

Brevet de Pilote Confirmé Parapente / Delta

Préparation à l'écrit / annexes

FFVL

Rappels

Compléments

Suppléments



Robert ALAKIAN

Livret 2

Pour la Préparation à l'examen écrit du Brevet de Pilote Confirmé, il est proposé deux documents:

1°/ "préparation à l'écrit /référentiel de correction"

doit être suffisant à la préparation de l'écrit,

2°/ " préparation à l'écrit / annexes "

ouvert à ceux qui veulent aborder la théorie avec un œil plus critique, et aller plus loin dans l'analyse.

bonne lecture!

r.a.

Recommandations aux lecteurs et candidats dans la lecture des manuels :

Livret 1 : Préparation à l'écrit / référentiel de correction

‘Questions Ouvertes’ :

connaissance et compréhension indispensable mais suffisante pour l'examen écrit.

Livret 2 : Préparation à l'écrit / annexes

‘Rappels’ : propose des rappels, voire une mise à jour des connaissances.

Il est fortement recommandé de la consulter.

‘Compléments’ : approche graphique des conditions limites en vol classique.

‘Suppléments’ (Bonus) : réservé pour ceux qui veulent aller plus loin dans l'analyse.

Des renvois aux suppléments sont notés au bas de certaines réponses du livret 1.

Le chapitre 'suppléments' doit néanmoins rester accessible à une majorité élargie de vélibéristes, mais est hors programme.

Avant-Propos

Ce manuel s'adresse aux pilotes de Parapente et Aile Delta, qui souhaitent approfondir leurs connaissances et se préparer à l'examen de la partie théorique du Brevet de Pilote Confirmé.

Il pourra servir de support, aux moniteurs, pour préparer la qualification de leurs candidats, ainsi qu'aux correcteurs du BPC.

Les confirmés, déjà anciens, pourront rafraichir leurs connaissances.

Dans cette préparation à la partie théorique du Brevet de Pilote Confirmé, l'auteur a pris en compte une liste de questions couvrant la totalité des différents thèmes enseignés dans la formation du pilote au BPC, et de proposer une réponse à chacune d'entre-elles que l'on trouvera

L'enseignement au sein du club ou à la ligue est cependant recommandé.

Chapitre 'suppléments'

Souvent, une question peut en soulever d'autres.

En fin de quelques réponses, il est proposé un 'bonus' destiné à ceux qui veulent aller plus loin. Les bonus sont développés dans le chapitre 'suppléments' du présent document.

Par exemple dans le "livret1/méca-vol Q2" est proposé le bonus 2: son développement est en "livret2/suppléments/méca-vol/Q2" , ...

Ce chapitre contient d'autres développements plus spontanés.

Structure du document :

Table des Matières

Rappels fondamentaux

Compléments pour remise à jour des connaissances

Mécanique du vol

Météorologie / Aérologie

Pilotage

Réglementation / espace aérien

Suppléments aux réponses proposées

Mécanique du vol

Météorologie

Pilotage

Index

Table des Matières

Notations et quelques rappels pour la MÉCAVOL:	7
1- Symboles et sigles :	7
2- Rappel de définitions	8
3- Eléments sur vecteurs :	9
4- Les Moments :	10
5- L' inertie:	10
6- La force Centripète: F_{cp}	11
7- La force Centrifuge: F_c	11
8- Le Foyer aérodynamique f et le point de Calage C :	12
9- Le centre de poussée: C_p	13
10- Les axes fondamentaux de l'aéronef	14
11- L'Assiette $\hat{\alpha}$:	14
12- L'angle de plané (évolution) :	16
14- Contribution à la sustentation:	20
15- Les repères aérodynamiques d'un profil d'aile en vol rectiligne équilibré :	22
Compléments de Mécanique du Vol	24
1- Fermetures :	24
2- Origine du décrochage:.....	27
3- Décrochage :	28
4- Le Roulis :	30
Compléments de MÉTÉOROLOGIE / AÉROLOGIE	33
1. Les couches de l'atmosphère	33
2. La troposphère :	33
3. La pression atmosphérique :	34
4. Caractéristiques de l'air:	34
5. Loi générale sur les gaz parfaits ramenée à la théorie de la pompe à vélo et du gazogène :	35
6. Diagramme des changements d'état :	35
7. Conséquences des Lois de la thermodynamique :	36
8. Modèle d'émagramme 45° vierge utilisable pour le parapente ou delta	38
9. direction des vents :	38
Compléments de PILOTAGE.....	39
1. Décollage en pente très forte	39
2. Améliorer le lacet:	40
3. Virer à plat, taux de chute réduit:	40
4. L'effet Girouette	41
Compléments de RÈGLEMENTATION / ESPACE AÉRIEN	43
1. Division de l'espace aérien.....	43
2. Les zones à statuts particuliers :	46
3. NOTAM	49
4. Lecture des cartes : interprétation des limites plancher, plafond :	50
5. Traçons le Volume autour de l'aéroport de Valence-Chabeuil depuis les données de la carte :	51
Suppléments pour Mécanique du vol	52

Bonus Q2 : Vitesse, rayon et poids apparent en fonction de l'inclinaison dans virage stabilisé.....	52
Bonus Q4 : Finesse air, finesse sol.....	54
Bonus Q5 : Règle et coefficient de proportionnalité.....	55
Bonus Q10 : Entrée et sortie d'un thermique.....	56
Bonus Q11 : Attitude souhaitable du pilote sur une frontale.....	57
Bonus Q13 : Poids d'une rafale dans le risque de fermeture ou de décrochage.....	58
Bonus Q15 : Rappel sur l'Allongement.....	61
Suppléments pour Météorologie.....	63
Bonus Q6 : Axes rotors et rouleaux.....	63
Bonus Q12 : définition de l'Advection et du Rayonnement.....	63
Suppléments pour Pilotage.....	64
Bonus Q3 : cas d'un petit thermique.....	64
Bonus Q5 : Le parachute de secours : description.....	64
Bonus Q13 : Eléments de choix de la sellette.....	64
Bonus Q10 : Sous le vent du thermique: la Schlag ou l'effet Bagnard.....	65
Index.....	67

.....

Notations et quelques rappels pour la MÉCAVOL:

Sommaire :

- | | |
|--|---|
| 1. Symboles et sigles, | 9. Centre de poussée, |
| 2. Forces et vecteurs, | 10. Axes fondamentaux, |
| 3. Rappel de définitions, | 11. Angle de plané, |
| 4. Moments, | 12. Assiette, |
| 5. Inertie, | 13. Les champs de pressions à différentes incidences, |
| 6. Force centripète, | 14. Contribution à la sustentation, |
| 7. Force centrifuge, | 15. Forces de vol en présence, |
| 8. Foyer aérodynamique, point de Calage, | |

Tout au long du document, nous emploierons une symbolique reconnue dans la littérature technique. Souvent le contexte sera suffisamment explicite pour ne pas prêter à confusion.

1- Symboles et sigles :

$\hat{i}$	i	angle d'incidence
$\hat{a}$	a	assiette
$\hat{p}$	p	angle de plané
K	k	rapport d'homothétie
n		facteur de charge
i_F		incidence de fermeture
i_D		incidence de décrochage
FA		Force Aérodynamique

PTV	Poids total volant
CA	Charge Alaire
Cp	Centre de Poussée
CG ou G	Centre de Gravité
f	Foyer Aérodynamique
C	point de Calage
F_{cp}	force centripète
F_c	force centrifuge

2- Rappel de définitions

Corde : la corde est la droite passant par le bord d'attaque et allant jusqu'au bord de fuite.

Incidence : angle formé par la corde de référence du profil et la direction du vent relatif attaquant le profil.

Pour un parapente "typique", il varie de la manière suivante :

3° en vitesse maximale accélérée, 7° à vitesse "bras hauts", 15° ou plus au décrochage.

De nouveaux modèles de bord d'attaque voient le jour, repoussant les limites angulaires, par un meilleur agencement des entrées d'air, surpression interne améliorée donnant un profil plus solide.

angle de plané ($\hat{p}$): angle compris entre l'horizontale et la direction du vent relatif.

assiette ($\hat{a}$): angle compris entre l'horizontale et la corde de l'aile.

Sous-incidence ($\hat{i}_F$): seuil de l'incidence en deçà de laquelle se produit la fermeture.

Sur-incidence ($\hat{i}_D$): seuil de l'incidence au-delà de laquelle se produit le décrochage.

Point d'arrêt : zone de la surface du profil qui est perpendiculaire à la trajectoire des particules d'air. C'est là où les filets d'air contournant le profil se séparent: la pression y est maximale.

Surface projetée : surface de l'aile projetée au sol :
Charge alaire = PTV / surface projetée.

Envergure projetée : envergure de l'aile projetée au sol:
Allongement = (Envergure_projetée)² / corde centrale.

Historique: les premiers parapentes étaient des voiles peu galbées, pratiquement plates, la surface projetée pouvait alors être considérée comme la surface à plat.

De nos jours, "seul le concepteur de la voile connaît sa valeur ! et si il ne la communique pas..." on peut, par défaut et à titre comparatif, utiliser les paramètres 'à plat'.

Cône de projection: (méca-vol Q5) enveloppe de la modification homothétique de la polaire, lors des variations de PTV. Le sommet du cône de projection se trouve sur l'origine des coordonnées.

Force aérodynamique: ensemble des forces qui contribuent à la sustentation du PUL, force égale et opposée au poids. FA suit la verticale vraie ou apparente en cas de virage ou autres figures. La FA pourrait être transitoirement orientée vers le bas, lors de figures comme le looping ($g > 0$) ou le tumbling ($g < 0$), où l'on tourne selon un axe horizontal.

Portance: composante de la Force aérodynamique, qui s'exerce perpendiculairement au vent relatif.

Trainée: composante de la force aérodynamique qui s'exerce dans le sens du vent relatif.

3- Eléments sur vecteurs :

Dans notre propos, les vecteurs représentent les forces, ils sont dans le même plan.

L'addition vectorielle est un outil simple pour raisonner sur les forces en présence.

Leurs conséquences sur le vent relatif, changement d'incidence que l'on rencontre en mécanique du vol.

Un vecteur $\vec{a}$ est défini par son point d'application, son amplitude, sa direction et son sens

Par exemple le vecteur $\vec{FA}$ la Force Aérodynamique en vol équilibré rectiligne.

- Point d'application : C_p le Centre de Poussée,
- amplitude (ou module): grandeur de la force égale au PTV,
- direction : la verticale,
- sens : vers le haut.

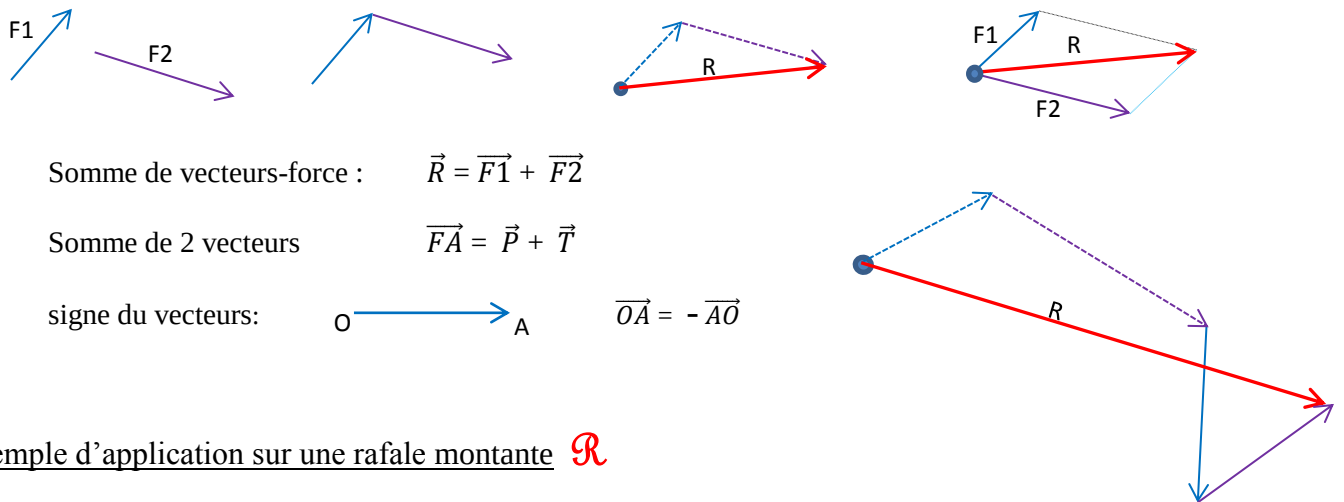


Somme de vecteurs : méthodes du triangle et du parallélogramme ou du polygone

L'addition de vecteurs se fait très simplement. On translate le vecteur à additionner, de sorte que son origine touche l'extrémité du précédent etc... s'il y en a plusieurs (méthode du polygone de Varignon).

Le vecteur résultant est le vecteur ayant pour origine celle du premier et extrémité celle du dernier.

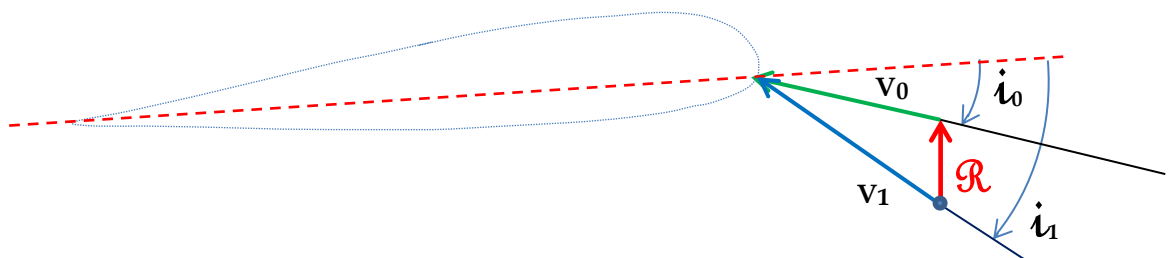
De même, la résultante de deux vecteurs pourra être la diagonale du parallélogramme obtenu en translatant origine sur origine.



Exemple d'application sur une rafale montante $\mathcal{R}$

Le vent relatif V_0 devient V_1 , avec une nouvelle incidence i_1 :

$$\vec{V1} = \vec{V0} + \vec{R}$$



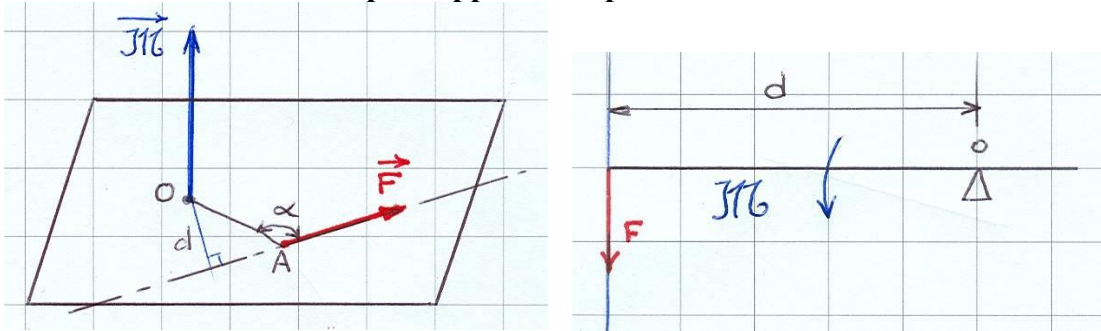
4- Les Moments :

Le Moment ($\vec{M} = \vec{F} * d$) est une grandeur vectorielle qui exprime l'aptitude d'une force ou d'un ensemble de forces à faire tourner un système autour d'un point, ou d'un axe.

L'unité est le Newton/mètre Nm.

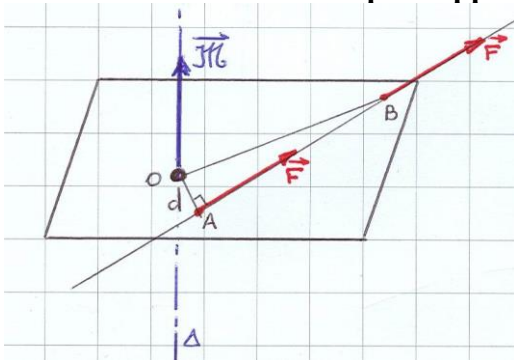
Le sens du vecteur moment suit la règle des 3 doigts de la main droite (force-distance-moment),

Moment d'une force par rapport à un point :



Le moment de la force $\vec{F}$ par rapport au point O est : $\vec{M}_{(O)} = \vec{F} \wedge \vec{OA} = \vec{F} * OA \sin \alpha = \vec{F} * d$

Moment d'une force par rapport à un axe



Le moment de la force $\vec{F}$ par rapport à l'axe Δ est : $\vec{M}_{(\Delta)} = \vec{F} \wedge \vec{OB} = \vec{F} * OB \sin \alpha = \vec{F} * d$
Le moment est un produit vectoriel.

5- L' inertie:

Ainsi définie par la 1^{ère} loi de Newton: « Tout corps persévère dans l'état de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite dans lequel il se trouve, à moins que quelque force n'agisse sur lui, et ne le contraigne à changer d'état. »

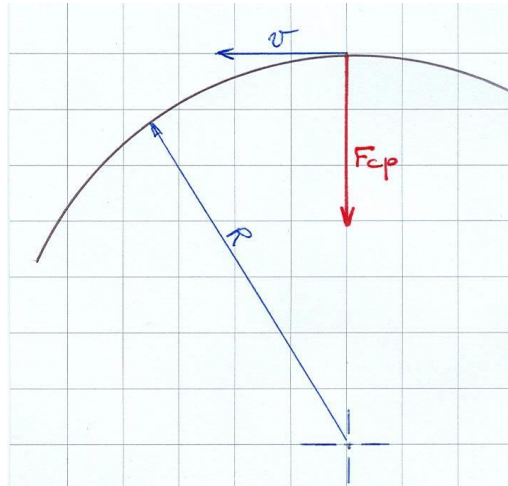
L'inertie est la propriété qu'a un corps de s'opposer au changement d'état de mouvement. A moins d'une force extérieure, le corps en repos reste en repos, le corps en mouvement rectiligne uniforme reste dans ce mouvement. L'inertie est fonction de la masse du corps.

- Un gyroscope (conservateur de cap) conserve son axe de rotation fixe dans l'espace.
- Effet centrifuge,
- Un parapente ne virerait pas sans les forces centripète et centrifuge.
- Fondement de la pseudo-force de Coriolis.

6- La force Centripète: F_{cp}

C'est la force qui tend à rapprocher l'objet en rotation du centre du cercle.

Son expression est: $\vec{F}_{cp} = m \cdot \text{accélération centripète}$; $\vec{F}_{cp} = m \frac{v^2}{R}$.



m est la masse,
 $\vec{V}$ la vitesse propre,
 R le rayon du cercle décrit

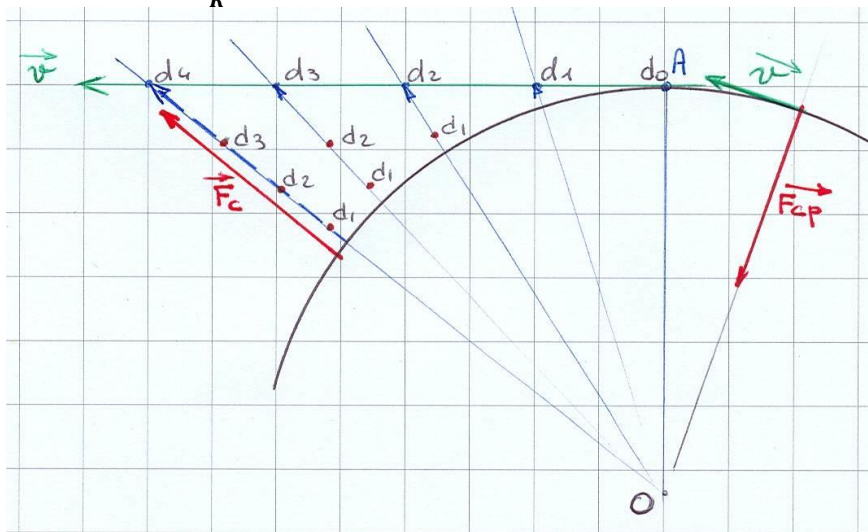
La force centripète est une force réelle: en vol libre elle est d'origine aérodynamique.

7- La force Centrifuge: F_c

C'est le nom donné à l'effet centrifuge. C'est une force fictive qui est décrite pour les corps en mouvement curviligne.

La force centrifuge est une force d'inertie, comme l'est la pseudo-force de Coriolis.

Son expression est: $\vec{F}_c = \frac{m v^2}{R}$



Un objet de masse m animé d'une vitesse $\vec{V}$ et soumis à une accélération centripète $\vec{a}_{cp}$ décrit une trajectoire circulaire ce centre O . La force centripète maintenant l'objet en rotation est : $\vec{F}_{cp} = m \cdot \vec{a}_{cp}$.

