

COURS THEORIQUE POUR PILOTES ULM Paramoteur (classe 1)

LA POLAIRE DES VITESSES

Philippe LHUILLIER

Moniteur diplômé d'Etat parapente
Instructeur ULM Paramoteur DGAC

SOMMAIRE

DEFINITION

Qu'est-ce qu'une polaire ?

OBJECTIF

PRINCIPE

Pour réaliser les mesures

POINTS CARACTERISTIQUES

- A) Vitesse mini
- B) Taux de chute maxi
- C) Finesse max
- D) Vitesse max trim ouvert

INFLUENCE DE LA CHARGE ALAIRE

INFLUENCE DE LA MASSE D'AIR

EVALUATION

DÉFINITION

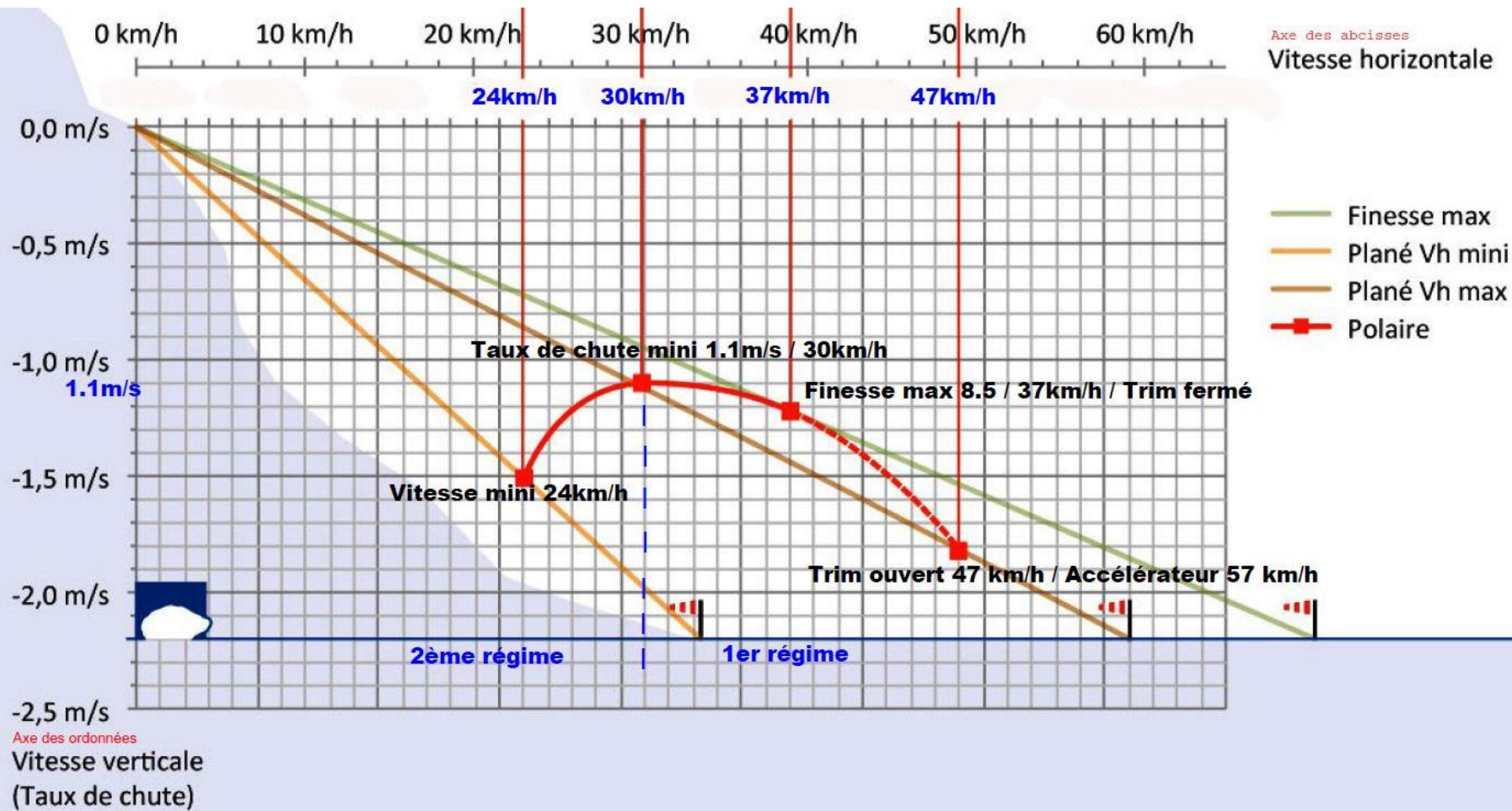
La polaire des vitesses permet de connaître les performances et les caractéristiques d'un ULM.

Qu'est-ce qu'une polaire ?

C'est une courbe qui décrit la vitesse verticale (V_z) d'un ULM en fonction de sa vitesse horizontale (V_x).

OBJECTIF

Comprendre quel est le meilleur régime de vol qu'il faut pratiquer en fonction de la masse d'air dans laquelle on se trouve.



Polaire des vitesses

Mesurée et non calculée

PRINCIPE

En vol, moteur coupé, en air calme, sans vent, on relève pour chaque point caractéristique, la vitesse horizontale (V_x) et la vitesse verticale (V_z).

Pour réaliser les mesures :

Le taux de chute est mesuré avec un variomètre en m/s

La vitesse horizontale est mesurée avec un GPS ou un anémomètre

La vitesse verticale se mesure couramment en m/s, tandis que la vitesse horizontale se mesure en km/h ($1 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h}$)

