemple : On utilise la polaire aérodynamique déduite précédemment.

1. On calcule la vitesse V_1 pour la charge alaire $\frac{m}{S} = 38.1kg/m^2$:

$$V_1 = \sqrt{\frac{2 \times 9.81}{1.225} \times 38.1} = 24.7m/s$$

Dans les condition standart au sol ($\rho = 1.225, g = 9.81$).

2. On choisi par exemple l'inclinaison $\phi = 60^\circ$
3. On choisi par exemple une valeur $Cz = 0.8$.

On en déduit la valeur de V grace à la formule (3) :

$$V = \frac{24.7}{\sqrt{0.8 \times \cos(60)}} = 39.05m/s$$

On la transforme en km/h :

$$V_{km/h} = 3.6 \times 39.05 = 140.59km/h$$

4. On lit sur la polaire aérodynamique le Cx correspondant à $Cz = 0.8$:

$$Cx = 0.0179$$

On en déduit le taux de chute Vz grace à la formule (4) :

$$Vz = 24.7 \frac{0.0179}{(0.8 \cos(60))^{3/2}} = 1.75m/s$$

5. On reporte les valeurs ($V = 140.59km/h, Vz = -1.75m/s$) sur la polaire de vitesse.

On réitère le calcul en partant de l'étape 2. sur les autres valeurs de Cz de la polaire aérodynamique.

2.3 Rayon de virage et inclinaison

Il existe une relation explicite entre inclinaison, vitesse et rayon de virage, *indépendante du planeur*.

$$r = \frac{V^2}{g \tan(\phi)} \quad (2.4)$$

On donne juste cette expression, sans expliquer la méthode de calcul des polaires à rayon de virage constant, qui est un peu plus complexe...

Conclusion

Voic donc des données sur l'influence de l'angle d'inclinaison en virage sur les performances d'un planeur.

Dans un premier temps, des valeurs numériques sont données, pour l'exemple du planeur ASW 28. Ces résultats permettront d'illustrer des supports pédagogiques.

Dans un second temps, on expose la méthode qui permet d'aboutir à ces résultats. Ces quelques équations assez simple permettront je l'espère de réutiliser la méthode pour d'autres planeurs.

Je suis joignable à l'adresse Email suivante : matthieu.scherrer.04@supaero.org