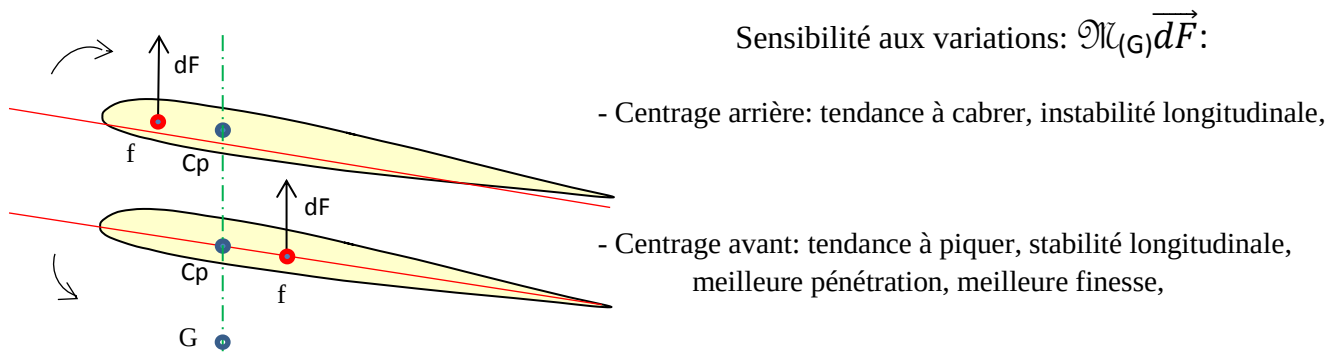
En A faisons disparaître la force centripète $\vec{F}_{cp}$:

- l'observateur hors du cercle (repère Galiléen) et placé en A voit l'éloignement de l'objet à vitesse $\vec{V}$ sur une trajectoire rectiligne tangente en A.
- l'observateur placé en O, centre du cercle (repère non-Galiléen) et tournant face à l'objet, voit l'objet s'éloignant de d_0 , d_1 , d_2 , d_3 , d_4 , comme mu par une force radiale dirigée vers l'extérieur. C'est la force centrifuge $\vec{F}_c$, force d'inertie.

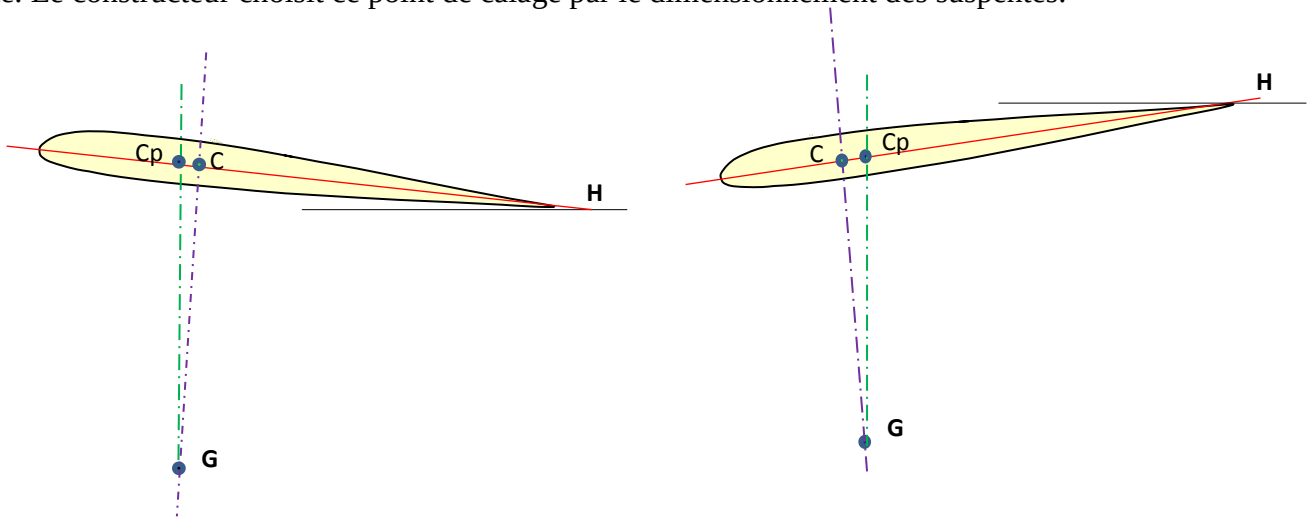
Remarque: pour la compréhension, dans les schémas, on oppose $\vec{F}_{cp}$ et $\vec{F}_c$, même s'ils s'expriment dans des repères différents.

8- Le Foyer aérodynamique f et le point de Calage C :

Le Foyer aérodynamique f : les variations de la force aérodynamique passent par un point fixe, le foyer aérodynamique f . Ce point est sur la corde du profil à environ $\frac{1}{4}$ du bord d'attaque, elle est déterminée par calcul. Nous verrons dans le paragraphe suivant que le Centre de Poussée, ne peut être pris en référence pour déterminer la stabilité longitudinale de l'aile, car CP varie avec l'incidence. La position du Foyer Aérodynamique par rapport au Centre de Poussée influe sur la stabilité longitudinale de l'aile soumise à des variations dF de la Force Aérodynamique (turbulences, rafales). Ces variations s'appliquent sur f .



Le point de Calage C : est à l'intersection de la corde et la perpendiculaire issue de la position du pilote. Le constructeur choisit ce point de calage par le dimensionnement des suspentes.



En vol équilibré, les ailes au plané-cabré, ont le point de calage derrière le centre de poussée, alors que les ailes au plané-piqué ont le point de calage devant le centre de poussée.

Le calage joue sur les performances de l'aile: finesse, incidence de vol, vitesse.

→ L'accélérateur ou les trims modifient le calage

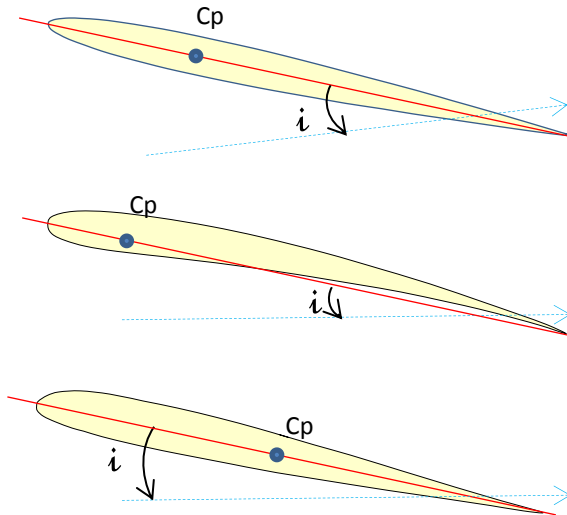
9- Le centre de poussée: C_p

Le centre de poussée C_p est le point d'application la force aérodynamique $\vec{F_A}$. C_p est sur la corde.

« Le centre de poussée à la particularité de migrer, lors des variations de l'angle d'incidence, vers l'avant ou vers l'arrière suivant le profil considéré, tendant à réduire cette variation d'incidence ou à l'amplifier selon le cas (principe de la stabilité d'un profil). C'est ce qui fait tout l'intérêt du choix d'un profil ! ».

Migration du Centre de poussée sur parapente:

C_p se déplace sur la corde en fonction de l'angle l'incidence $\hat{i}$.



Aile symétrique, profil neutre: C_p garde sa position dans la fourchette: $5^\circ < \hat{i} < 10^\circ$.

Aile creuse, profil instable: C_p migre vers l'avant quand l'incidence augmente, et vers l'arrière quand l'incidence diminue.

Profil biconvexe dissymétrique, stable: C_p migre vers l'arrière quand l'incidence augmente, et vers l'avant quand l'incidence diminue, ce qui a tendance à stabiliser l'assiette.

Cas de l'instabilité:

Si $\hat{i}$ augmente l'aile cabre: C_p avance. Si C_p avance: tendance à cabrer et $\hat{i}$ augmente....

Si $\hat{i}$ diminue, l'aile pique: C_p recule. Si C_p recule: tendance à piquer et $\hat{i}$ diminue....

Cette récursivité n'est pas stabilisatrice car elle accentue l'écart initial.

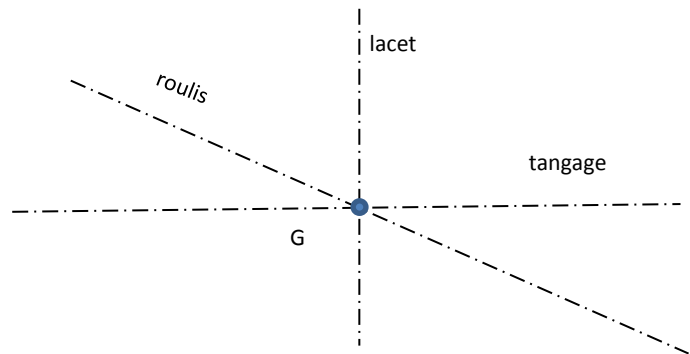
Cas de la stabilité: Sur avion, où l'aérodynamique est plus complexe, ailes et fuselage contribuent à la portance; à partir d'une incidence voisinant les 12 à 14° le C_p recule, tendant à contrer l'attitude au décrochage, nous trouvons cette vertu dans l'aile biconvexe dissymétrique.

Le centre de poussée ne migre que très peu entre $\hat{i} = 5^\circ$ et 10° .

On néglige la migration de C_p quand ce n'est pas nécessaire

10- Les axes fondamentaux de l'aéronef

Le centre de gravité G du système, pilote + matériel est le pivot des 3 axes.

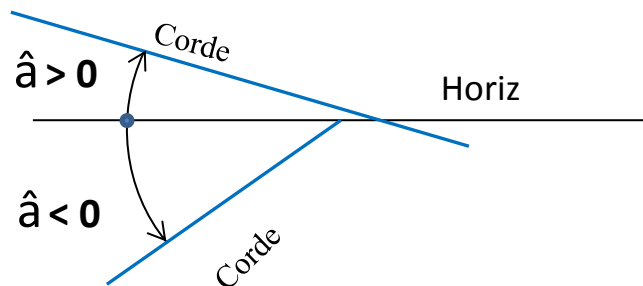


11- L'Assiette $\hat{a}$:

L'assiette : terme hérité de l'aviation, est l'attitude de la voile ou du delta. C'est l'angle $\hat{a}$ entre l'horizontale et le plan de l'aile (corde pour le parapente).

$\hat{a}$ est >0 si la corde est au-dessus de l'horizontale,

$\hat{a}$ est <0 si la corde est sous l'horizontale.



Réglage de l'assiette :

Parapente : le pilote agira sur les trims pour un réglage semi-permanent ou l'accélérateur pour un calage temporaire.

Delta : le pilote joue en permanence avec l'assiette en manœuvrant sa barre de contrôle.

L'incidence :

L'incidence est l'angle formé par la trajectoire/air (ligne directrice du vecteur vent relatif) et la corde de l'aile.

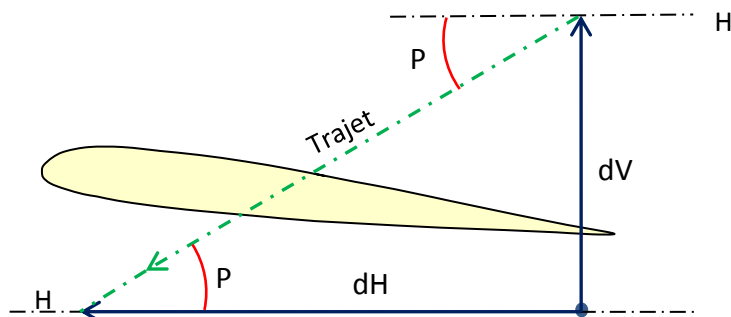
Il est important d'insister sur la notion de vent relatif, plus significative que la trajectoire, lors des phases transitoires.

[illegible]

12- L'angle de plané (évolution) :

Venons rapidement à l'expression de l'angle de plané :

la finesse $f = dh/dv$ ainsi : $\tan \hat{p} = dv/dh = 1/f$



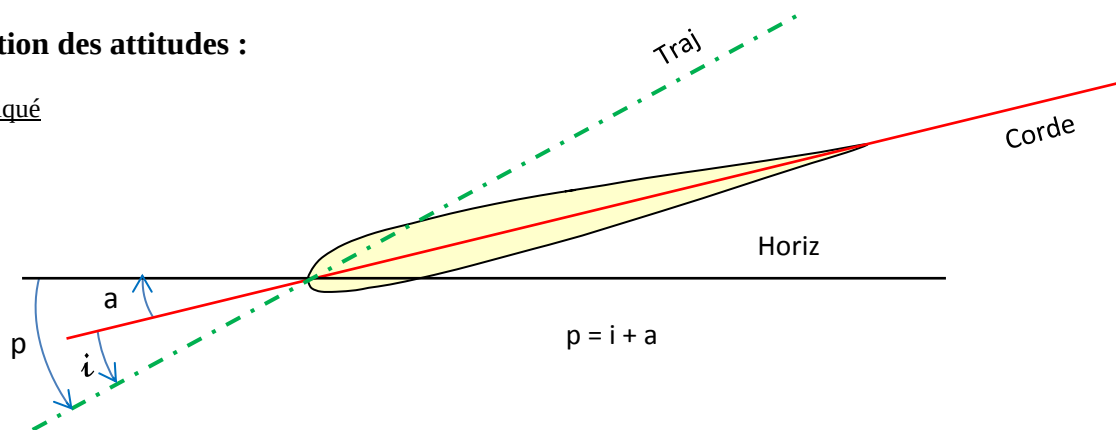
$\tan \hat{p} = 1/f$ avec $\hat{p} = \hat{i} - \hat{a}$ (voir page suivante paragraphe 'plané cabré')

Evaluons $\hat{p}$ pour différentes valeurs de finesse max (on choisit une incidence de 9° [entre 8 et 10°])

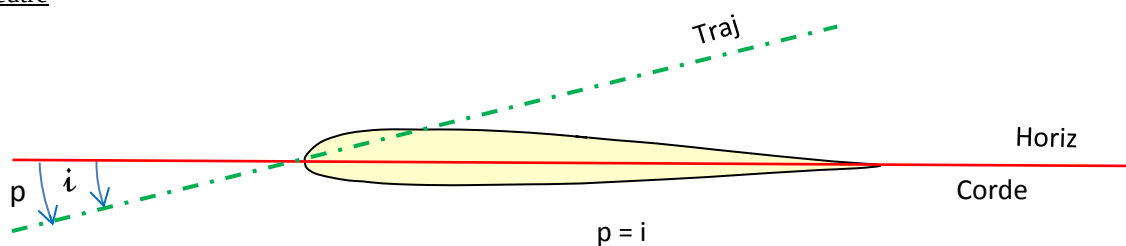
Année	Aile	Finesse	Angle de plané $\hat{p}$	Assiette $\hat{a} = 9^\circ - \hat{p}$	attitude
1990	ITV vega	4	14°	-5°	piqué
1994	Gypaile	5,5	10°	-1°	piqué
		6,3	9°	0	neutre
2007	Gin Boléro III	7,5	$7,5^\circ$	$1,5^\circ$	cabré
2010	moyenne	8	$7,2^\circ$	$1,8^\circ$	cabré
	cross	9	$6,3^\circ$	$2,7^\circ$	cabré
	Perf	10	$5,7^\circ$	$3,3^\circ$	cabré
2014	Perf +	11	$5,2^\circ$	$3,8^\circ$	cabré

Représentation des attitudes :

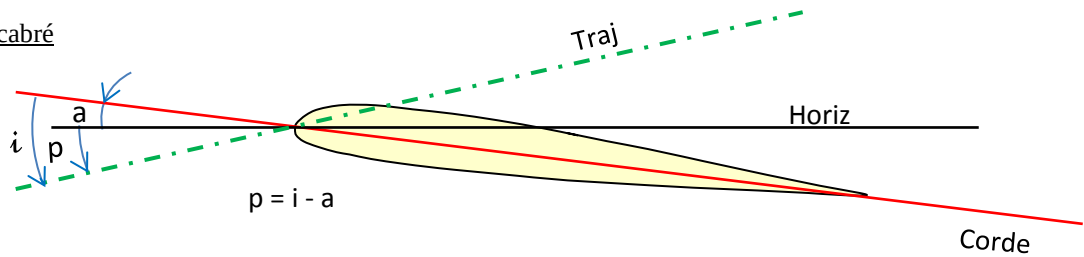
plané piqué



plané neutre



Plané cabré



On voit que depuis quelques années l'aile a en fait, une assiette $\hat{a}$ qui a progressivement changé de signe. Pour autant doit-on dire que cette nouvelle assiette est positive ou négative.

On voit que depuis quelques années l'aile a en fait, une assiette $\hat{a}$ qui a progressivement changé de signe. Pour autant doit-on dire que cette nouvelle assiette est positive ou négative.

Les aviateurs diront que l'assiette est positive, dès lors que le capot de l'avion est au-dessus de la ligne d'horizon.

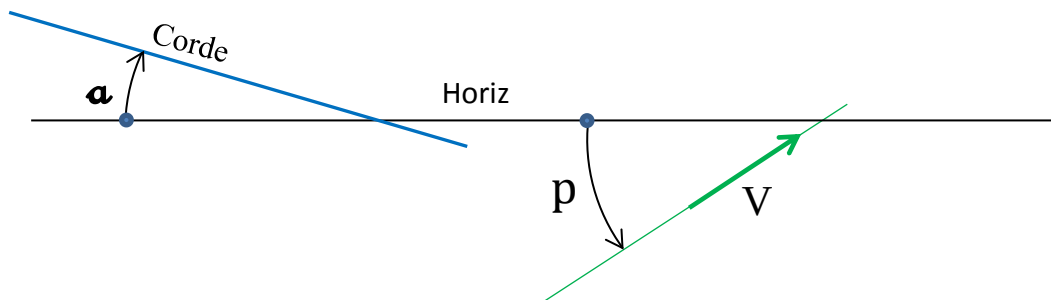
L'expression $\hat{p} = \hat{a} + \hat{i}$ largement diffusée n'a désormais plus de sens. Pour exprimer $\hat{p}$, dans la généralité des cas, il serait nécessaire d'opérer sur des arcs orientés, donc qui ont un signe. $\hat{p}$, $\hat{a}$ et $\hat{i}$ sont positifs ou négatifs selon leurs orientations; les ailes actuelles imposent un choix.

$$\boxed{\hat{p} = \hat{i} - \hat{a}}.$$

L'incidence $\hat{i}$: angle compris entre la corde de l'aile et la direction du vent relatif (trajectoire).



L'angle d'assiette $\hat{a}$: angle compris entre l'horizontale et la corde de l'aile.



L'angle de plané $\hat{p}$: angle compris entre l'horizontale et la direction du vent relatif.

Autre expression de l'angle de plané :

L'angle de plané est l'angle compris entre le plan horizontal et la trajectoire.

$$\tan p = 1/f \rightarrow \boxed{\hat{p} = \arctan 1/f}$$

« $\hat{p}$ est un angle (un arc) dont la tangente est égale à l'inverse de la finesse »

f est la finesse sol ; en air calme f sera la finesse propre de l'aile.

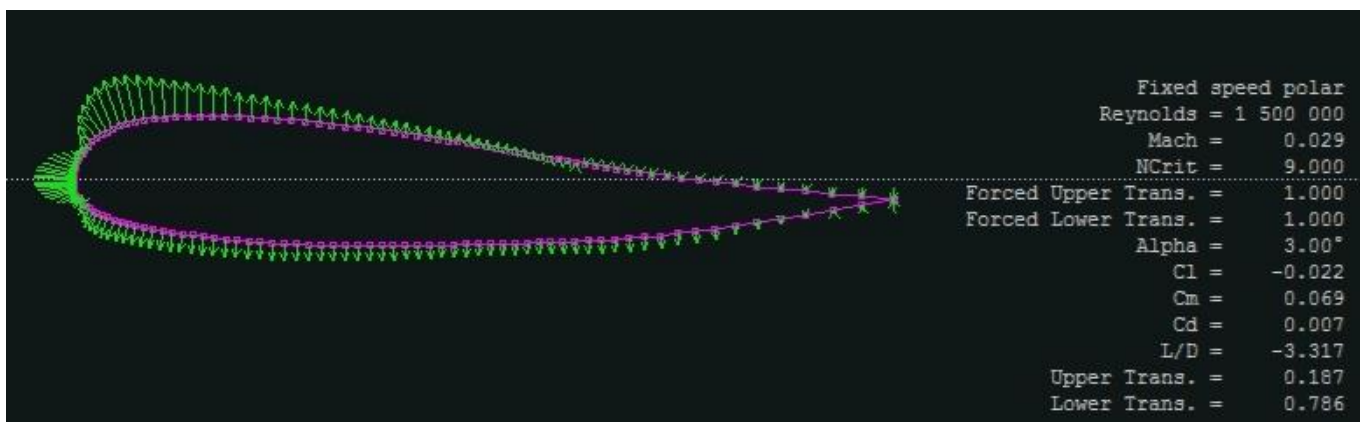
13- Les champs de pressions à différentes incidences

Observation d'un profil biconvexe dissymétrique 'reflex' dans une application de simulation, et soumis à des incidences variant de -15° à $+15^\circ$. Pour les besoins d'étude du comportement, le profil est rigide, et sans bouche d'air, il ne fermera donc pas comme le ferait la voile de parapente dépourvue de structure rigide primaire.

Nous prendrons des clichés aux incidences suivantes: -1° , $+3^\circ$, $+10^\circ$, $+15^\circ$, et enfin un comportement du profil 'reflex' lors d'une forte déformation du profil.