ANGLE D'INCIDENCE

ANGLE D'INCIDENCE

Angle entre le plan de l'aile et la trajectoire ou direction du vent relatif

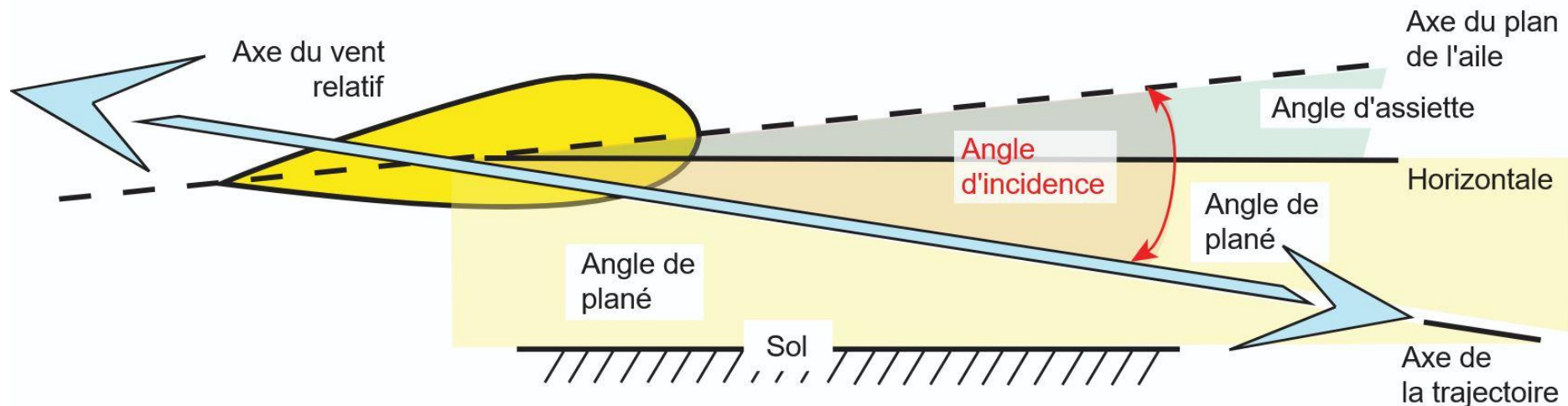
ANGLE D'ASSIETTE

Angle entre le plan de l'aile et l'horizontale

ANGLE DE PLANE

Angle entre l'horizontale et la trajectoire

ASSIETTE + ANGLE DE PLANE => INCIDENCE



POINTS CARCTERISTIQUES

A => Freiner la voile jusqu'au point de décrochage (correspond à la vitesse minimum permettant de rester dans le domaine de vol), pour pouvoir relever la **vitesse minimale** (V_x mini)

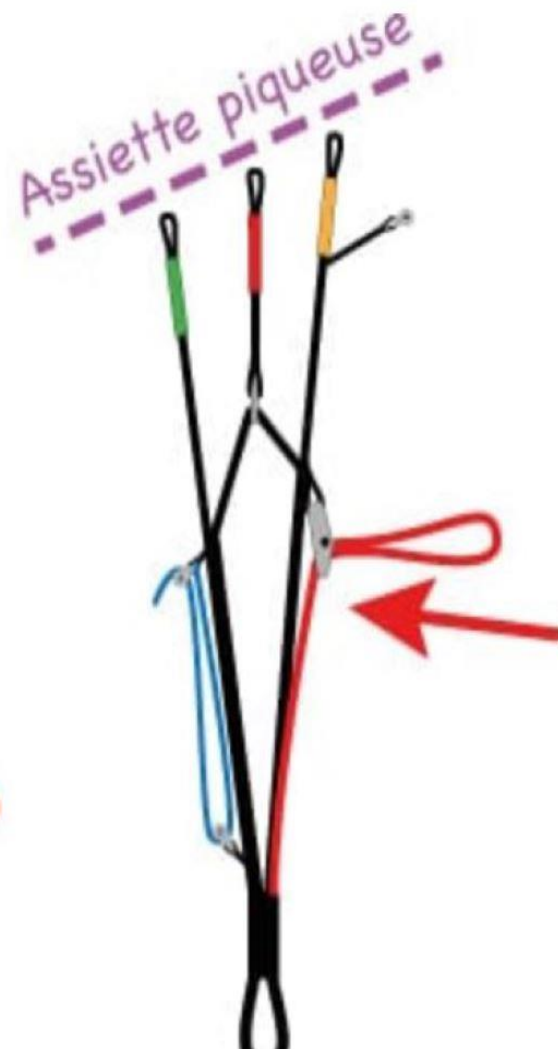
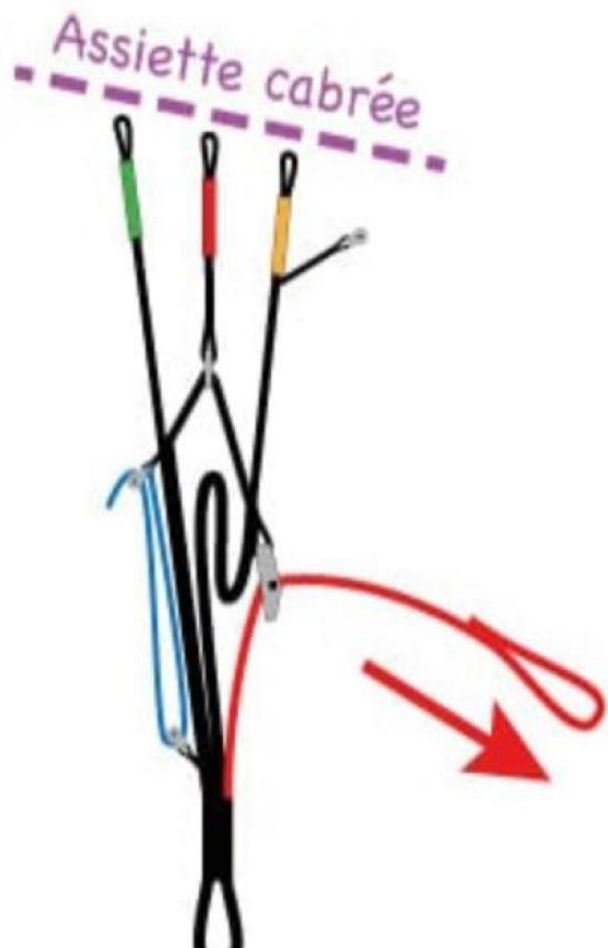
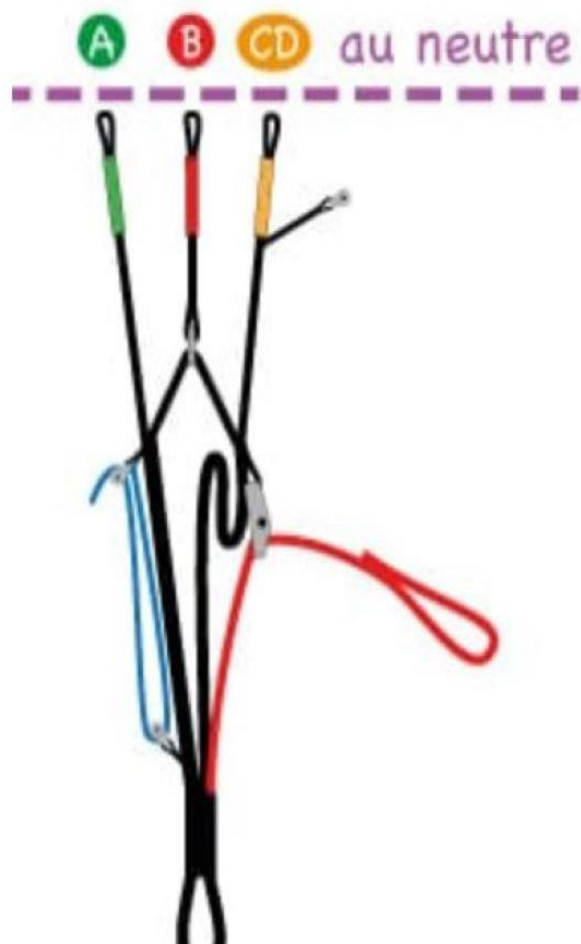
B => Commande symétriques jusqu'à ce que le variomètre indique un minimum. Cette position est appelée « **taux de chute mini** » (V_z mini)

C => Ensuite, relever complètement les mains jusqu'aux poulies (correspond à la plage de vitesse de finesse max) « **finesse max** »

D => Détrimer complètement, en laissant toujours bras haut « **vitesse max trim ouvert** »

E => Ensuite, toujours détrimé, accélérer avec le barreau « **vitesse max + accélérateur** »