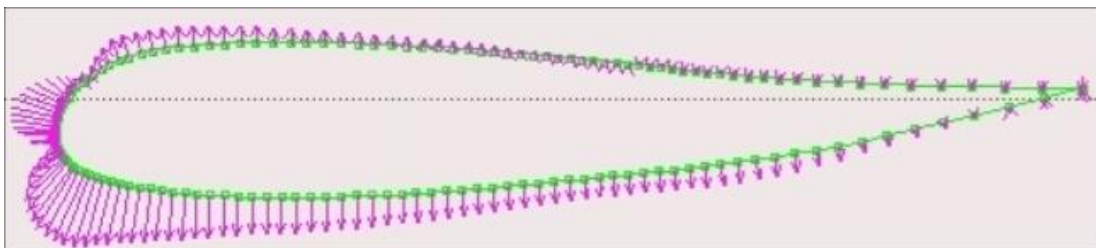
Le vent relatif est parallèle à la ligne pointillée horizontale.

Le vecteur au droit de la surface indique: une dépression s'il pointe vers l'extérieur, une surpression s'il pointe vers l'intérieur. La longueur de la flèche donne l'amplitude de la mesure.

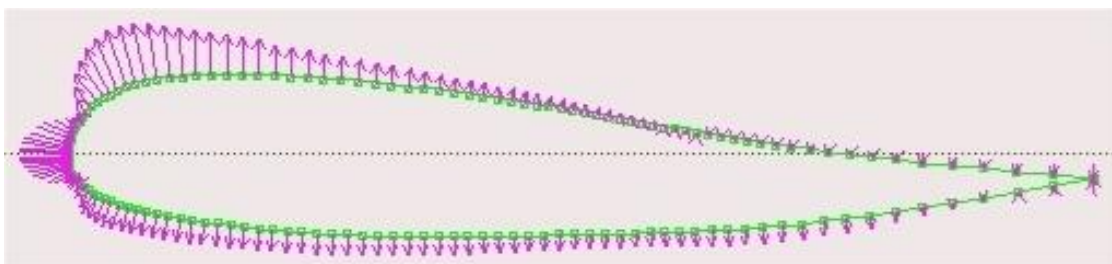


dans le tableau, qui ne sera plus représenté, alpha (α) l'angle d'attaque est: ramenée au parapente l'angle d'incidence $i = 3^\circ$.

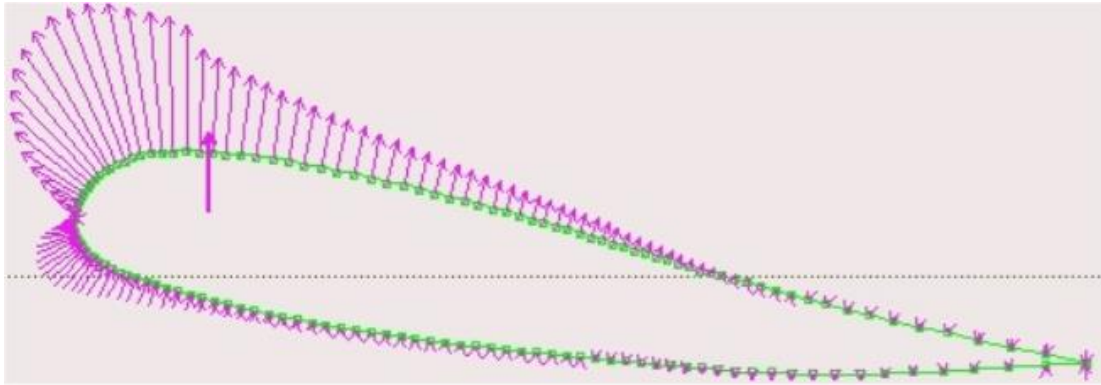
-1° (pour information)



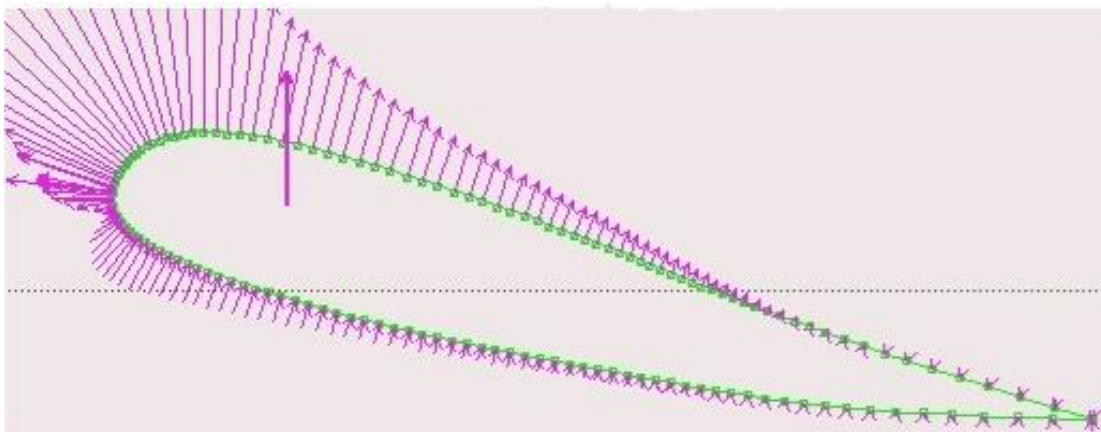
3°



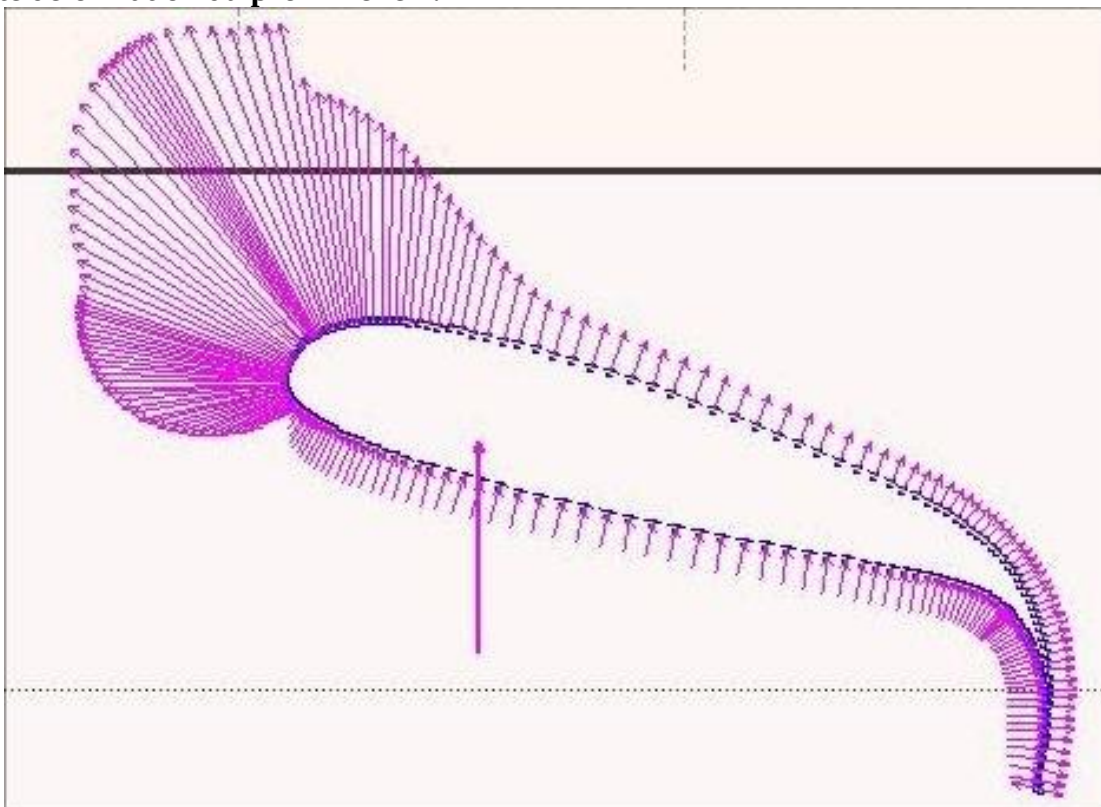
10°



15°



Forte déformation du profil 'reflex':



Ce type d'application aide les concepteurs à affiner le profil et déterminer avec plus d'efficacité la position et les dimensions des entrées d'air, et éloigner les seuils critiques de fermeture et décrochage.

14- Contribution à la sustentation:

Bernouilli (Daniel 1700-1790) a mis en évidence les champs de pressions s'exerçant dans un milieu parcouru par un fluide. Newton (Isaac 1642-1727) moins popularisé dans la mécanique des fluides, avait cependant déjà introduit sa troisième loi: action = réaction.

La force de portance peut être principalement expliquée en utilisant la seule loi de Bernouilli, la loi de Newton s'exprime également dans les mesures du champ de pression établie par Bernouilli.

La Force Aérodynamique $\overrightarrow{FA}$ est la force générée par le différentiel existant entre le champ de pression de l'intrados et de l'extrados. On montre aisément qu'un extrados plus bombé améliore la portance.

Il reste aussi nécessaire de prendre en compte la viscosité du fluide (l'air) pour tendre vers le profil idéal...

La viscosité: l'air est un fluide et présente une viscosité qui se définit par sa résistance à l'écoulement sans turbulence. La viscosité de l'air est responsable des phénomènes de décrochage.

L'effet COANDA. "Du fait de sa viscosité une masse d'air, en mouvement, qui rencontre un profil bombé suit la surface de ce profil; la masse d'air est déviée, de telle manière qu'elle reste « collée » à la surface de l'aile".

Il y a une limite à cette adhérence: la vitesse d'écoulement du fluide, l'intensité de son débit et l'état de surface du profil...

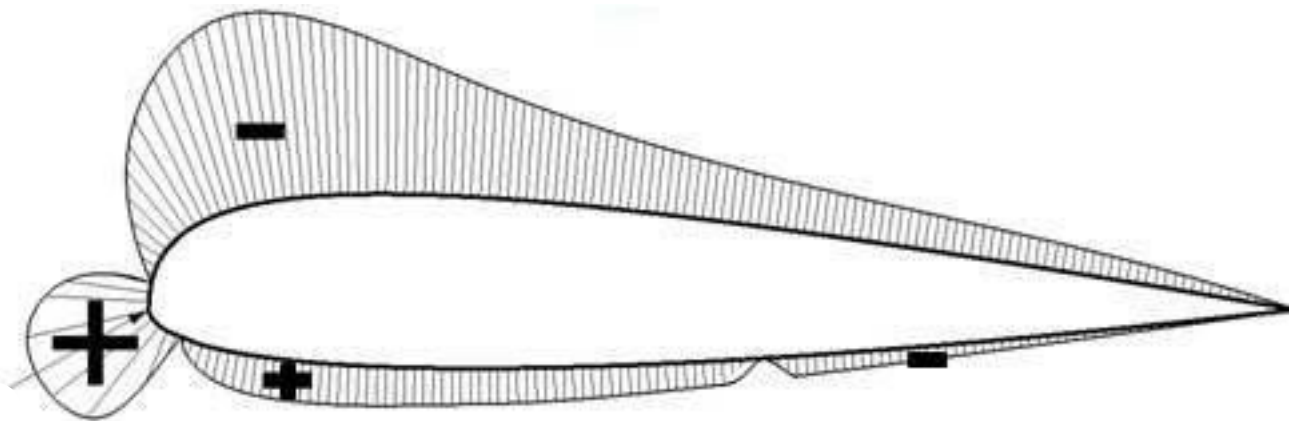
Application du théorème de Bernoulli : ...

La pression du fluide est proportionnelle à l'inverse de sa vitesse.

Quand le fluide accélère: sa pression diminue, si le fluide ralentit: sa pression augmente.

Le profil de l'aile du parapente est dissymétrique, l'extrados bombé est plus long que l'intrados. Le flux d'air au bord d'attaque se sépare en deux flux secondaires qui s'écoulent sur l'intrados et sur l'extrados, pour enfin se reconstituer après le bord d'attaque (avec quelques vortex et remous dans le sillage). La vitesse de l'air 'en contact' sera plus grande sur l'extrados, avec des zones d'accélération différentes le long du parcours, selon la forme du profil.

En application du théorème de Bernoulli une bonne partie de son parcours est le siège d'un champ de pressions globalement inférieures au champ de l'intrados. Il en résulte une force dirigée de l'intrados vers l'extrados.



Les aérodynamiciens auront déterminé le profil, en prenant en compte les différentes forces contribuant à la **FA** afin de trouver le meilleur positionnement du Centre de Poussée: un équilibre entre l'effet à Piquer et l'effet à Cabrer.

Bien d'autres paramètres entrent en ligne de compte dans la conception de l'aile comme:

- le calage,
- le vrillage,
- le choix de différents profils le long de l'envergure.

Construction et maintien du profil aérodynamique d'une aile:

Comment transformer un chiffon en une magnifique aile portante:

L'ouverture du caisson permet l'écopage de l'air. Cet air est en légère surpression par rapport à l'air extérieur: (de 0,70 à 2,00 hPa selon la vitesse relative soit environ $1/1000^{\text{ème}}$ de la pression atmosphérique). Une surpression de 1 hPa, aussi faible semble-t-elle, exerce sur un caisson large de 0,25 m et long de 2,8m, une tension de l'ordre de 70kN soit 7 kg.

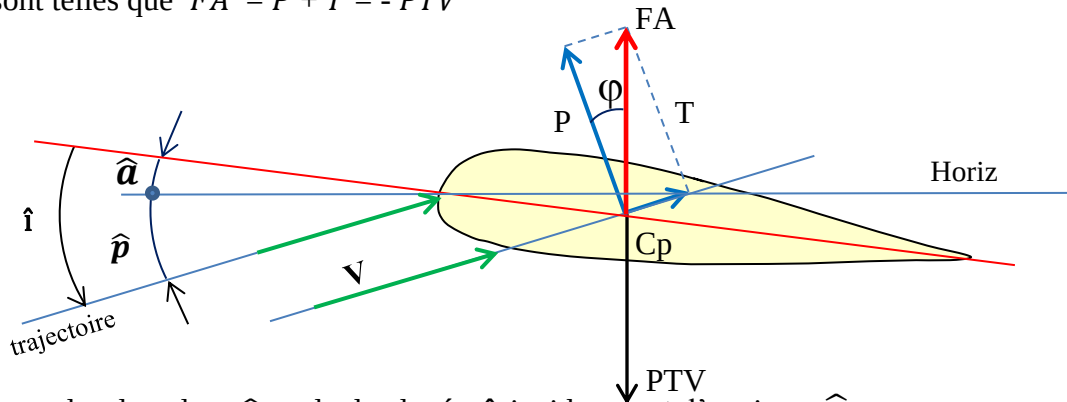
Une fois l'aile construite, les phénomènes de surface, montrés par la loi de Bernoulli, vont assurer le comportement aérodynamique de l'aile. Le champ de (dé)pression d'intrados aura pour effet d'entretenir, par la succion, la forme du profil. L'alimentation en air du caisson pourrait cesser dans un système parfaitement étanche; le maintien de la forme est assuré par le bon vent relatif et la bonne plage d'incidence. Le point d'arrêt est une zone de surpression, bien placé, il constitue un bouchon hermétique.

15- Les repères aérodynamiques d'un profil d'aile en vol rectiligne équilibré :

Traçons :

- le profil de l'aile,
- Les droites et point de référence :
 - la corde, tirée du bord d'attaque au bord de fuite,
 - plaçons le centre de poussée C_p au 1^{er} tiers sur la corde,
 - le vent relatif V , l'horizontale.
- Les angles incidence $\hat{i}$ assiette $\hat{a}$ et plané $\hat{p}$.
- Les vecteurs forces en présence :
 - le Poids Total Volant $\overrightarrow{PTV}$,
 - la $\overrightarrow{FA}$ opposée et d'amplitude égale au $\overrightarrow{PTV}$,
 - la trainée $\vec{T}$ de même direction et sens que le vent relatif,
 - la portance $\vec{P}$ perpendiculaire en C_p au vent relatif (et à $\vec{T}$) orientée vers le haut.
 -

Ces forces sont telles que $\overrightarrow{FA} = \vec{P} + \vec{T} = -\overrightarrow{PTV}$



Repérons les angles de vol : $\hat{p}$ angle de plané, $\hat{i}$ incidence et l'assiette $\hat{a}$:

Notes personnelles :

Compléments de Mécanique du Vol

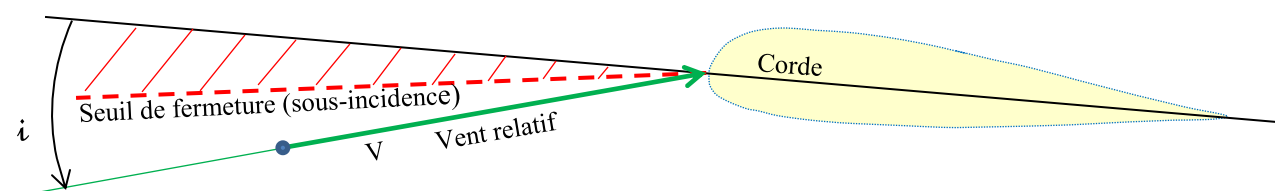
1- Fermetures :

Le terme 'fermeture', couramment utilisé en vol libre, n'est pas hérité de l'aviation, il a été créé pour figurer l'évènement se produisant sur une aile de parapente qui, à ses débuts était constituée de caissons.

La fermeture peut être frontale, ou asymétrique...

Le point commun de ces fermetures est la réduction excessive, le plus souvent involontaire, de l'angle d'incidence $\hat{i}$ (passage au seuil de fermeture : sous-incidence, voire en valeur négative).

On dira volontiers : " l'angle d'incidence trop ouvert, l'aile décroche ", "l'angle d'incidence trop fermé, l'aile se replie".



S'agissant des voiles mono-surface, ou mono-membrane ne comportant donc pas de caissons, les mêmes causes produisent les mêmes effets, nous restons liés à l'incidence. Pourtant, on dira aussi qu'il y a fermeture malgré l'absence d'alvéole.

Qu'en est-il pour l'aile delta ? Le profil aérodynamique et la rigidité sont donnés grâce aux tubes du bord d'attaque et aux lattes. La mise en tension du bord de fuite est également assurée par des lattes.

On ne parle plus de fermeture si l'incidence est trop basse. Le passage en sous-incidence se manifestera immédiatement par un manque de portance et une mise en piqué. En sous-incidence brève, la porteuse du harnais se détend et les câbles claquent, puis le delta retrouve un vol équilibré.

Le tumbling : si les conditions sont extrêmes et de grande ampleur, puisque le delta conserve son profil, c'est toute l'aile qui peut finir par passer en incidence négative (c'est le cas du passage dans une zone de fort cisaillement par exemple). Du fait de la perte de portance, le delta cherche à reprendre de la vitesse par un couple piqueur. C'est la puissance de ce couple (l'énergie cinétique du couple de rotation autour de l'axe de tangage) qui peut entraîner un tumbling, c'est-à-dire un passage sur le dos par l'avant.

Pour éviter cela, les constructeurs mettent des floatings en bout d'aile (baguettes de calage), des balestrons dans la voile ou des câbles de rappel pour les deltas avec mât. Ces artifices techniques tendent

à contrer le mouvement de tangage, au même titre que la queue utilisée par certains deltas de compétition.

Deux autres phénomènes aérodynamiques tendent également à éviter cette situation de tumbling :

- 1) Le delta, comme dans une moindre mesure le parapente, est un système pendulaire. Dès lors, l'inertie inhérente au couple piqueur qui peut entraîner le tumbling sera contrée par ce rappel pendulaire. Ce dernier peut être maximisé par une action sur la barre de contrôle.
- 2) D'autre part, la variation du lieu d'application de la portance suivant l'angle d'incidence. En effet, plus l'angle d'incidence est faible, et plus le point d'application de la portance (centre de poussée CP) est proche du bord d'attaque. Le moment entre le centre de gravité et le centre de poussée crée un couple à cabrer qui tend à ramener l'aile en vol.

Enfin, le pilote, par ses aptitudes de pilotage, peut également « rester éloigné » des situations qui conduisent à un tumbling :

- 1) Ne pas voler trop lentement dans une zone de cisaillement (le vecteur-vitesse n'est plus à-même de minimiser l'effet de rafale, voir les schémas parapente à ce sujet).
- 2) Induire ou accélérer l'énergie cinétique d'un mouvement de tangage-à-piquer, en tirant sur la barre de contrôle. Tirer fortement la barre après un décrochage à très forte assiette par exemple (le déplacement du centre de gravité vers l'avant accentue le couple piqueur).

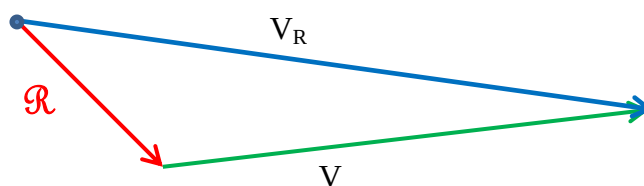
Implication possible des Rafales dans une fermeture : (voir la rose des rafales)

Nous savons que les rafales ont une part très importante sur la variation de l'angle d'incidence, avec parfois un risque de dépassement du seuil de fermeture.

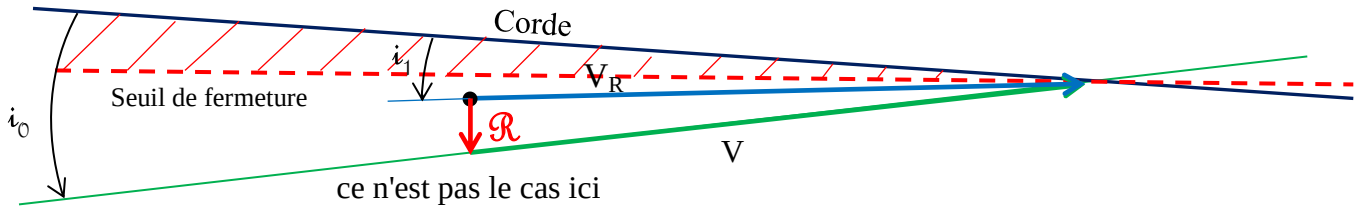
La rafale qui provoque le franchissement du seuil de fermeture est dite rafale efficace $\mathcal{R}_e$.

Tracé du vecteur-vitesse résultant $\vec{V}_R = \vec{V} + \vec{R}$:

On place $\vec{R}$ de sorte que son extrémité touche l'origine de $\vec{V}$. Le vecteur résultant $\vec{V}_R$ a son origine sur l'origine de $\vec{R}$ et son extrémité sur l'extrémité de $\vec{V}$:

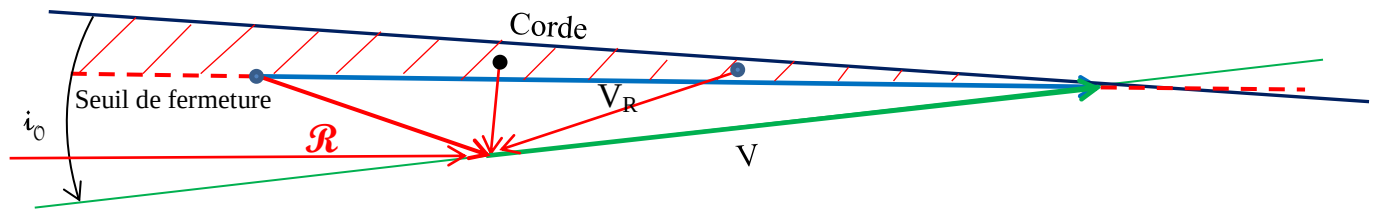


Cette méthode de construction géométrique, vraie quelle que soit l'orientation de $\vec{R}$, montre en lecture directe, si le vecteur résultant $\vec{V}_R$ est dans la zone de fermeture [ce sera vrai si l'origine de $\vec{R}$ est dans cette zone].



Pour entrer en fermeture, la rafale $\vec{R}$ devra venir du dessus de la direction du vent relatif V et l'origine de son vecteur au seuil ou dans la zone de fermeture.

Pour l'exemple, voici différentes rafales susceptibles de provoquer la fermeture. Celle (à 10h) combinée avec V donne le vecteur V_R avec une nouvelle incidence de vol au seuil de la sous-incidence.



On parlera de:

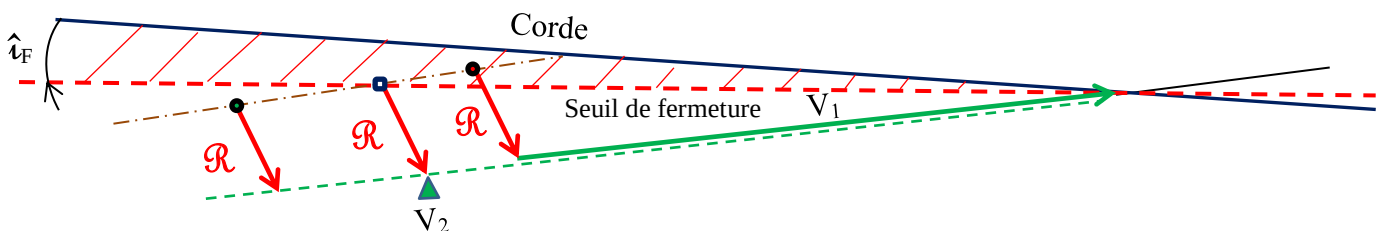
- rafale de face,
- rafale de face plongeante,
- rafale descendante ou de-dessus,
- rafale arrière descendante,
- rafale arrière.

Valeurs remarquables de l'angle d'incidence $\hat{i}$.

Chaque aile a sa propre polaire, et donc une distribution quelque peu différente des valeurs d'incidence : incidence de finesse max, incidence de seuil de décrochage, incidence de seuil de fermeture.

Notons $\hat{i}_F$ l'incidence de fermeture.

Une plus grande vitesse nous écarte du risque de fermeture :



Avec V_1 , nous risquons la fermeture pour une rafale de force $\vec{R}$.

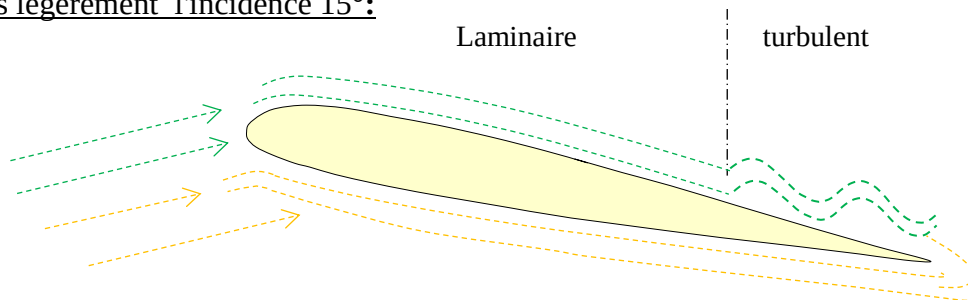
Avec une vitesse supérieure à V_2 , la même rafale ne nous conduira pas à la fermeture.

2- Origine du décrochage:

Nous savons qu'une aile peut décrocher dès que l'incidence atteint le 'seuil de décrochage'. Le décrochage est la conséquence d'une diminution +/- brutale de la portance, provoquée par le décollement des filets d'air de l'extrados, à forte incidence et quelle que soit la vitesse.

Illustration d'un décro bras hauts (voile non déformée). Dans le régime normal, jusqu'à environ 15°, la circulation d'air est pratiquement laminaire tout au long du profil, la viscosité de l'air assure le 'contact' avec la surface.

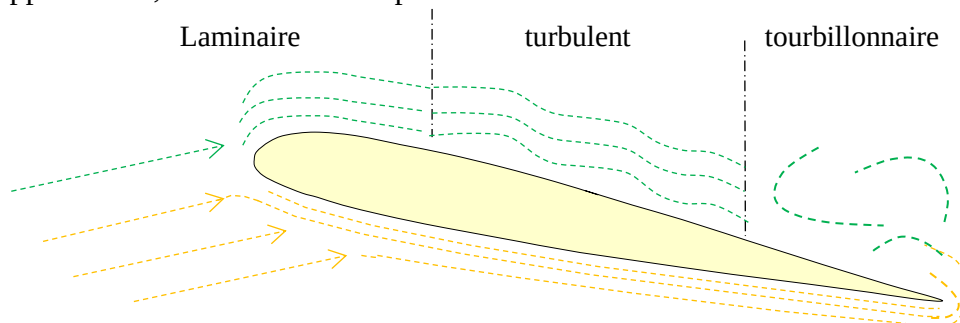
Dépassons légèrement l'incidence 15°:



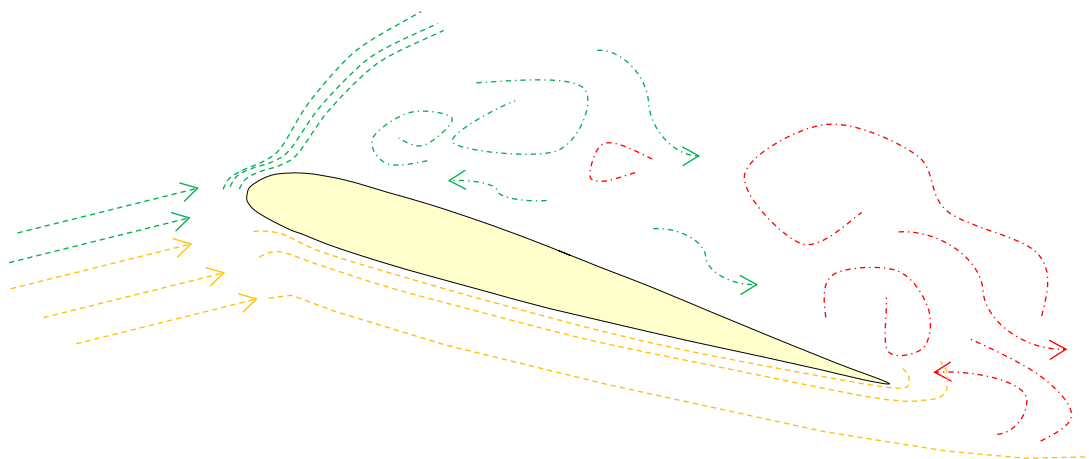
Alors que l'écoulement sur l'extrados était laminaire de bout en bout, apparaît quelques turbulences vers le bord de fuite. L'air se déplace encore dans le bon sens

Approchons du seuil de décrochage i_D :

l'espace laminaire se réduit vers le bord d'attaque, l'extrados est envahi par les turbulences, en extrémité du profil en sous-pression, l'air de l'intrados remonte, en partie, vers l'extrados par le bord de fuite; des tourbillons apparaissent, l'air commence à perdre le contact.

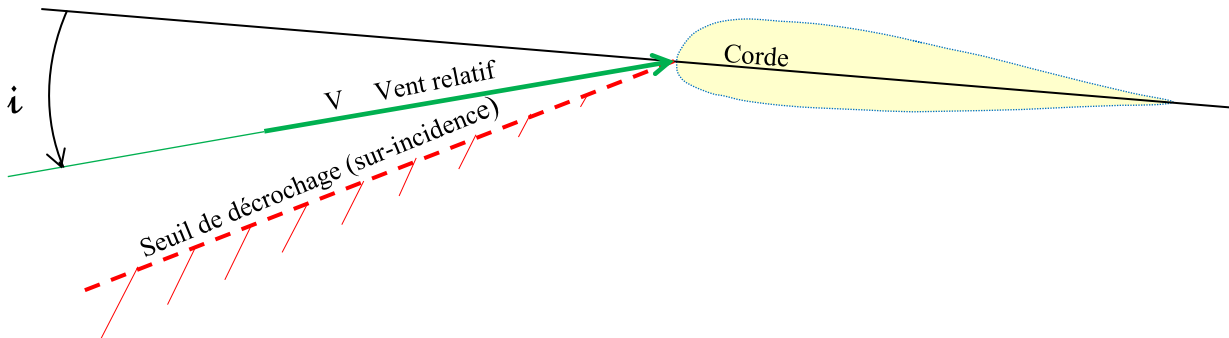


Franchissons le seuil de décrochage: l'extrados n'est que tourbillons, le décrochage est brutal, la portance disparaît l'aile se chiffonne, n'avance plus et tombe.



3- Décrochage :

L'aile décroche car elle n'est plus supportée par la masse d'air, cela se produit lorsque l'aile entre en sur-incidence en franchissant le seuil de décrochage.



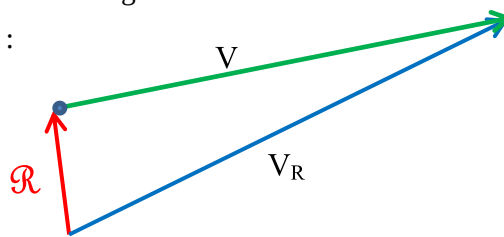
Implication possible des Rafales dans une sur-incidence : (voir la rose des rafales)

Nous savons que les rafales ont une part très importante sur la variation de l'angle d'incidence avec parfois un risque de dépassement du seuil de décrochage.

La rafale qui provoque le franchissement du seuil de décrochage est dite rafale efficace.

Tracé du vecteur-vitesse résultant $\vec{V}_R = \vec{V} + \vec{R}$:

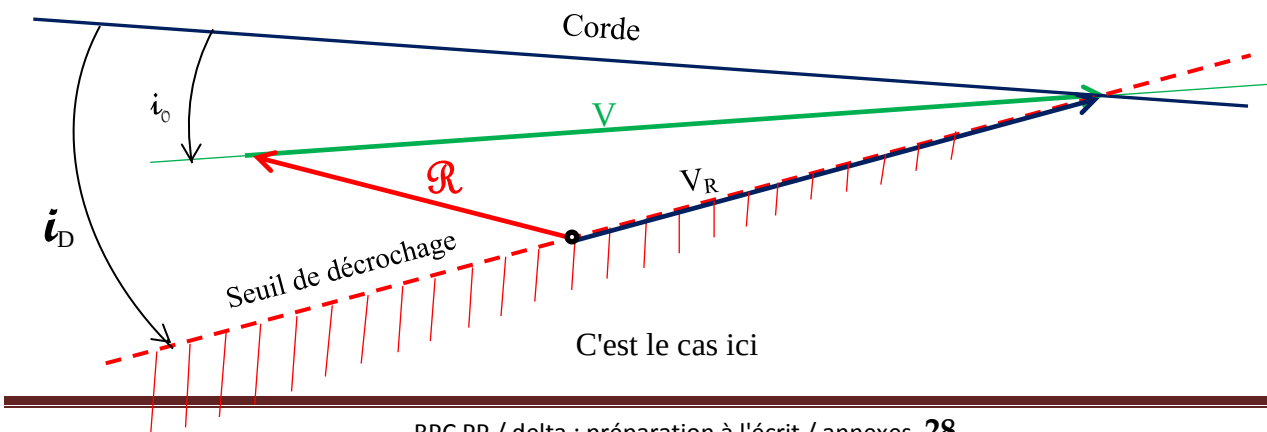
On place $\vec{R}$ de sorte que son extrémité touche l'origine de $\vec{V}$. Le vecteur résultant $\vec{V}_R$ a son origine sur l'origine de $\vec{R}$ et son extrémité sur l'extrémité de $\vec{V}$:



Cette méthode de construction géométrique, vraie quelle que soit l'orientation de $\vec{R}$, montre en lecture directe, si le vecteur résultant $\vec{V}_R$ est dans la zone de décrochage [ce sera vrai si l'origine de $\vec{R}$ est dans cette zone].

La construction du vecteur résultant $\vec{V}_R$ montre qu'il sera dans la zone de décrochage si l'origine de $\vec{R}$ est dans cette zone. Notons l'incidence de décrochage i_D

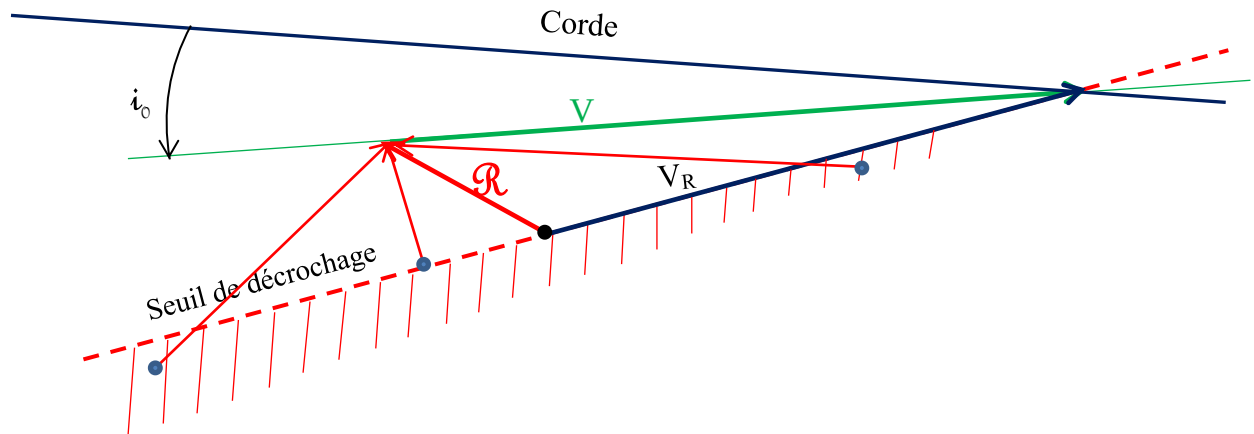
Soit $\vec{V}$ un vent relatif pour une incidence i : vient alors une rafale $\vec{R}$, quel va être le nouveau vent relatif résultant $\vec{V}_R$ et entre-t-il en zone de décrochage ?



Pour entrer en sur-incidence, l'origine du vecteur rafale $\vec{R}$ doit être dans la zone de décrochage.

Pour entrer en décrochage, la rafale $\mathcal{R}$ devra venir du dessous de la direction du vent relatif V et l'origine de son vecteur, au seuil ou dans la zone de décrochage.

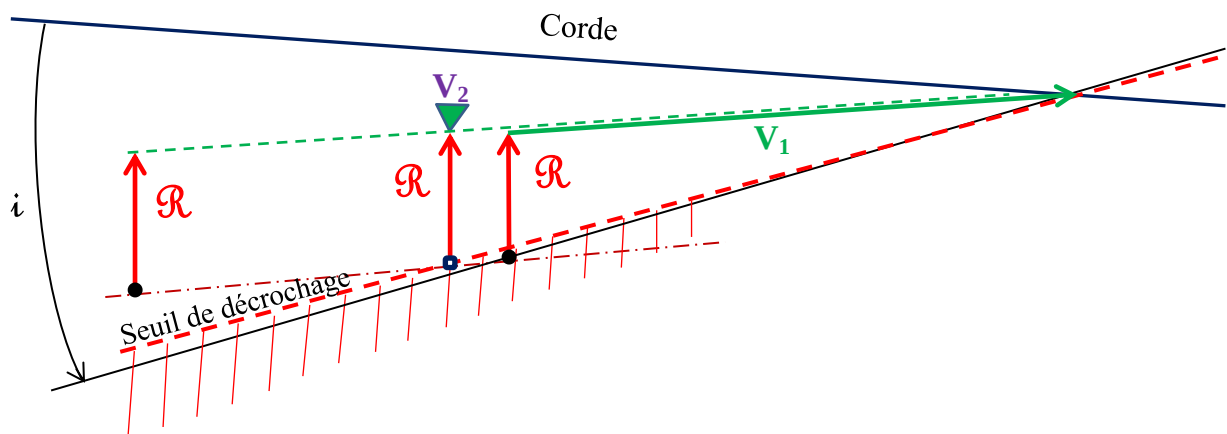
Pour l'exemple, voici différentes rafales susceptibles de provoquer le décrochage. $\mathcal{R}$ (à 4h) combinée avec V donne le vecteur V_R avec une nouvelle incidence de vol, au seuil de la sur-incidence.



On parlera de:

- rafale de face,
- rafale de face montante,
- rafale de-dessous,
- rafale arrière montante,
- rafale arrière,
-

Une plus grande vitesse nous écarte du risque de décrochage :



Avec V_1 , nous risquons le décrochage pour une rafale montante de force $\vec{R}$ donnant une incidence dépassant le seuil de sur-incidence.

Avec une vitesse supérieure à V_2 , la même rafale ne nous conduira pas au dépassement.

4- Le Roulis :

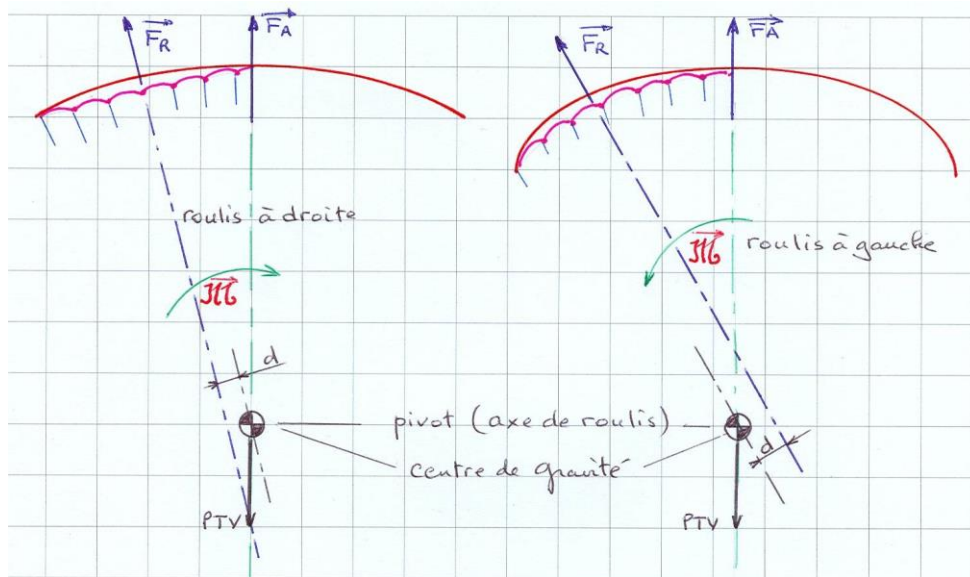
Tirer sur une commande provoque dans tous les cas, et dans un premier temps, une augmentation de la portance.

Sur avion : une commande de gauchissement, par exemple à gauche (manche à gauche), provoque une baisse de portance sur l'aile gauche et une augmentation de portance sur l'aile droite, par le jeu différentiel des ailerons : l'avion incline à gauche sur son axe de roulis.