TRIMS ou AFFICHEURS



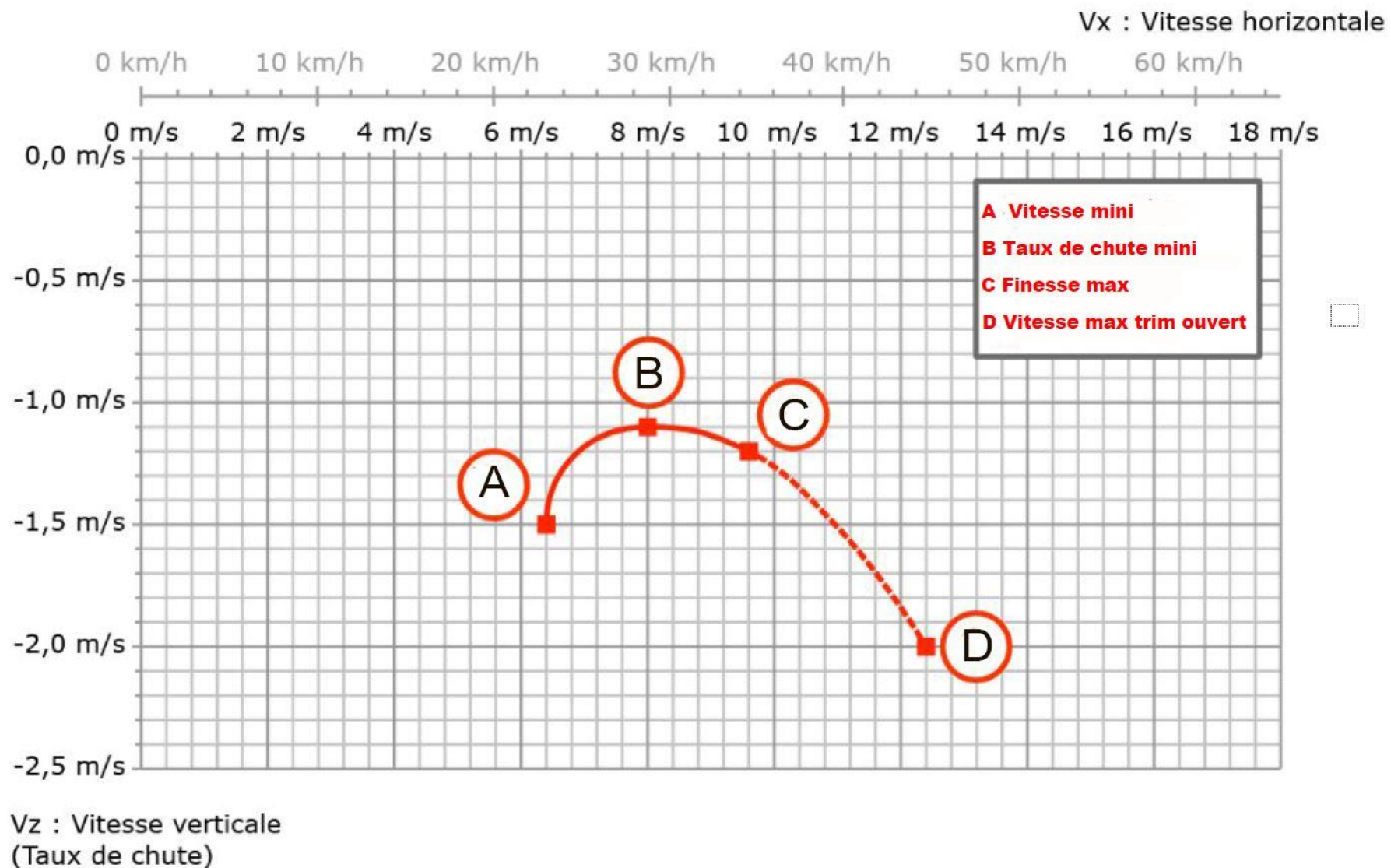
A B CD au neutre

The diagram shows a three-phase power line with a neutral wire. The three phase conductors (A, B, C) are at the top, and the neutral wire (D) is at the bottom. A blue line is connected to the neutral wire.