L'avion incline à gauche avec l'augmentation de portance à droite, alors que le parapente va incliner, comme on le souhaite, à gauche, avec une augmentation de portance à gauche ??

Effectivement, pour virer à gauche, je donne de la commande à gauche ... qui provoque une augmentation F_R de la Force Aérodynamique sur l'aile gauche... donc de la portance à gauche !!

Le roulis inverse : l'aile de gauche est peu cintrée, l'augmentation F_R crée un roulis inverse !



La force aérodynamique $\vec{FA}$ et le $\vec{PTV}$ s'équilibrent et ne contribuent pas au raisonnement.

Le roulis normal : à droite nous avons une aile actuelle, c'est-à-dire un bon compromis entre voûte et longueur de sustentage. La courbure de l'aile est plus grande, la droite d'action de F_R est au-dessus et à distance d du pivot (axe de roulis), et crée un moment de roulis $\vec{M}_R$ à gauche. $[\vec{M}_R = \vec{F}_R * d]$. L'aile pivote autour de l'axe de roulis, c'est le roulis attendu. L'appui sellette du pilote permettra de renforcer le roulis sans accentuer la trainée induite.

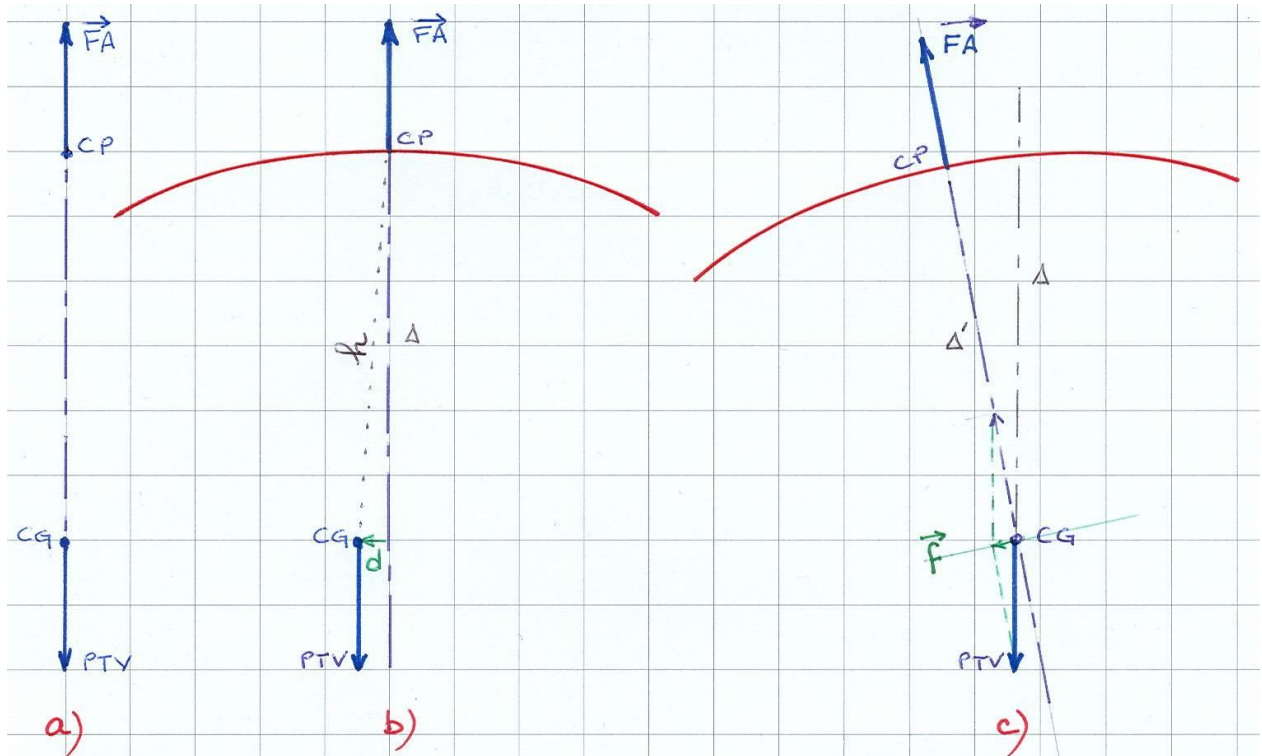
Virage équilibré : pour que l'aile vole normalement dans un virage, elle doit engager trois mouvements autour des trois axes (Roulis, Lacet et Tangage).

- L'augmentation de portance, liée à la commande, provoque un moment de roulis, dans le bon sens
- Le taux de trainée augmente du même côté, induisant du lacet dans le bon sens.
- L'aile étant inclinée, la commande provoque aussi du tangage essentiel au bon déroulement de notre virage. En effet, le fait de donner de la commande crée un freinage, et le pilote se trouve devant la voile qui a ralenti (inertie due à son poids) ; un moment de cabré est appliqué à l'aile sur l'axe de tangage.

Autre possibilité pour virer, l'appui sellette :

L'appui sellette gauche déplace le Centre de Gravité à gauche et crée donc un moment positif $\vec{M} = \vec{FA} * d$ dans le bon sens. Le rendement dépendra de la distance d , c'est-à-dire, plus ou moins d'appui sellette et autres actions sur les commandes; la trainée est épargnée, le taux de chute minimisé.

Principe :



Processus d'inclinaison et de mise en virage par déplacement du centre de gravité:

représentation aile vue arrière.

- Vol rectiligne: $\vec{FA}$ et $\vec{PTV}$ sont verticalement alignés, le système est équilibré.
- Engagement à la sellette : le pilote porte son poids du côté où il veut tourner, à gauche : CG n'est plus verticalement aligné avec CP.
 $\vec{FA}$ exerce un moment $\vec{M} = \vec{FA} * d$ engageant une rotation du système autour de CG, point pivot des axes fondamentaux (la droite d'action de PTV passe toujours par le centre de gravité, pivot du roulis : le moment de PTV est nul).
- Virage stabilisé : le système parapente-pilote a effectué une rotation autour de l'axe de roulis.

Cette rotation a remis $\vec{FA}$ en alignement avec CG, il n'y a plus de moment : $\vec{M} = 0$.

$\vec{FA}$ et $\vec{PTV}$ ne sont plus colinéaires, il en résulte une force qui va enclencher la mise en virage.

Des calculs effectués, et non exposé ici, montrent que l'appui sellette n'est pas une facilité offerte par le système voile-pilote, mais une possibilité.

On pourrait constater que le virage à la sellette ne s'amorce pas, ou si faiblement quand la ventrale est trop serrée, et sans un engagement positionnel du pilote.

Notes personnelles :

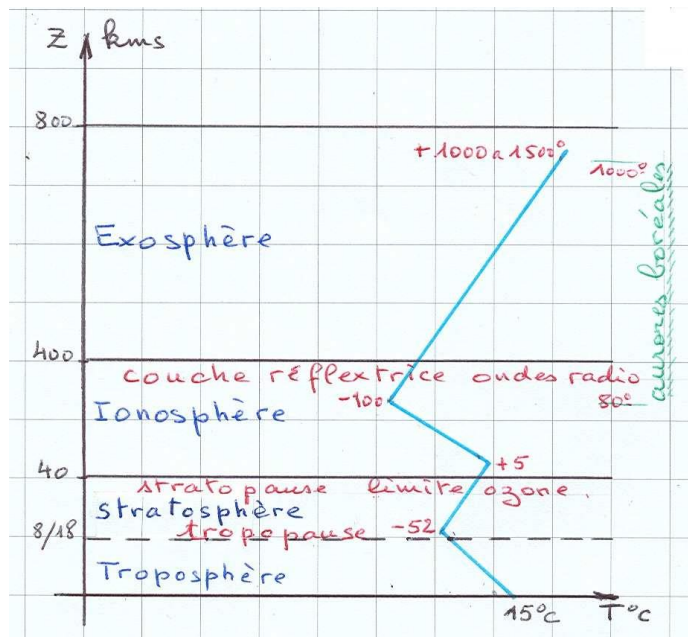
Compléments de MÉTÉOROLOGIE / AÉROLOGIE

Sommaire :

- | | |
|--|---------------------------------------|
| 1- Les couches de l'atmosphère, | 6- Diagramme des changements d'états, |
| 2- La troposphère, | 7- Gradients adiabatiques, |
| 3- La pression atmosphérique, | 8- Emagramme, |
| 4- Caractéristiques de l'air, | 9- Rose des vents détaillées. |
| 5- Application de la loi des gaz parfaits, | |

1. Les couches de l'atmosphère :

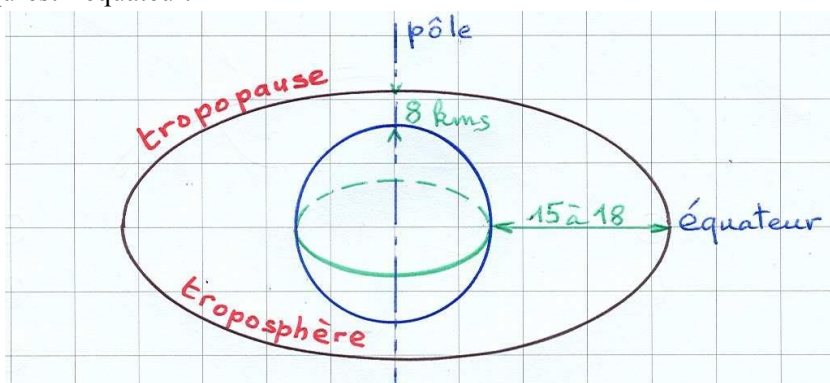
L'atmosphère entoure la Terre sur une épaisseur de 800km, plusieurs couches la composent



La troposphère est la couche de l'atmosphère qui supporte tous les événements météorologiques nous concernant.

La stratosphère moyenne, est encadrée d'une couche d'ozone, protectrice.

2. **La troposphère** : est en quelque sorte une sphère aplatie sur les pôles. Sa limite, la tropopause, est à environ 8km des pôles et 15 à 18km de l'équateur ; c'est une ellipsoïde de révolution, en raison de la force centrifuge (due à la rotation de la Terre), exercée sur l'air, et croissante en allant du pôle vers le grand cercle qu'est l'équateur.

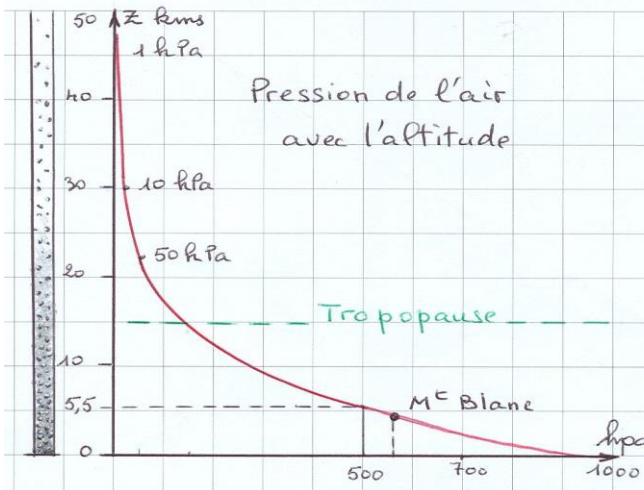


L'air est une composition de gaz et vapeur d'eau : 78% d'azote (N_2), 21% d'oxygène (O_2), des gaz rares, du dioxyde de carbone (CO_2) et de la vapeur d'eau (H_2O).

3. La pression atmosphérique : Cet air est pesant (gravitation), sa densité est d'environ 1,293 au niveau de la mer. Plus on va s'élever et moins l'air sera dense. Ce poids, qui est une force, s'exprimera en termes de pression

La norme OACI définit une **atmosphère standard** telle que : au niveau de la mer à une température de 15°C, la pression atmosphérique soit 1.013,25 hPa (**hectoPascal**) soit $\sim 1 \text{ kgf/cm}^2$.

La pression à un niveau donné est égale au poids de la colonne d'air dominant ce lieu / unité de surface.



La pression diminue quand l'altitude augmente, sa diminution est exponentielle et suit une loi complexe.

On retiendra que la pression est divisée par 2 tous les 5,6 km.

- à 5.500m $\sim$ 500hPa : la quantité d'oxygène suit dans le même rapport, attention à l'hypoxie.
- au niveau de la tropopause : $\sim$ 150 hPa ...
- à 160km Pression atmosphérique $\sim$ 1Pascal :
100 000 fois plus petit qu'au niveau 0.

Action du soleil : pour le flux qui nous est envoyé, 15% est absorbé par l'ozone de la stratosphère, le flux qui atteint la Terre réchauffe notre air : par rayonnement (45%), par réflexion (41%).

Variation de l'effet du Soleil :

- Inclinaison Terre / Soleil $\rightarrow$ saisons,
- Eruptions et taches solaires,
- Nuages et pollution de l'air,

4. Caractéristiques de l'air:

Paramètres de l'air : sa pression **p**, sa température **T°**, son humidité **H** et les lois de la thermodynamique.

Humidité relative Hr : l'air est une éponge pour la vapeur d'eau, et sa capacité d'en contenir est proportionnelle à sa température **T°**.

Dans l'atmosphère, l'eau est omniprésente, il n'y a pas d'air sec $Hr = \frac{\text{Poids de vapeur d'eau}}{\text{poids de vapeur saturante}}$

quand Hr = 100% on a saturation et tout apport de vapeur conduit à une condensation en eau.

Sahara, région centrale : Hr= 4 à 20%

Aux Tropiques : T=35°C, Hr=100% $\rightarrow$ 40g de vapeur d'eau /m³.

Pressions atmosphériques extrêmes observées : 1.080 hPa (**Sibérie**) 876 hPa (**Sumatra**- cyclone).

5. Loi générale sur les gaz parfaits ramenée à la théorie de la pompe à vélo et du gazogène :

On aime à dire que la température augmente quand la pression augmente, en prenant l'exemple de la pompe à bicyclette. En effet, si on obstrue, plus ou moins, l'orifice de la pompe et que l'on enfonce le piston, on constate en effet, un échauffement qui est dû à l'augmentation de la pression. C'est ce qui arrive à l'air quand il descend.

Cet exemple pratique, montre qu'il existe une relation entre pression et température.

Réciproquement, on constate, sans être physicien mais sportif, que lorsque l'on veut calmer par le froid, un claquage ou calmer une douleur superficielle, on passe un coup de bombe réfrigérante ; qui utilise le principe de production de froid par la détente de gaz comprimé.

Ce sont des phénomènes de la physique, et plus particulièrement de la Thermodynamique, et il convient, parce que nous ne pouvons nous dérober à cela, de rappeler au moins une de ses lois. Par exemple celle du gradient adiabatique, qui lie pression et température atmosphérique dans la troposphère :

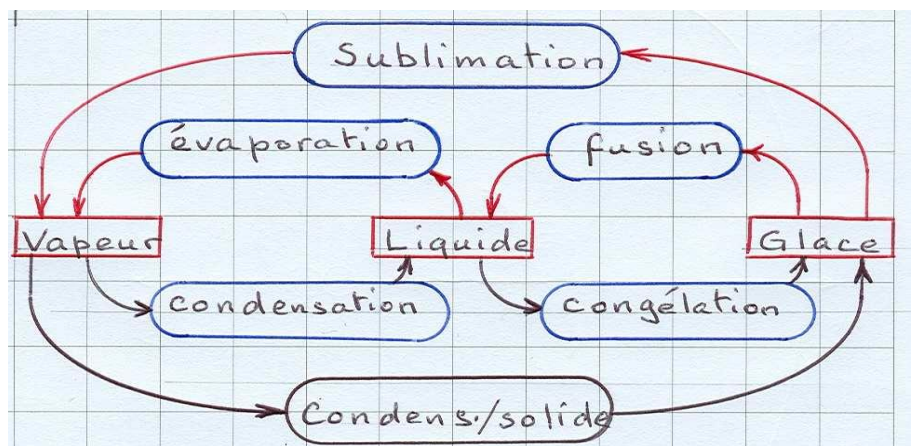
$$\frac{Pz}{P_0} = \left[\frac{Tz}{T_0} \right]^{5.255} \quad \text{où } P_0 (1.013) \text{ et } T_0 (288^\circ) \text{ sont les standards OACI, en hPa et } ^\circ\text{K}$$

un point de mesure P et T à une altitude z donnée.

Cette formule facile à lire (fusion des lois de Gay-Lussac, Avogadro, Charles et Mariotte), mais qui sous-entend quelques complexités, a le mérite de nous montrer cette relation entre P et T, et va permettre le tracé des réseaux d'adiabatiques sèches et humides indispensables à la construction des **émagrammes**.

Admettant cette relation Pression et Température, tout va s'enchaîner dans la compréhension de la formation des nuages.

6. Diagramme des changements d'état : Vapeur, liquide et solide.



7. Conséquences des Lois de la thermodynamique :

L'air est un isolant, tout changement d'état (vapeur, liquide, solide) s'effectue sans échange de chaleur avec l'extérieur : nous parlons alors de transformation adiabatique.

Lors d'une de ces transformations, par exemple la vaporisation qui produit du froid, cette chaleur conservée, mise en réserve dans la particule d'air, s'appelle *chaleur latente*. Cette chaleur est « cachée » mais prête à servir au prochain changement d'état qui serait la condensation.

L'adiabatique sèche : lorsque l'air (non saturé), subit une modification de pression, par un changement d'altitude Z par exemple, sa température subira une variation de même sens.

Quand $Z \nearrow$ alors pression $p \searrow$ et température $T \searrow$ si $Z \searrow$ alors $p \nearrow$ et $T \nearrow$ en vertu de la loi générale sur les gaz parfaits.

gradient de l'adiabatique sèche : $\sim 10^\circ\text{C}/1.000\text{m}$

L'adiabatique saturée : l'humidité relative est à 100% dès lors : si $T \searrow$ la vapeur d'eau poursuit sa condensation, par contre si $T \nearrow$ la gouttelette excédentaire se vaporise.

Quand $Z \nearrow$ il y a détente, alors $p \searrow$ et $T \searrow$: en montant, la parcelle d'air saturé subit une détente adiabatique, le passage de la vapeur d'eau en phase de condensation est source de chaleur et ainsi réduit l'intensité du refroidissement de la particule. La vapeur d'eau et la chaleur latente qu'elle contient jouent en modérateur.

Nous disons indifféremment : adiabatique saturée, adiabatique humide ou pseudo-adiabatique.

L'expression pseudo adiabatique se justifie car la vapeur d'eau, à mesure qu'elle condense, fournit de la chaleur.

Quand $Z \searrow$ il y a compression, alors $p \nearrow$ et $T \nearrow$: en descendant, la parcelle d'air saturé subit une compression adiabatique, et des gouttelettes vont se vaporiser (ou se sublimer) ; cette phase va consommer de la chaleur, donc produire du froid, à contrario de l'élévation de Température due à l'accroissement de p .

Le gradient de cette compression adiabatique saturée est le même qu'en détente. Pour que ce pseudo adiabatisme se prolonge, il faut que la parcelle d'air soit alimentée en eau liquide ou solide lors de traversée de nuages ou de précipitations.

Les valeurs extrêmes du gradient : $T_{ps} : \sim 2,5^\circ\text{C} (\text{à } +40) < T_{ps} < 9,78^\circ\text{C} (\text{à } -40)$ par $\Delta z = 1000\text{m}$.

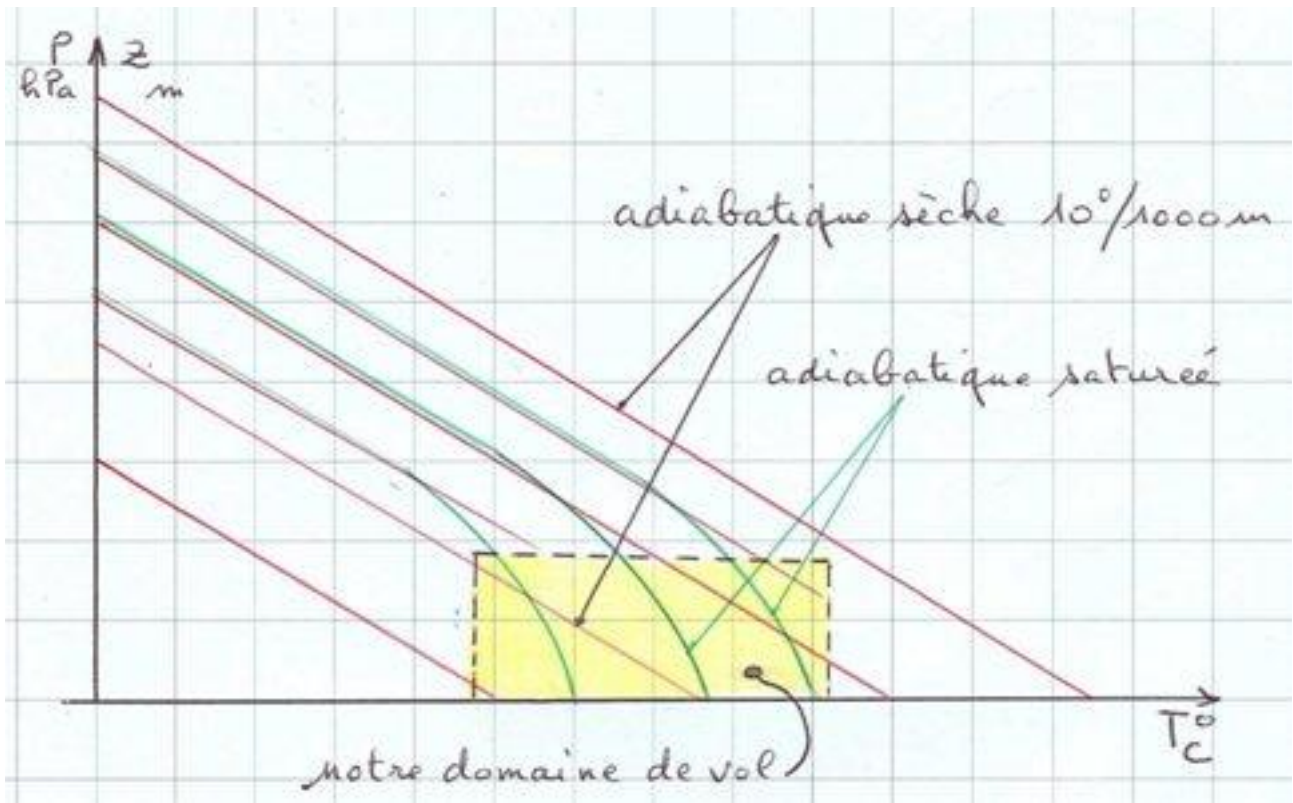
Variation du T_{ps} selon la pression

- à 1.000 hPa ($z=0$) : de $-3,15^\circ\text{C}/\text{km} (+40^\circ\text{C})$ à $-9,78^\circ\text{C}/\text{km} (-40^\circ\text{C})$.
- à 500 hPa ($z=5500\text{m}$) : de $-2,55^\circ\text{C}/\text{km} (+40^\circ\text{C})$ à $-9,54^\circ\text{C}/\text{km} (-40^\circ\text{C})$.

Représentation graphique du gradient des adiabatiques sèches et humides.

Aux très basses températures ou pressions, les courbes des pseudos rejoignent celles des adiabatiques sèches.

La pression p diminue quand l'altitude z augmente...

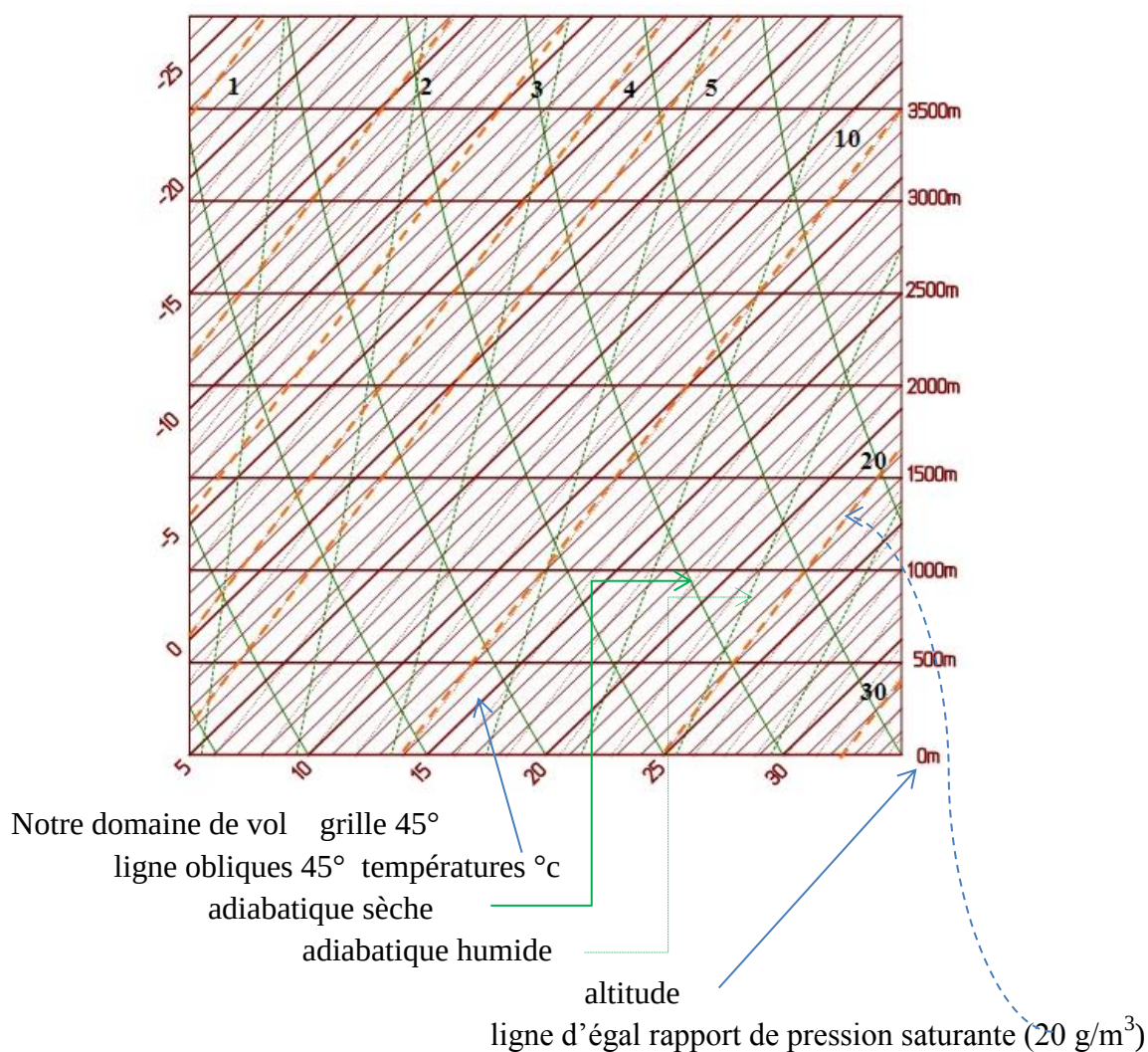


Dans notre domaine (fenêtre) de vol, le gradient adiabatique humide, standard est pris à une **valeur moyenne** de 6,5°/ 1.000m.

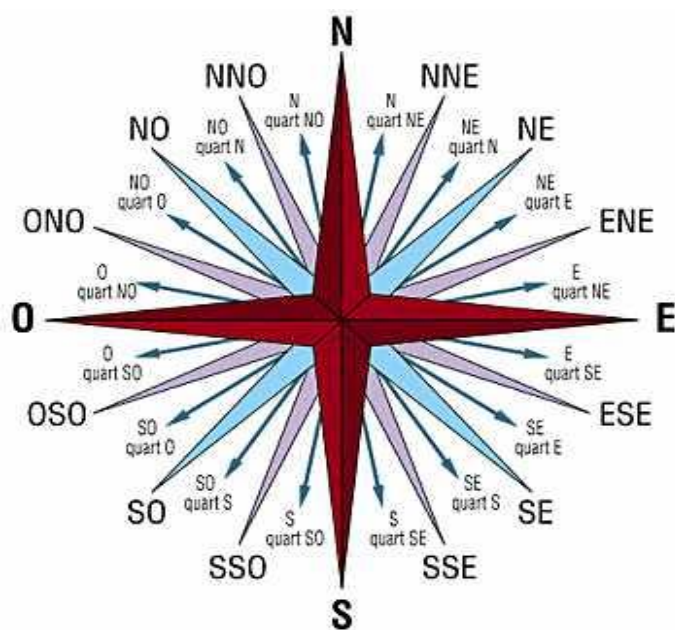
gradient adiabatique saturé standard: 6,5°C / 1.000m	(moyenne choisie dans notre fenêtre de vol)
---	---

cette valeur est un standard pour simplification de calcul, mais le modèle 'émagramme 45°', représenté ci-après, utilisé pour le tracé de nos émagrammes, respecte la courbure réelle des lignes adiabatique sèches et saturées.

8. Modèle d'émagramme 45° vierge utilisable pour le parapente ou delta.



9. direction des vents :



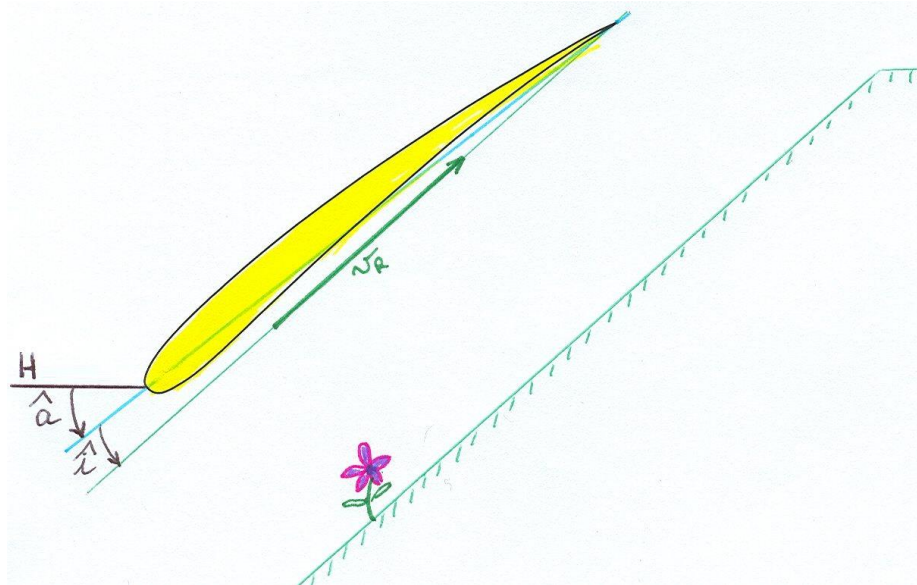
Compléments de PILOTAGE

Sommaire:

- | | |
|----------------------------------|--|
| 1- Décollage en pente très forte | 3- Virer à plat, taux de chute réduit: |
| 2- Améliorer le lacet: | 4- L'effet Girouette |

1. Décollage en pente très forte

Décollage delta assiette très négative pour une incidence correcte

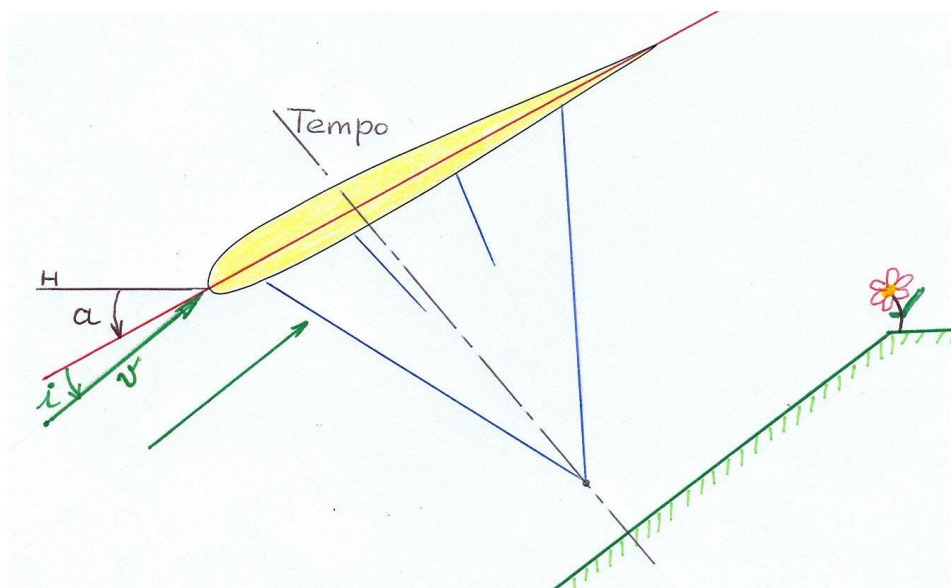


Le pilote de delta sait qu'au décollage, l'assiette varie avec la pente et qu'elle peut être très négative. Ce qui est très évident pour l'aile delta l'est moins pour l'aile du parapente, qui n'est pas dans la ligne de mire du pilote.

Décollage parapente en pente très forte, assiette très négative pour une incidence correcte.

Le vent relatif est parallèle à la pente, l'assiette est négative, l'incidence correcte.

Le pilote lève sa voile naturellement mais veille à ne faire la tempo que lorsque la voile est bien sur sa tête, et non en arrière.



2. Améliorer le lacet:

D'autres éléments à identifier améliorent le mouvement de lacet et par conséquence, le rayon du virage. Tel que l'effet girouette qui met du lacet pour entrer dans le lit du vent.

Dans les faits, quand on vire à la sellette, on procède généralement ainsi :

Ventrale normalement relâchée,
Commandes position 'taux de chute mini' (mains aux épaules ...),
Transfert du poids coté à virer
Donner un peu de commande pour mieux engager,
Et on virera plus efficacement,

3. Virer à plat, taux de chute réduit:

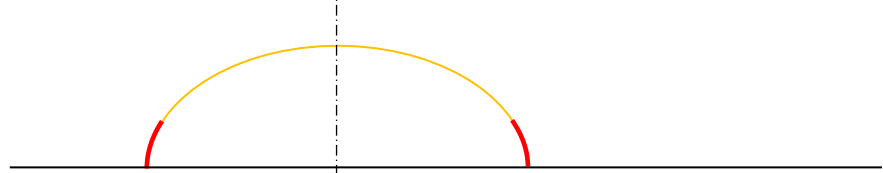
Commandes position 'taux de chute mini'
(mains aux épaules ... léger freinage pour réduire l'effet pendulaire
transfert du poids coté à virer,
relâcher un peu la commande extérieure une fois le virage stabilisé.

- En soaring par exemple, le virage sellette marche d'autant mieux qu'il y a un vent qui va nous aider au virage, ce sera l'effet girouette qui nous tend à nous placer dans le lit du vent relatif.
- En ascendance faible mais étendue, le virage sellette seule pourra être adopté et limitera le taux de descente.
- En thermique soutenu, la commande sellette permettra de ne pas risquer :
D'approcher le seuil de décrochage sur rafale arrière ou montante,
Enrayer un départ en autorotation
...
On contrera un départ en rotation par un franc appui sellette coté aile ouverte...

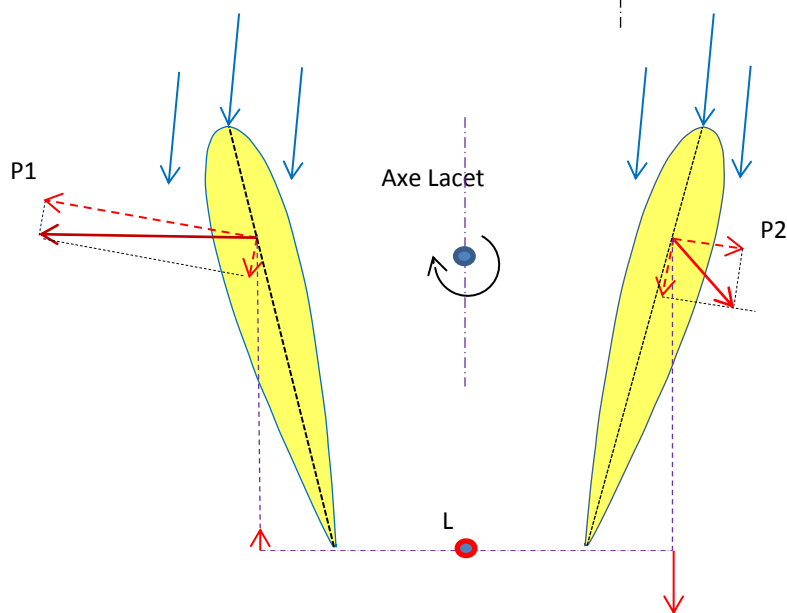
4. L'effet Girouette

Par un mouvement de glissade ou de dérapage, l'aile se trouve avec un vent de travers; au sol ce sera le vent météo, en vol ce sera le vent relatif. De par sa forme cintrée, l'aile va corriger et se réaligner dans le lit du vent, en pivotant autour de l'axe de lacet, lui donnant ainsi une stabilité de route.

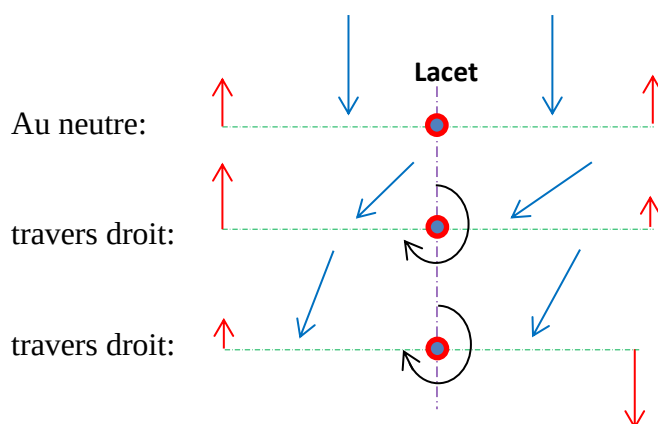
Sur avion, l'empennage permettra l'effet girouette, sur nos parapentes ce seront les caissons latéraux, qui le permettront.



Quelles sont les forces en présence? faisons une approche intuitive,



En règle générale, l'orientation du vent crée des incidences différentes. L'équilibre précédant cet écart au vent est rompu, les forces résultantes de part et d'autre sont d'amplitude, voire de sens différents. Il en résulte un couple correcteur qui réaligne la voile dans le lit du vent.



Notes personnelles:

This image shows a full page of white paper with horizontal blue or grey ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page, providing a template for handwriting practice. There are no margins, text, or other markings on the page.

Compléments de RÉGLEMENTATION / ESPACE AÉRIEN

L'ESPACE AÉRIEN Ouvertures aux cross.

Sommaire :

1. Division de l'espace aérien,
2. Zones à statuts particuliers,
3. NOTAM,
4. Cartes : interprétations des limites planchers et plafonds,
5. Tracé du volume, autour aéroport Valence-Chabeuil,
6. Les parcs nationaux et régionaux.

1. Division de l'espace aérien : la division de l'espace aérien est une nécessité pour séparer les différents types de trafic : transport (civil et militaire), chasse, aviation légère...

Etage inférieur : du sol à FL195 *

Etage supérieur : plancher FL195 / illimité au-dessus.

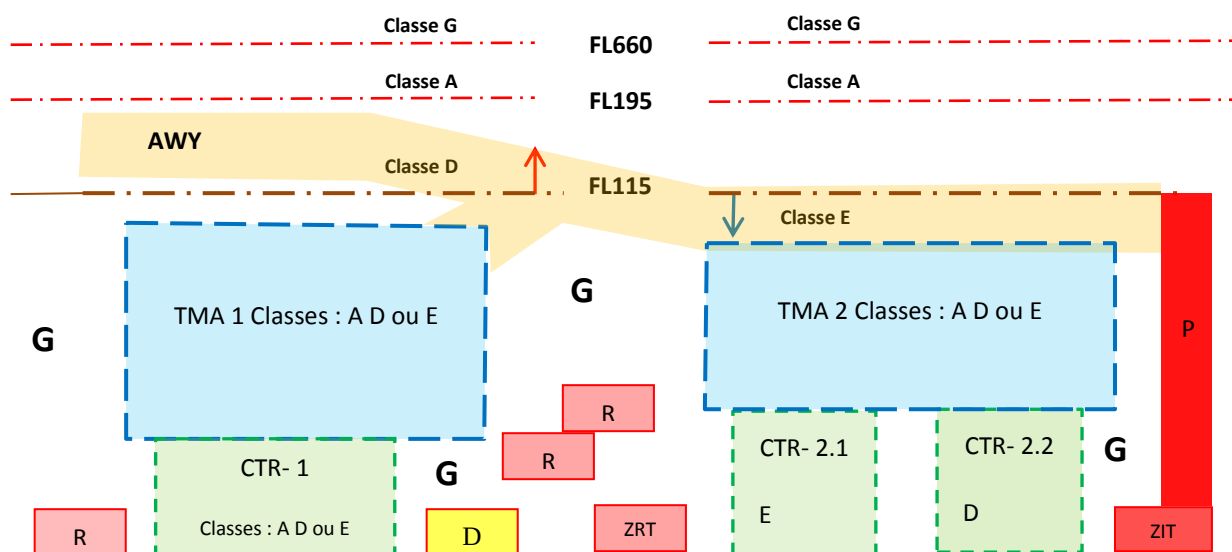
Deux niveaux sont importants à connaître, pour le vol libre :

- FL115 (3.500m), on ne peut pas aller au-dessus, sauf dans les Alpes et les Pyrénées.
- FL30 (900m), ce niveau appelé autrefois Surface S**, délimite deux conditions VMC
- On peut retenir aussi FL195 (5.850m), mais ce niveau ne nous concerne pratiquement pas.

* le niveau de vol **FL** est relatif à la surface isobare 1.013,25 hPa.

**appellation supprimée depuis 2007 mais les conditions restent en vigueur.

Coupe simplifiée de l'espace aérien :



Les classes d'espaces B et C n'existent pas en France

Airways (AWY) voies aériennes : relient les TMA entre elles, vol IFR,

largeur 10Nm (~16km) plancher variable, plafond FL195.

Sont : en classe D au-dessus de : 'plus haut entre' (FL115 ou 3000' ASFC),
en classe E en-dessous.