50% accéléré

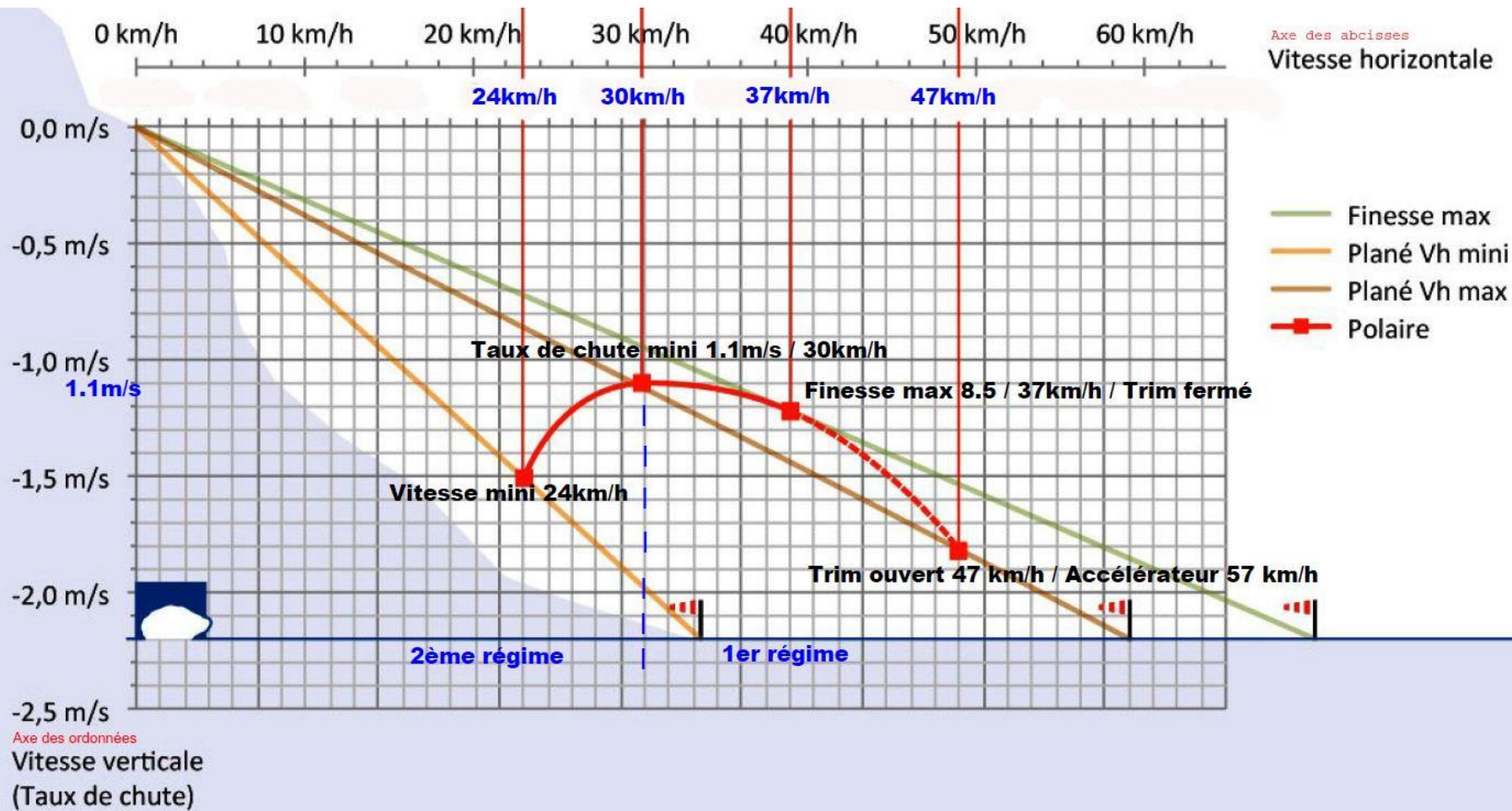
100% accéléré

poulie
contre
poulie



VALEURS RELEVÉES

	Vx (km/h)	Vz (m/s)
A) Vitesse minimum	24 km/h	1,5 m/s
B) Taux de chute mini	30 km/h	1,1 m/s
C) Finesse max	37 km/h	1,2 m/s
D) Trim ouvert	47 km/h	1,8 m/s
E) + Accélérateur	57 km/h	2,3 m/s



Polaire des vitesses

Mesurée et non calculée

Point caractéristique : FINESSE MAXIMUM

Pour trouver le meilleur angle de plané, il faut tracer une droite qui part de l'origine et qui va tangenter la polaire.

La finesse max est le rapport entre :

$$\text{Finesse max (f)} = \frac{\text{Distance horizontale}}{\text{Distance verticale}}$$

$$\text{Finesse max (f)} = \frac{\text{Distance parcourue (D)}}{\text{Hauteur perdu (H)}}$$

OU

$$\text{Finesse max (f)} = \frac{\text{Portance (Rz)}}{\text{Traînée (Rx)}}$$

$$\text{Finesse max (f)} = \frac{\text{Vitesse indiquée (Vx)}}{\text{Vitesse verticale (Vz)}}$$

On constate que l'on volera à finesse max « bras haut » en affichant une vitesse de **37 km/h** pour un taux de chute de **1,2 m/s**.

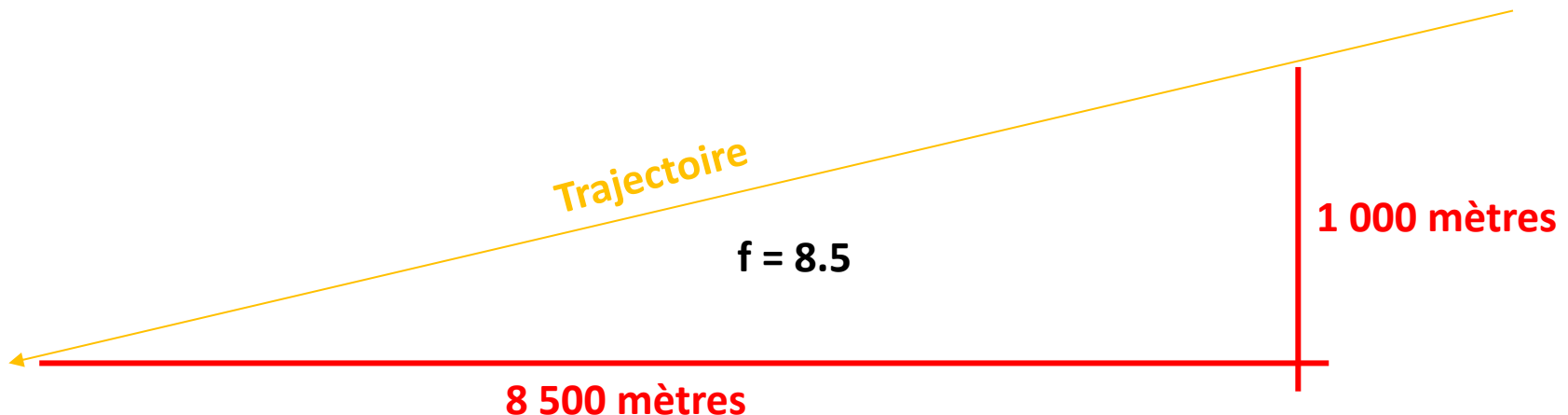
Calcul de la finesse max :

Convertir la vitesse indiquée en m/s :

$$\frac{37 \text{ km/h} \times 1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = \frac{37}{3,6} = 10,27 \text{ m/s}$$

Ce qui donne une finesse max :

$$\frac{\text{Vitesse indiquée (Vx)}}{\text{Vitesse verticale (Vz)}} \quad \text{soit} \quad \frac{10,27 \text{ m/s}}{1,2 \text{ m/s}} = 8.5$$



Point caractéristique : TAUX DE CHUTE MINIMUM

L'incidence à finesse max permettra d'aller le plus loin possible

L'incidence à taux de chute mini permettra de rester le plus longtemps possible en vol

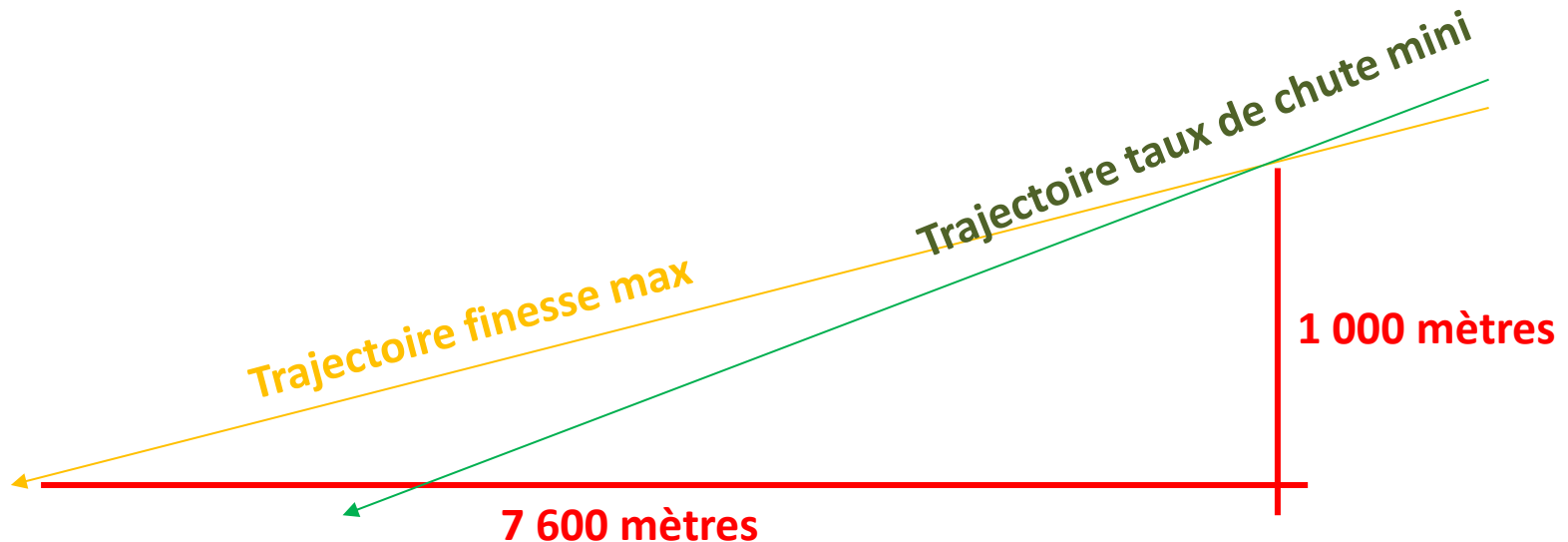
Exemple de taux de chute :