L'Airway reste perméable au vol VFR (Visual Flight Rule règles de vol à vue) tant que l'on reste en-dessous du niveau 3.500m (FL115) et en condition VMC (Visual Meteorological Conditions) obligatoire.

Rappel des règles VMC pour le vol libre,

Conditions Minimales de vol à vue	Visibilité horizontale	Distance aux nuages
En Classe E ou G au-dessus de : 900m / mer(AMSL) ou 300m / sol (ASFC)	8 km au-dessus de 3.000m (FL100) 5km au-dessous de 3.000m (FL100)	1.500m horizontalement 300m verticalement
En Classe G sous : 900m / mer (AMSL) ou 300m/ sol (ASFC)	1.500m	Hors des nuages et en vue du sol

TerMinal control Area (TMA) : volumes d'espace contrôlé, couvrant un ou plusieurs CTR ou aérodromes : la TMA protège le transit, trajectoires IFR d'attente, d'arrivée, de départ. En France, les classes sont C, D ou E ...

Tout Paris, qui est à très fort trafic, est classe A (IFR obligatoire).

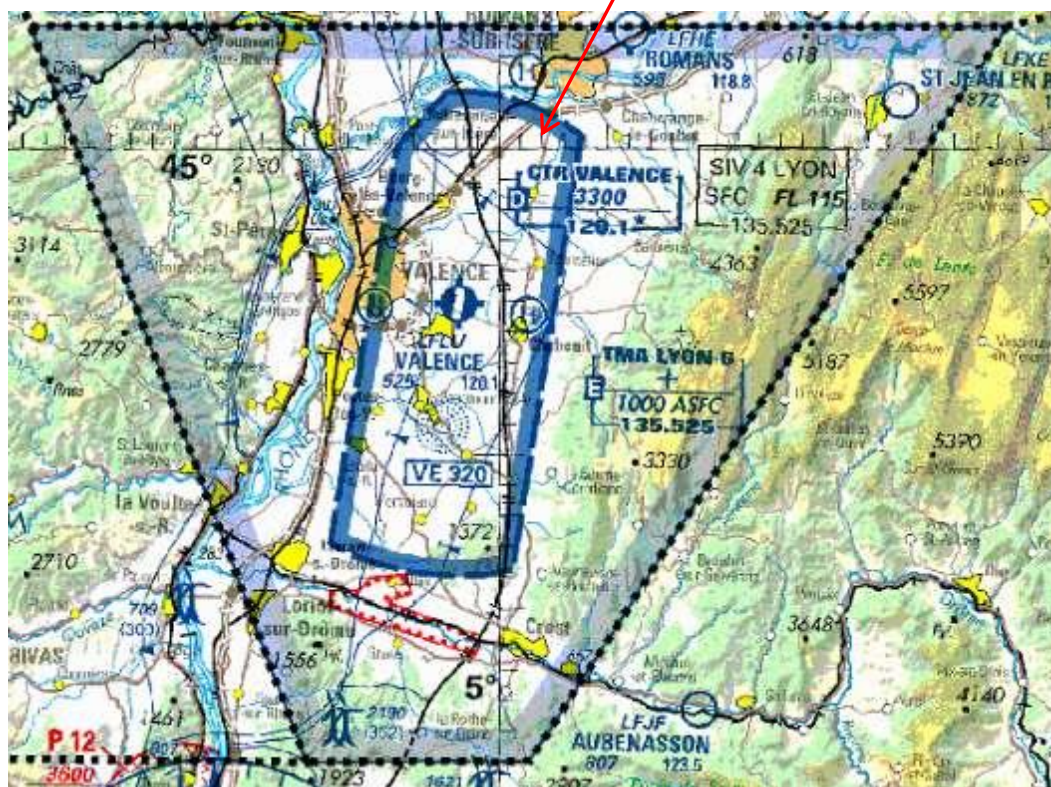
Attention, la carte aéronautique 1/500.000ème n'est renseignée que jusqu'à 5000ft AMSL ou 2000ft ASFC, alors que la 1/1.000.000ème est limitée à FL195.

Tout plafond marqué par une croix (un +) a la valeur maximale indiquée pour la carte.

Control Traffic Region (CTR) : Zone de contrôle d'aérodrome.

Ce sont les espaces aériens sous la TMA, en contact direct avec les aérodromes, englobant les trajectoires d'atterrissage et de décollage et la circulation aérienne locale. Un CTR peut gérer plusieurs aérodromes. Espaces généralement classés D.

Leurs volumes sont définis sur les cartes aéronautiques (1/1.000.000^{ème} ou 1/500.000^{ème}) et VAC (Visual Approach Chart) de l'aérodrome.



La CTR de Valence contrôle particulièrement l'aérodrome LFLU Valence-Chabeuil.
La TMA6-Lyon couvre l'espace environnant.

2. Les zones à statuts particuliers :

Ces zones ont été créées pour des besoins spécifiques propres à la zone considérée :

- Les zones réglementées, zones « R », ce sont des zones dont la pénétration est soumise à certaines conditions (contact radio, clairance) spécifiées dans le « complément aux cartes aéronautiques ».



Cas d'un tronçon RTBA, voir LF R46F3 dans le livret **Complément aux cartes aéronautiques**, volumes et horaires d'activation (extrait reporté ici).

VOISINS.	
LF R 46 F3	Plafond / Upper limit Plancher / Lower limit
	3300ft AMSL 800ft ASFC
Activité / Activity	Entraînement très grande vitesse, très basse altitude. Le pilote n'assure pas la prévention des collisions
Horaires d'activation / Hours	Sauf JF. LUN: 0800-1000 et 1200-1400 MAR: 0800-1000, 1200-1400 et SS+30-2300 MER, JEU: 0800-1000 et SS+30-2300 VEN: 0800-1000. HIV: +1HR.
Organisme gestionnaire / Operating authority Conditions de pénétration / Penetrating conditions Observations / Remarks	Contournement obligatoire pendant les créneaux d'activation. Gestionnaire: CDPGE Athis-Mons. Connaissance des créneaux d'activation par INTERNET: www.sia.aviation-civile.gouv.fr (rubrique NOTAM-AZBA du jour) ou TEL vert: 0800 24 54 66. Activité réelle connue de: CIV ou AD voisins.

- Les zones dangereuses, zones « D », leur pénétration ne nécessite aucune clearance* préalable mais présente un danger pour les aéronefs. La nature du danger et les heures d'activités figurent sur le complément aux cartes aéronautiques.



Voir LF D595... gare au rayon vert, vaut mieux ne pas y aller !

Observations / Remarks	
LF D 595 LASER HTE PROVENCE	Plafond / Upper limit Plancher / Lower limit
	FL195 SFC
Activité / Activity	Rayonnement laser pouvant entraîner des lésions oculaires
Horaires d'activation / Hours	H24
	Plafond / Upper limit
	FL195

*clearance (ou clairance) : en aéronautique, 'avoir les autorisations', la clairance est obtenue par contact, direct radio, avec le Contrôle Local d'Aérodrome (CLA : la tour de contrôle) ou les autorités compétentes.

- Les zones interdites, zones « P » (Prohibited), ce sont des espaces fermés à la circulation aérienne générale.

Centrale Nucléaire de Paluel



LF P 32 PALUEL		Plafond / Upper limit Plancher / Lower limit	3500ft AMSL SFC
Horaires d'activation / Hours		H24	
Organisme gestionnaire / Operating authority		Voir ENR 5.1-0 paragraphe 1.2.2	
Conditions de pénétration / Penetrating conditions			
Observations / Remarks			

- Les zone réglementées temporaires (ZRT), ce sont des espaces aériens réservés à l'usage d'usagers spécifiques pendant une durée déterminée (transit possible avec une clearance).



- Les zones interdites temporaires (ZIT), sont des espaces créés pour des raisons de sûreté aérienne pour la protection des sites sensibles (centrale nucléaire de Cruas (ardèche) devenue 'prohibée').



LF ZIT 12 CRUAS MEYSSE		Plafond / Upper limit Plancher / Lower limit	3600ft AMSL SFC
Activité / Activity	Zone d'interdiction temporaire		
Horaires d'activation / Hours	H24		
Organisme gestionnaire / Operating authority Conditions de pénétration / Penetrating conditions Observations / Remarks	RDL 035°/1.2 NM AD MONTELMAR FIR MARSEILLE Voir ENR 5.1-0 paragraphe 1.3		

- Les zones de ségrégation temporaires (TSA) et zones transfrontalières (CBA) qui sont des zones réglementées à gestion particulière et qui sont imperméables aux vols VFR pendant leur activité.



- Les zones de parachutages.



436 GAP TALLARD Aérodrome		Plafond / Upper limit	FL155
Limites latérales / Lateral limits	44°27'18"N,006°02'16"E		
Horaires / Hours	SR-SS.		
Observations / Remarks	Autres HOR et niveaux au-dessus du FL155 sont annoncés par NOTAM. Activité réelle connue de GAP Info.		

- Zones de concentration d'activités aériennes : voltige, Vol à voile, treuillage, aéromodélisme



on consulte le complément aux cartes aéronautiques et Notam

Les noms et les limites horizontales et verticales de ces zones figurent sur les cartes aéronautiques au 1/500.000 et 1/1.000.000. Les organismes qui les gèrent, les fréquences à contacter ainsi que les heures d'activités figurent dans le guide complément aux cartes aéronautiques.

- Les parcs nationaux et régionaux :

Les parcs sont havres pour la flore et la faune, et sont protégés. Des avancées ont été faites pour l'accès au vol libre, parapente et delta, rigoureusement interdit de pratique il y a encore quelques temps. Depuis 2011, nous passons de l'interdiction à la réglementation.

Les protocoles s'établissent distinctement d'un parc à l'autre. Les directeurs de parc, précautionneux de leurs espaces, restent décisionnaires. Nos représentants de la FFVL, les CDVL locaux œuvrent pour une pratique du vol libre, dans le respect de la nature.

Il paraît difficile de lister pour tous les parcs les droits et obligations, d'autant plus improbable que d'une année à l'autre, des modifications peuvent être faites et d'autres décisions prises.

Mais retenons le principe de base :

Ni déco, ni atterro, le survol à moins de 1000 m du sol (en cross, à distance minimum de 300m du relief) est interdit pour la tranquillité de la faune sauvage, à cela s'ajoute des périodes annuelles, d'interdiction totale.

Des panneaux sont mis en place pour informer le vélibériste. Tout vol sauvage ne respectant pas ces consignes de base mettrait gravement en péril les discussions FFVL / Parcs.

3. NOTAM :

L'activation ou activité réelle de certaines zones est annoncée par NOTAM (Notice to AirMan) qui signifie Notice aux Navigants.

Nombre de NOTAM : 4

LFLU VALENCE CHABEUIL

- ☒ LFFA-D4070/12
A) LFLU VALENCE CHABEUIL
B) 2012 Oct 11 12:56 C) 2013 Apr 11 23:59
E) EN DEHORS DES HORAIRES PROGRAMMES LA CTR DE VALENCE EST SUSCEPTIBLE D'ETRE ACTIVEE SANS NOTAM DANS L'HEURE QUI SUIV
LES HORAIRES ATS PROGRAMMES
L'ACTIVATION RELLE EST CONNUE SUR LA FREQUENCE VALENCE TOUR
120,100 MHZ
- ☒ LFFA-D4302/12
A) LFLU VALENCE CHABEUIL
B) 2012 Nov 08 00:00 C) 2013 May 15 23:59
E) NOTAM TRIGGER SUP AIP 174/12 EN VIGUEUR LE 08 NOVEMBRE 2012.PLAN
NEIGE SAISONNIER HIVER 2012-2013.DISPONIBLE SUR
WWW.SIA.AVIATION-CIVILE.GOUV.FR
- ☒ LFFA-D4962/12
A) LFLU VALENCE CHABEUIL
B) 2012 Dec 19 09:03 C) 2013 Jun 30 23:59
E) OBST: ARBRES SITUES A 300M AU NORD-EST DU SEUIL DE RWY 19:
HAUT: 46FT ASFC
ALT AU SOMMET: 560FT AMSL
BALISAGE: NIL
- ☒ LFFA-D4963/12
A) LFLU VALENCE CHABEUIL
B) 2012 Dec 19 09:12 C) 2013 Jun 30 23:59
E) PAPI RWY19 OBLIGATOIRE DE NUIT

© SIA.

4. Lecture des cartes : interprétation des limites plancher, plafond :

Les cartes ont vocation internationale. Les niveaux sont indiqués en feet (pied) : ft

Une multitude de manière à présenter les limites : par défaut, le plancher est ASFC, le plafond AMSL.

Présentation volume	remarque	plancher	Plafond
2000	Seul un nombre est écrit : la Surface est implicite	Surface	2000' AMSL
<u>2500</u>	Un nombre avec une barre en dessous : la Surface est implicite	Surface	2500' AMSL
1000 ASFC	On précise que le plafond est en ASFC	Surface	1000' ASFC
<u>3500</u> 2000	Plafond en AMSL Plancher en ASFC	2000' ASFC	3500 AMSL
1000 ASFC 5000		1000' ASFC	5000' AMSL
<u>FL115</u> 2500/1000 ASFC *		2500' AMSL ou 1000' ASFC * le plus élevé des 2	FL115
<u>3200/1000 ASFC *</u> SFC		Surface	3200' AMSL ou 1000' ASFC* * la plus élevé des 2
<u>+</u> 3500		3500' AMSL	5000' AMSL ou 2000' ASFC* + Plafond par défaut carte 1/500.000ème
<u>+</u> 3500		3500' AMSL	FL195 + Plafond par défaut carte 1/1.000.000ème

- ASFC Above SurFaCe (hauteur : verticale sol-aéronef),
- AMSL Above Mean Sea Level (hauteur par rapport au niveau de la mer),
- SFC SurFaCe le sol en dessous de l'aéronef,

- FL Flight Level multiple de 100ft, référencé pour pression niveau de la mer = 1013,25hPa. c'est-à-dire : calage de la fenêtre altimètre à 1013,25 hPa (standard OACI) quelle que soit la Pression Atmosphérique réelle du lieu.
- QNH : Quest Nautical Height pression de réglage altimètre, donnant l'altitude par rapport au niveau de la mer 'altitude vraie'.
- QFE : Quest Field Elevation pression de calage de l'altimètre pour se poser, altimètre à zéro, sur le terrain concerné.
- Réciproquement si au sol du terrain, on cale l'altimètre à 0, on peut connaître la pression réelle du lieu.

Quand AMSL : on a comme référence, l'altimètre calé au QNH,

Quand ASFC : référence sonde altimétrique,

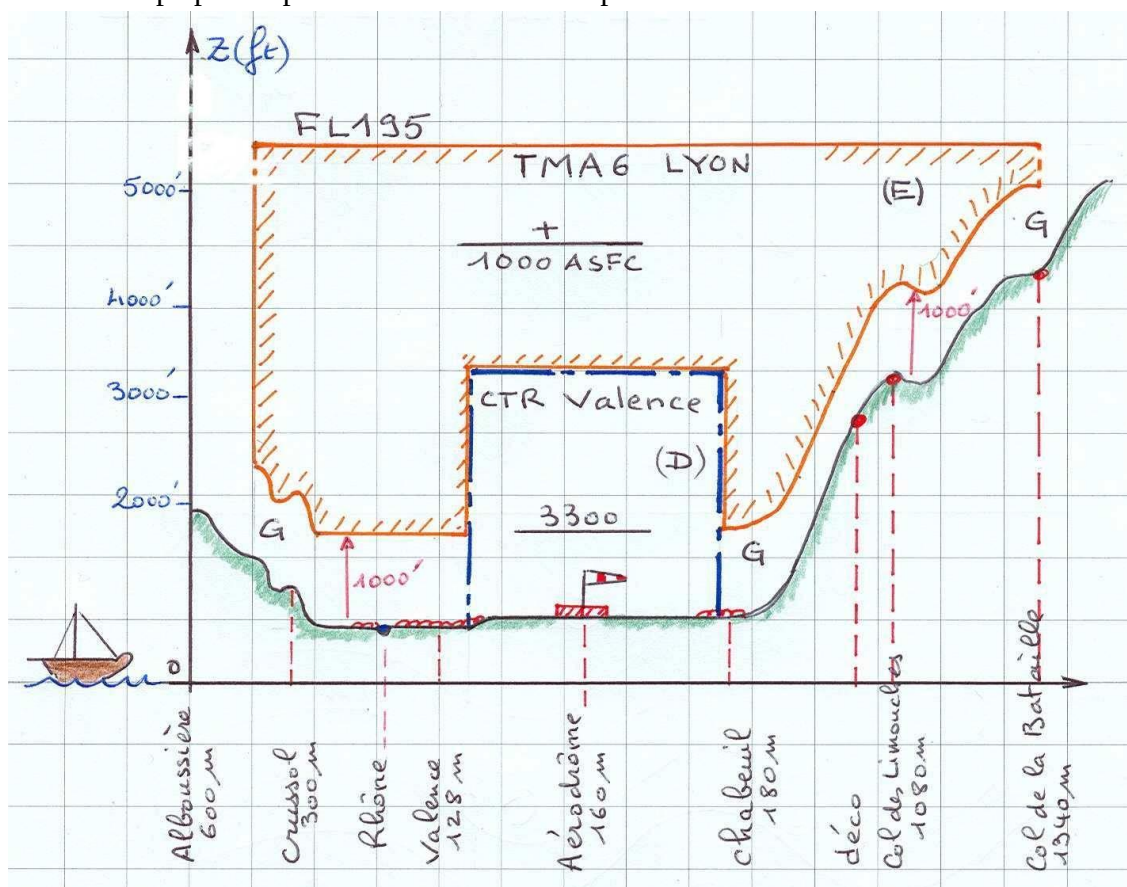
le QFE (pression au sol) ne s'exploite pas ici, il sert pour un atterrissage 0 sur l'alti

Quand FL : l'Altimètre est référencé à 1013,25hPa niveau de la mer.

Ces infos de la carte sont orientées aviation plutôt que vol libre, il faut cependant les connaître.

5. Traçons le Volume autour de l'aéroport de Valence-Chabeuil depuis les données de la carte :

Coupe par un plan vertical Est-Ouest passant sur l'aérodrome

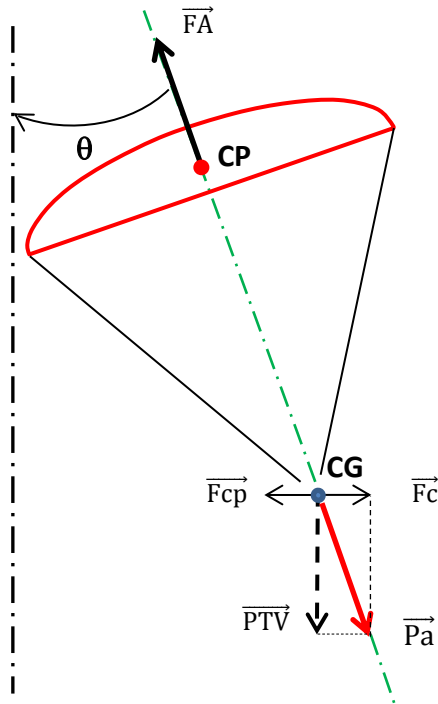


On voit ainsi les espaces 'possibles', sachant que nous avons droit aux espaces E et G (dans la pratique, on évitera de passer sur la CTR 'D', car un atterrissage prématuré est possible).

A propos des Bonus : Les questions affectées d'une info supplémentaire, sont repérées par Q |n°de question| dans le thème. Cette information en rapport avec la question, n'est pas à reporter dans la réponse, car hors sujet.

Suppléments pour Mécanique du vol

Bonus Q2 : Vitesse, rayon et poids apparent en fonction de l'inclinaison dans virage stabilisé.



$\overrightarrow{a_{cp}}$ l'accélération centripète = v^2/R
 $\overrightarrow{F_{cp}}$ la force centripète = $m \cdot a_{cp} = mv^2/R$
 $\overrightarrow{F_c}$ la force centrifuge = mv^2/R
 CG: le centre de gravité

$\hat{\theta}$ l'angle d'inclinaison du parapente dans le virage,

$\vec{v}$ la vitesse circonférentielle du point CG,

g accélération de la pesanteur $9,81 \text{ m/s}^2$

m la masse du système = PTV / g

R le rayon de virage de CG .

Ce système n'est pas équilibré mais stabilisé. Pour le raisonnement, ce qui nous intéresse est l'équilibre entre FA et le poids apparent Pa en fonction de l'inclinaison $\hat{\theta}$ de l'aile dans le virage, et de déterminer le rayon de virage du centre de gravité CG .

le rayon de virage du Centre de Gravité $f(v, \theta)$: $|F_c| = |F_{cp}| = mv^2/R$

en virage stabilisé sur la verticale apparente, $|\overrightarrow{FA}| = |\overrightarrow{Pa}|$; avec $Pa = PTV / \cos \theta = mg / \cos \theta$

calcul de $R = f(v, \theta)$ $F_{cp} = mv^2/R = Pa \cdot \sin \theta$

$$mv^2/R = mg \cdot \frac{\sin \theta}{\cos \theta} \quad \text{alors : } \boxed{R = v^2 / g \cdot \tan \theta}$$

Le Rayon de virage ne dépend que de la vitesse et de l'inclinaison.

Corollaire : L'inclinaison ne dépend que de la vitesse et du rayon.