Finesse max = **37 km/h** avec un taux de chute de **1,2 m/s**

1000m avec un taux de chute de 1,2 m/s permettra une distance 8,5 km

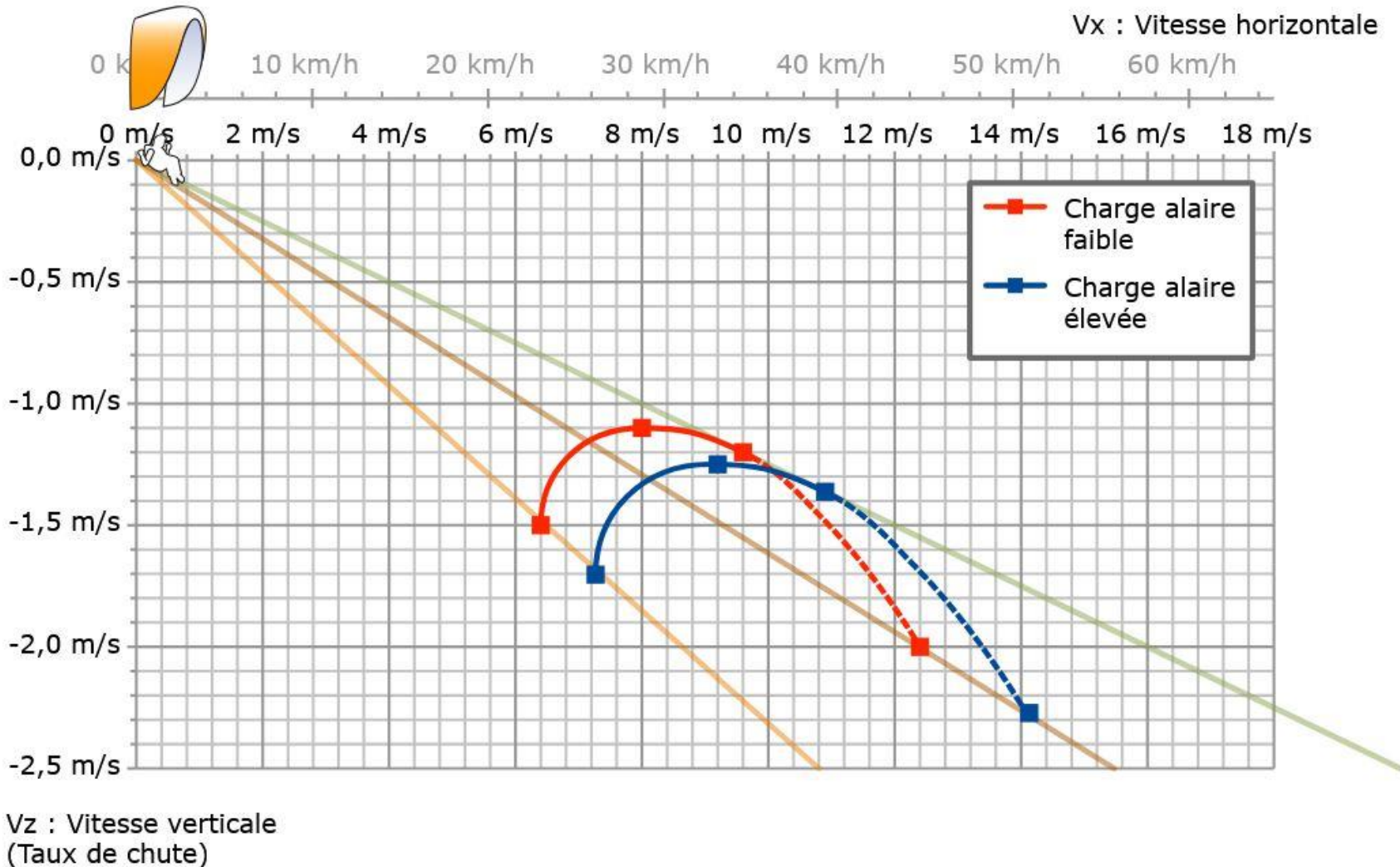
Taux de chute mini = **30 km/h** avec un taux de chute de **1,1 m/s**

1000m avec un taux de chute de 1,1 m/s permettra une distance de 7,6



Polaires avec CHARGE ALAIRE FAIBLE ET ELEVEE

Sur la même voile, avec deux charges alaires différentes, on obtiendrait les polaires suivantes (la charge alaire est un rapport entre le PTV (poids total volant) et la surface de la voile. Elle s'exprime donc en kilogramme/m²) :



Ce qu'on remarque :

Les courbes sont homothétiques.

La vitesse de la charge alaire plus élevée augmente (polaire bleue). Par contre, la finesse max est la même, quelque soit la charge alaire. Ce qui veut dire qu'un pilote plus lourd (90kg) arrivera au même endroit que le pilote plus léger (60kg), mais plus vite.

Bien que l'incidence de décrochage reste la même pour les 2 voiles (l'incidence est l'angle entre la trajectoire et le plan de l'aile), la conséquence de cette augmentation de la charge alaire :

- Le décrochage d'une voile avec une charge alaire élevée (pilote plus lourd 90kg) interviendra à une vitesse plus élevée que pour une voile avec une charge alaire faible (pilote plus léger 60kg).
- Si une aile décroche à 20km/h pour un pilote léger, elle pourra décrocher à 30km/h pour un pilote plus lourd.

Influence des mouvements de la masse d'air

10km/h DE VENT DE FACE et – 2,1m/s DE TAUX DE CHUTE

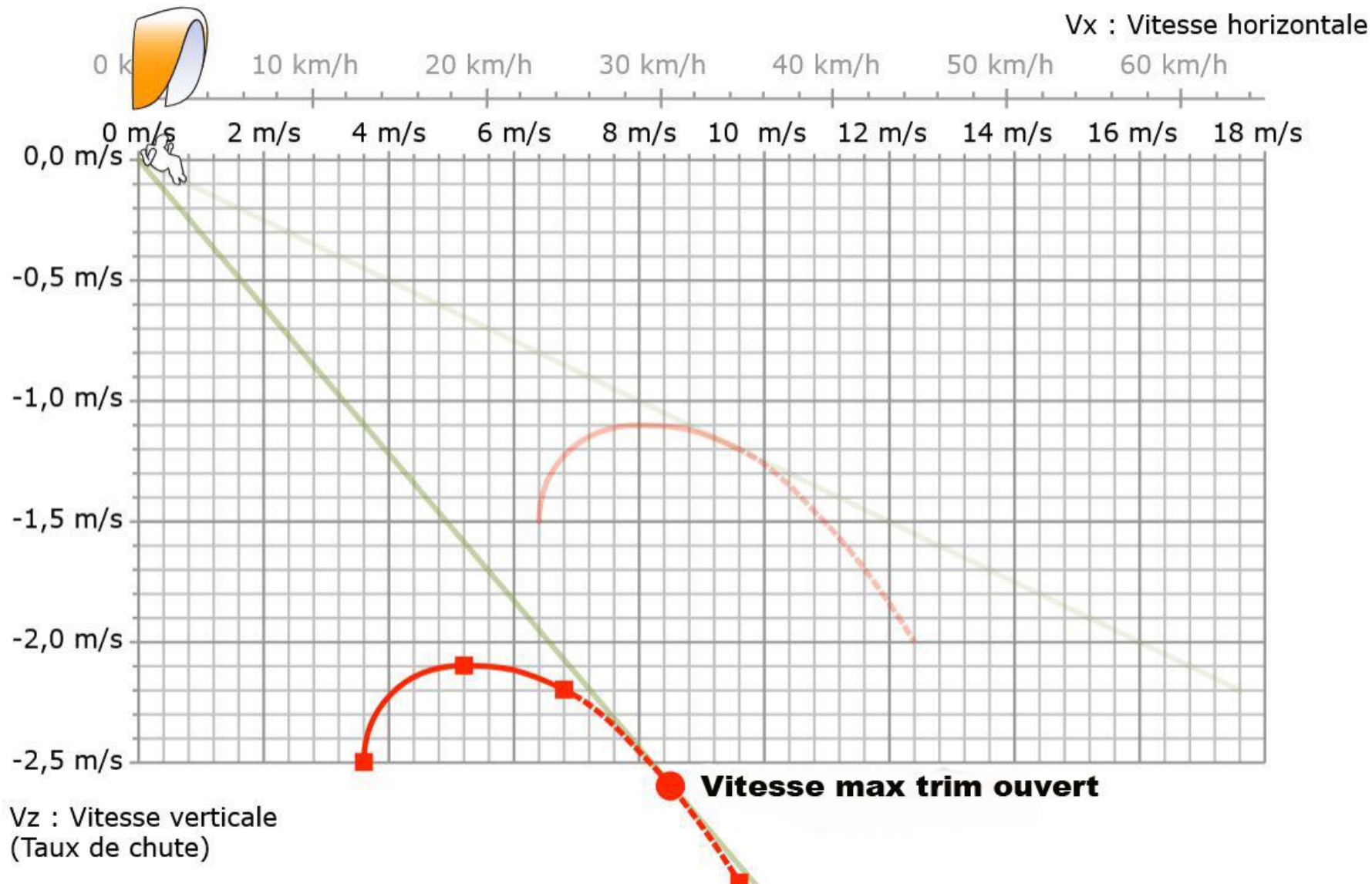
La **finesse air** d'un aéronef est donnée par rapport à la masse d'air dans laquelle il se déplace.

La **finesse sol**, tient compte du déplacement de l'air (du vent) par rapport au sol ainsi que des rafales ascendantes ou descendantes.

Lorsque la masse d'air est en mouvement vertical ou horizontal, il faut déplacer l'origine de la tangente de la valeur du mouvement.

Pour obtenir la vitesse sol, dans un vent de face de 10km/h, dans une masse d'air qui descend de plus 1m/s, **il faut déplacer la polaire vers la gauche et vers le bas.**

Afin de pouvoir contrer le vent, le vol devra se faire à vitesse max trim ouvert.

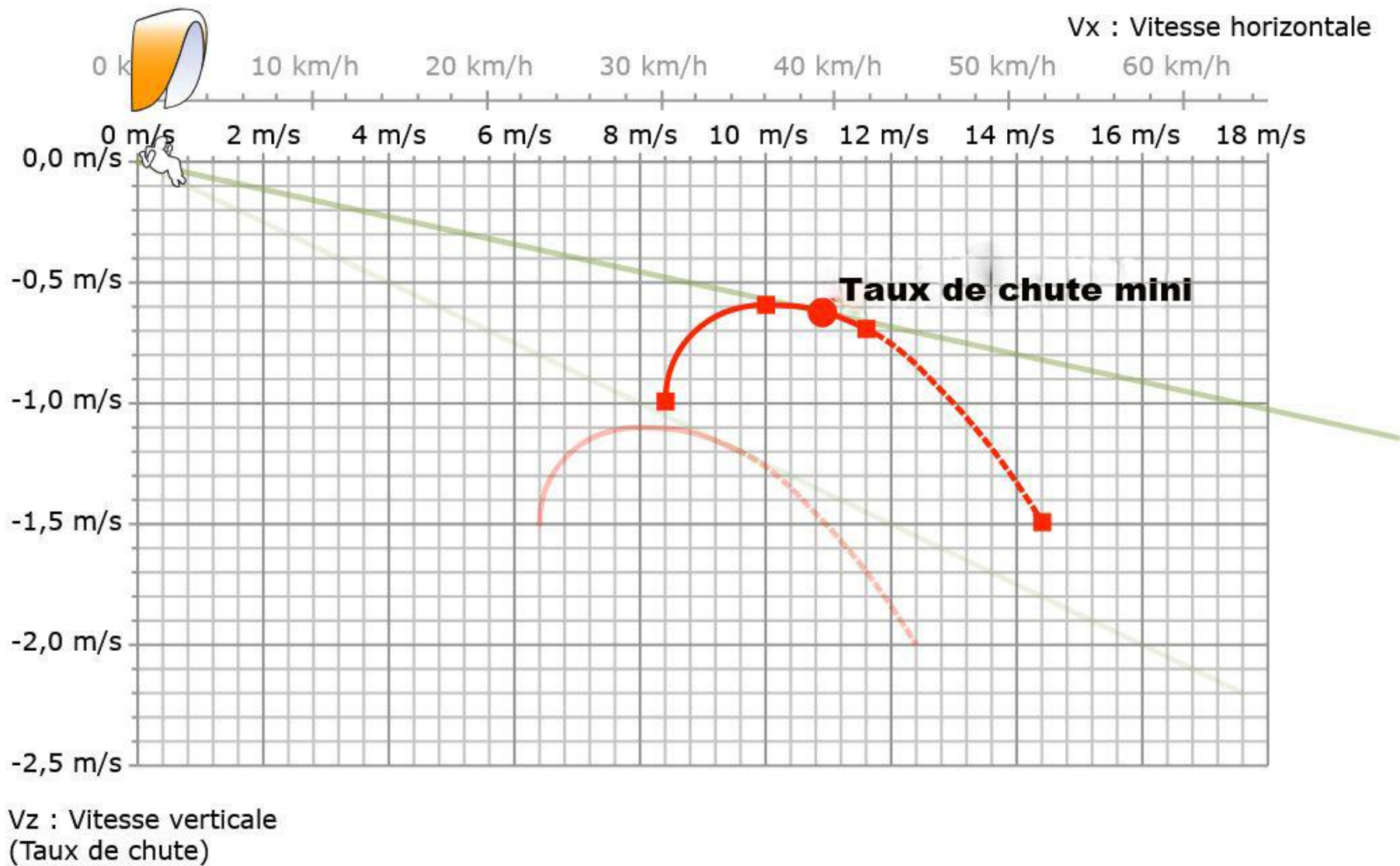


Influence des mouvements de la masse d'air

7km/h DE VENT ARRIERE et 0,5m/s DE TAUX DE CHUTE

Pour obtenir la vitesse sol, dans un vent arrière de 7km/h, dans une masse d'air qui monte à 0,5m/s, **il faut déplacer la polaire vers la droite et vers le haut.**

Le vol devra se faire à taux de chute mini, afin d'être poussé par le vent.



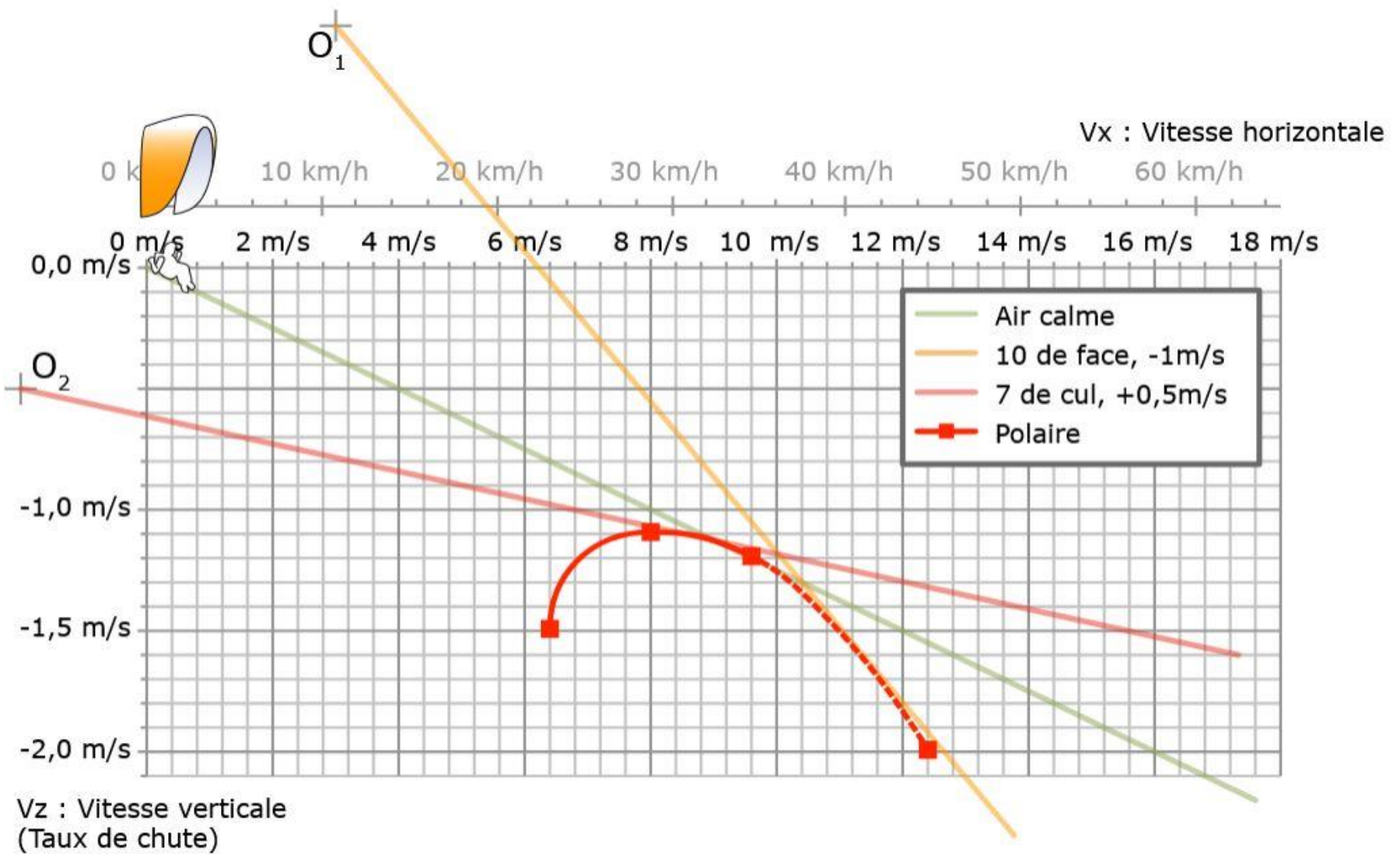
Influence des mouvements de la masse d'air

VENT DE FACE et VENT ARRIERE sur le même schéma

Pour ne pas refaire plusieurs fois la polaire, on peut, comme sur le schéma suivant, déplacer l'origine :

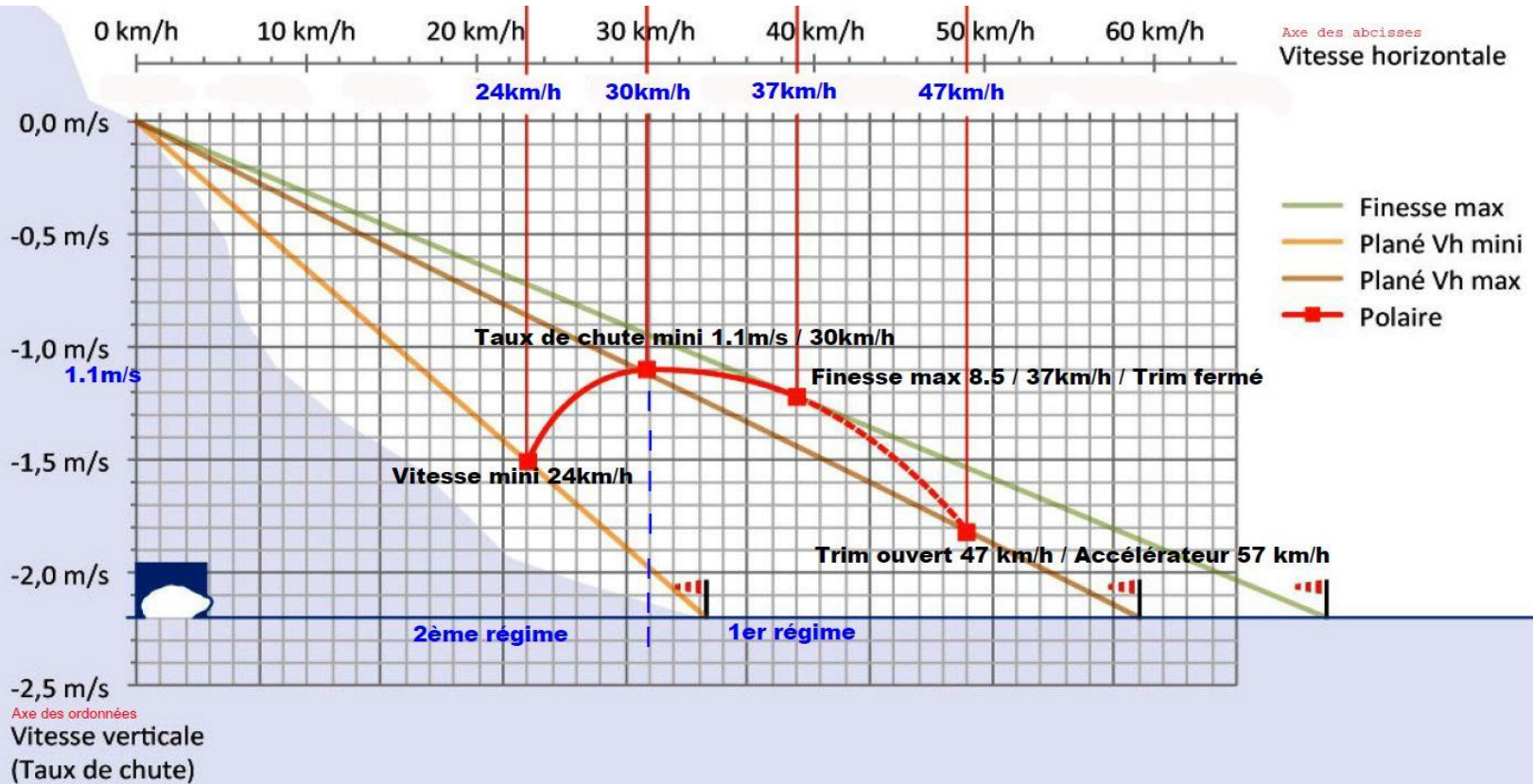
Dans le cas 1, où la polaire avait été déplacé vers la gauche (10km/h de vent de face) et vers le bas (-1m/s), on déplace l'origine dans le sens contraire (O1).

Concernant le cas 2, où la polaire a été déplacé vers la droite (7km/h de vent arrière) et vers le haut (0,5m/s), on déplace l'origine dans le sens contraire (O2).



À gauche : domaine de vol aux « grands angles » d'incidence appelé **SECOND REGIME**

À droite : domaine de vol aux « petits angles » d'incidence appelé **PREMIER REGIME**



Polaire des vitesses

Mesurée et non calculée

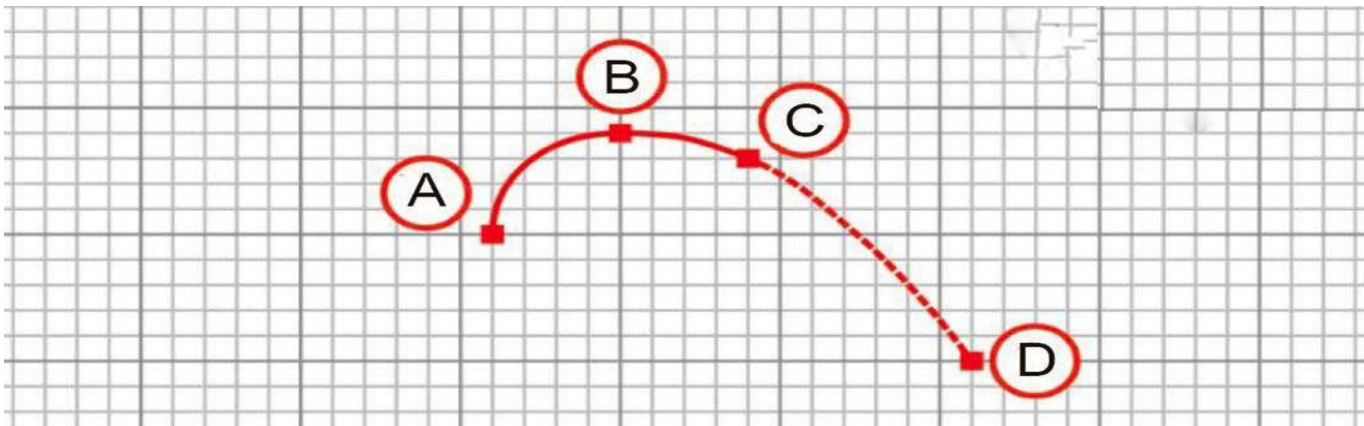
EVALUATION

Si pour une même aile, nous avons un pilote plus lourd, à finesse max, il va arriver :

- 1) Au même endroit que le pilote plus léger
- 2) Plus loin que le pilote plus léger
- 3) Moins loin que le pilote plus léger

Définir sur cette polaire, les positions des différents points caractéristiques suivants :

- 1) Finesse max
- 2) Vitesse max accéléré
- 3) Vitesse mini
- 4) Taux de chute mini



La finesse max est le rapport entre :

- 1) Hauteur perdu (H) / Distance parcourue (D)
- 2) Portance (R_z) / Traînée (R_x)
- 3) Vitesse verticale (V_z) / Vitesse indiquée (V_x)
- 4) Distance verticale / Distance horizontale

Comment calculer la finesse max d'un paramoteur (moteur coupé), volant à 43km/h avec un taux de chute de -1,5m/s

Exemple : caractéristiques d'une voile paramoteur

Spécifications techniques

CHARGER 2		18 (XXS)	21 (XS)	23 (S)	25 (M)	28 (L)	31 (XL)	34 (XXL)
Zoom	[%]	81.3	87.0	91.5	95.3	100	105.5	110.0
Surface a plat	[m ²]	18.47	21.16	23.40	25.38	27.95	31.11	33.82
Surface projetee	[m ²]	16.44	18.82	20.82	22.59	24.87	27.68	30.09
Envergure a plat	[m]	9.82	10.51	11.05	11.51	12.08	12.74	13.29
Allongement a plat		5.22	5.22	5.22	5.22	5.22	5.22	5.22
Corde moyenne	[m]	2.32	2.48	2.61	2.72	2.85	3.01	3.14
Nb de cellules		50	50	50	50	50	50	50
Poids	[kg]	5.0	5.2	5.4	5.5	5.6	5.9	6.5
PTV pour le vol motoris *	[kg]	75 - 115	85 - 120	95 - 130	102 - 140	110 - 160	130 - 180	140 - 240
Recommended weight range for foot launch *	[kg]	75 - 100	85 - 105	95 - 115	102 - 125	110 - 145	130 - 165	140 - 185
Vitesse mini	[km/h]	24 - 27	24 - 27	24 - 27	24 - 27	24 - 27	24 - 27	24 - 27
Speed Trimmers closed	[km/h]	37 - 41	37 - 41	37 - 41	37 - 41	37 - 41	37 - 41	37 - 41
Speed Trimmers open	[km/h]	47 - 51	47 - 51	47 - 51	47 - 51	47 - 51	47 - 51	47 - 51
Vitesse max (acc.+Trim open)	[km/h]	57 - 61	57 - 61	57 - 61	57 - 61	57 - 61	57 - 61	57 - 61
Finesse max		9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
Taux de chute mini	[m/s]	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Homologation		DGAC	DGAC	DGAC	DGAC	DGAC	DGAC	DGAC

* Powered pilot equipped = weight naked + cca. 35 - 40 Kg (-55kg by trikes)