Le facteur de charge n et le poids apparent P_a :

La force centrifuge F_c , force d'inertie comme la pseudo-force de Coriolis, tend à expulser le pilote vers l'extérieur du virage (selon une direction tangentielle, au point de lâcher).

Poids apparent P_a : si θ est l'angle d'inclinaison du virage, alors $P_a = PTV / \cos \theta$

Facteur de charge : $n = \frac{P_a}{PTV} \rightarrow \boxed{n = 1 / \cos \theta}$

Vitesse dans le virage : posons v_0 la vitesse en entrée du virage,

Nous savons que lorsque la charge alaire (CA) varie, la polaire des vitesses s'expande ou se rétrécit homothétiquement dans un cône de projection:

rapport d'homothétie $K = \sqrt{CA/CA_0}$ et aussi, $K = v / v_0$

Dans le virage, le nouveau poids appliqué à l'aile est le poids apparent P_a qui se répercute directement sur la Charge Alaire.

écrivons : $K = \sqrt{(P_a/P)}$ comme $P_a = P/\cos \theta \rightarrow \boxed{K = \sqrt{(1/\cos \theta)}}$ $\rightarrow v = v_0 \sqrt{(1/\cos \theta)}$

→ Observons que dans un virage équilibré le rapport d'homothétie K = est la racine carrée du facteur de charge n :

$$\boxed{K = \sqrt{n}}$$

Conséquences l'inclinaison dans un virage 'équilibré' :

application numérique : on prend $v_0 = 10\text{m/s}$ g arrondi à 10m/s^2 $\theta = 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$

on cherche : facteur de charge $n = (1/\cos \theta)$

vitesse dans le virage : $v = v_0 * (\sqrt{1/\cos \theta})$

rayon du virage $R = v^2/g * \tan \theta$

Inclinaison θ	15°	30°	45°	60°	75°
Facteur de variation vitesse : $K = \sqrt{(1/\cos \theta)}$ = Facteur d'augmentation vitesse de décrochage	1,02	1,08	1,19	1,41	1,96
Vitesse du virage requise (m/s) : $v = v_0 * K$	10,2	10,8	11,9	14,1	19,6
Facteur de charge $n = 1/\cos \theta$ (g encaissés)	1,035	1,155	1,414	2	~ 4
Diamètre du virage (m) $D = v^2/g * \tan \theta$	77	40	28	23	20
Durée du tour (s) ~	24	11,6	7,4	5,1	3,4

Bonus Q4 : Finesse air, finesse sol.

La finesse de l'aile est le rapport entre la distance horizontale et la distance verticale parcourues, ce qui se ramène au rapport entre vitesse horizontale et vitesse verticale. Il faut préciser vitesse par rapport à quoi :

Finesse air = vitesse horizontale / vitesse verticale (air sans mouvement).

Finesse sol = vitesse horizontale Sol / vitesse verticale sol (avec masse d'air mobile) plus réaliste.

notes personnelles:.....

.....

.....

.....

Bonus Q5 : Règle et coefficient de proportionnalité.

En vol stabilisé, la FA est d'intensité égale et de sens opposé au PTV.

L'augmentation du poids entraînera donc une augmentation de la FA.

Montrons que Portance P et Traînée T augmentent dans la même proportion K (lettre K) que la FA.

Pour une même incidence la finesse f reste la même, alors une variation de PTV $\rightarrow f = \frac{\kappa * P}{\kappa * T}$

$$\text{en effet : } P = \frac{1}{2} \rho S v^2 C_z = v^2 \left(\frac{1}{2} \rho S C_z \right) \quad T = \frac{1}{2} \rho S v^2 C_x = v^2 \left(\frac{1}{2} \rho S C_x \right)$$

ρ , S, C_z et C_x restent constants, alors la finesse $f = \frac{P}{T}$ reste constante même si v varie de v_1 à v_2 .
(S est la surface alaire de l'aile: surface projetée de l'aile sur un plan horizontal)

Calcul du coefficient de proportionnalité K :

$\vec{FA} = \vec{P} + \vec{T}$: les vecteurs P et T sont perpendiculaires entre eux:

$$FA^2 = P^2 + T^2 = v^4 \left(\frac{1}{2} \rho S C_z \right)^2 + v^4 \left(\frac{1}{2} \rho S C_x \right)^2$$

$$FA^2 = v^4 * [\text{constante} \dots] \text{ et enfin : } FA = v^2 * [\text{constante}] = PTV$$

Pour 2 charges PTV_1 et PTV_2 différentes, nous avons respectivement : $FA_1 (v=v_1)$ et $FA_2 (v=v_2)$

$$\frac{PTV_2}{PTV_1} = \frac{FA_2}{FA_1} = \frac{v_2^2 [\text{constante}]}{v_1^2 [\text{constante}]} = \frac{v_2^2}{v_1^2}$$

$$\rightarrow v_2 = v_1 * \sqrt{PTV_2 / PTV_1} \quad \text{également, } v_2 = v_1 * \sqrt{CA_2 / CA_1} \quad CA : \text{Charge Alaire}$$

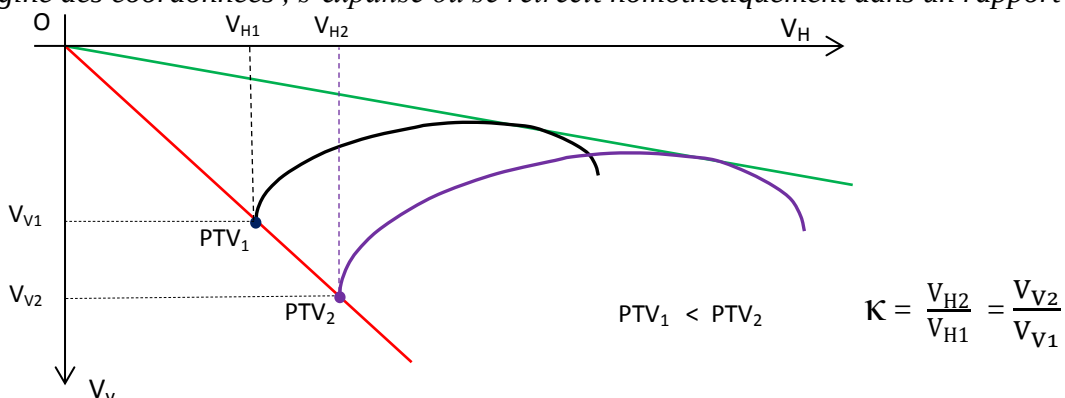
On peut écrire $V_2 = V_1 * K$ où K représente le coefficient de proportionnalité

on en tire la valeur du coefficient de proportionnalité : $K = \frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{PTV_2}{PTV_1}}$

Quand le PTV $\nearrow$ alors $K > 1$: la vitesse $\nearrow$ quand le PTV $\searrow$ alors $K < 1$ et donc la vitesse $\searrow$

Les vitesses horizontales et verticales varient dans une proportion K égale à la racine carrée du rapport des charges.

Conséquence sur la polaire : la polaire des vitesses qui glisse dans un cône de projection, de sommet O origine des coordonnées, s'expand ou se rétrécit homothétiquement dans un rapport $K = \sqrt{\frac{PTV_2}{PTV_1}}$.



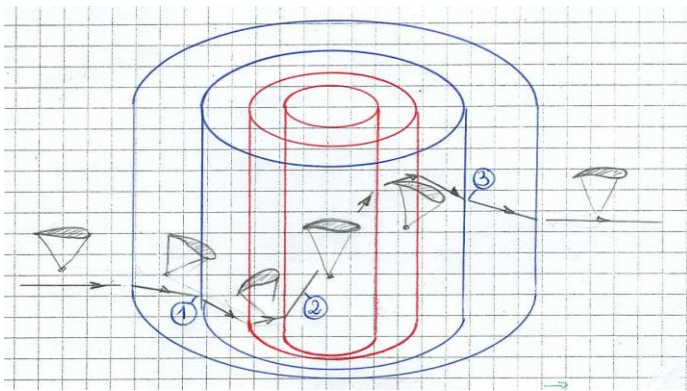
Bonus Q10 : Entrée et sortie d'un thermique.

Sommaire :

- a- Les phases de traversée d'un thermique,
- b- Entrée en périphérie descendante,
- c- Entrée dans le cœur, montant,
- d- Sortie du cœur, descendance.

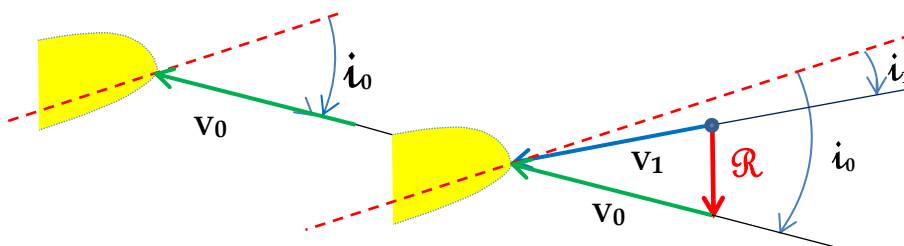
a- Les phases de traversée d'un thermique :

Parfois, l'arrivée dans un thermique s'appréhende par un taux de chute plus fort (zone descendante en périphérie du thermique) léger piqué avant d'entrer avec un cabré plus ou moins fort, dans la colonne ascendante.



b- Entrée en périphérie descendante :

Phase1- Dans l'air descendant en périphérie, je ressens la rafale descendante, pour retrouver l'adéquation vitesse / incidence, je freine légèrement.

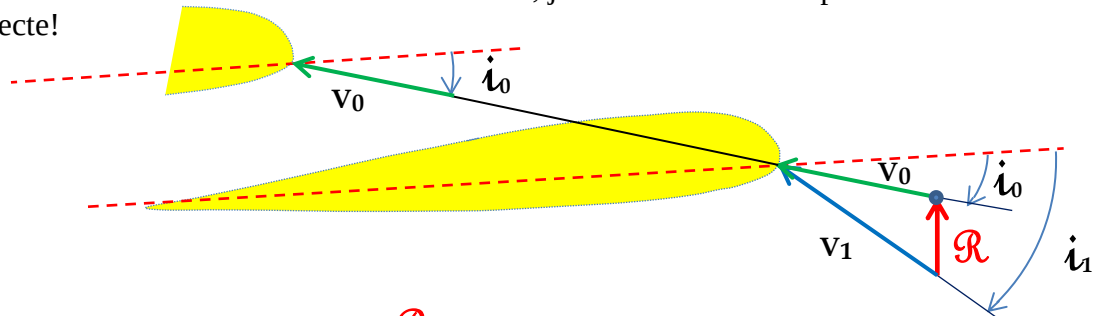


En effet, la rafale descendante $\mathcal{R}$ va transitoirement induire une nouvelle vitesse :

- $v_1 < v_0$ - $\hat{i}$ diminue et devient $\hat{i}_1$,
- la FA diminue,
- l'aile abat .

c- Entrée dans le cœur, montant :

Phase 2- En entrant dans le courant ascendant, je remonte les mains pour retrouver une incidence correcte!



En effet, la pseudo-rafale montante $\mathcal{R}$ va transitoirement induire une nouvelle vitesse v_1 :

- $v_1 > v_0$:
- $\hat{i}_1 > \hat{i}_0$ l'assiette augmente,
 - FA augmente,
 - l'aile cabre dans une ressource.

Plus je me rapproche du cœur, et plus le courant ascendant est fort. Dans le thermique j'adopte la correction mains hautes selon la force d'ascendance.

Un pilote de cross aura tendance à freiner en entrée de thermique, pour en profiter et pour engager le virage lève le bras extérieur (cadencement)."

Virage à plat: au départ du thermique, freiner légèrement sur les deux commandes puis relever le bras extérieur pour engager le virage. Cadencer pour ne pas se faire éjecter.

d- Sortie du cœur, descendance :

Phase 3- La pseudo-rafale descendante est plus forte sortie-3 qu'en entrée-1 : je freine avec mesure.

Bonus Q11 : Attitude souhaitable du pilote sur une frontale.

Cause aérodynamique d'une fermeture :

La fermeture se produit dès que l'on passe en sous-incidence.

Plus la vitesse est grande, moins l'aile sera vulnérable à une rafale, car la variation d'incidence sera de moins en moins perceptible.

S'agissant du delta : le delta ne peut pas fermer, c'est toute l'aile qui finit par passer en incidence négative et c'est le tumbling : passage sur le dos par l'avant. En général le delta se casse en vol.

Pour éviter cela, les constructeurs mettent des floatings en bout d'aile (baguettes de calage) ou des câbles de rappel, pour le delta avec mât.

Attitude souhaitable :

- Contrôler la trajectoire (comme en toutes circonstances),
- Vérifier que l'aile reprend un vol normal après ré-ouverture (pas de parachutale),
- Se prémunir, face à la frontale, en conservant un contact permanent avec le bord de fuite en cherchant une pression constante dans les commandes afin de garder un bon angle d'incidence, ce qui, quelquefois, oblige le pilote à freiner la voile durant la période transitoire qui pourrait l'amener à cette fermeture,
- éviter de voler accéléré ou détrimé dans les zones turbulentes.

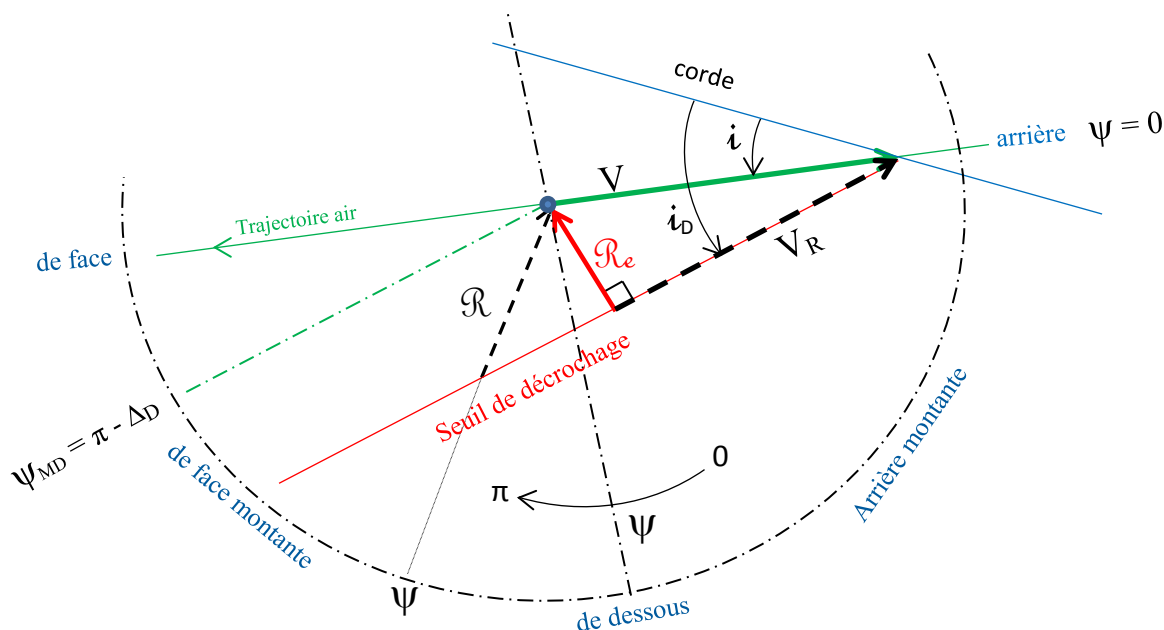
Si la frontale a eu lieu:

Laisser revoler l'aile en adoptant une position 'bras haut'.

Rafale efficace de décrochage : Soit V un vent relatif pour une incidence $\hat{i}$, vient alors une rafale montante d'amplitude $\mathcal{R}$: nous franchissons le seuil de décrochage.

La rose des rafales est calée sur la direction du vent relatif.

i_D = incidence de décrochage.



Dans le $\frac{1}{2}$ cadran de décrochage, faisons varier ψ de 0 à π , symétriquement au cadran de fermeture afin d'aboutir à une simplification de l'expression recherchée:

angle de site ψ $[\pi - (i_D - i)] < \psi < 0$, posons $(i_D - i) = \Delta_D \rightarrow (\pi - \Delta_D) > \psi > 0$

On établit la formule comme que pour la fermeture.

Pour déclencher un décrochage, la rafale $\mathcal{R}_\psi$ attaquant avec un angle ψ , par rapport à la trajectoire, doit être au moins égale à:

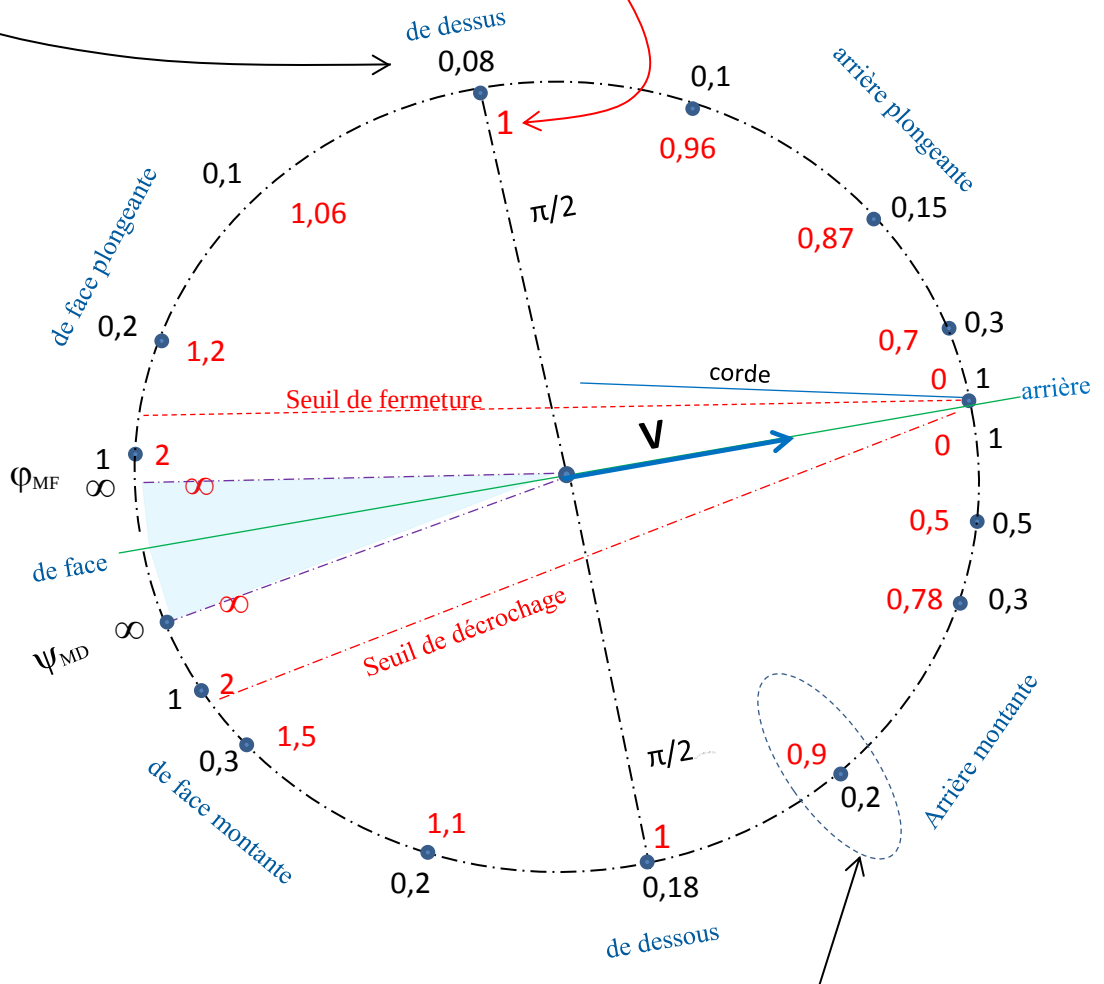
$$\mathcal{R}_\psi = V * \sin(\Delta_D) / \sin[(\psi + \Delta_D)]$$

Si V augmente, la rafale $\mathcal{R}_\psi$ devra être plus forte pour atteindre le seuil.

Rose des rafales :

Evaluons $\mathcal{R} / V$ selon l'attaque, et le nouveau vent relatif dans le rapport V_R / V

en posant : l'incidence $i = 8^\circ$, $i_D = 18^\circ$ et $i_F = 3^\circ$



Interprétation des résultats: compte-tenu des valeurs choisies de i et de i_D , une rafale arrière montante de 0,2 fois le vent relatif V suffit pour nous amener au seuil du décrochage. Le nouveau vent relatif est passé à 0,9 fois V .

Conclusions:

- Seules les rafales venant du $\frac{1}{2}$ cadran supérieur sont capables de forcer le franchissement du seuil de fermeture
- Seules les rafales venant du $\frac{1}{2}$ cadran inférieur sont capables de forcer le franchissement du seuil de décrochage.
- Les rafales venues du secteur de face : $[\varphi_{MF} : \psi_{MD}]$ d'une valeur angulaire de $\Delta_F + \Delta_D$, ne ferment ni ne décrochent, mais peuvent accroître fortement le vent relatif.
- En rafale arrière, on peut théoriquement atteindre les seuils, mais comme le nouveau vent relatif peut être nul, voire négatif, l'aile qui perd l'intégrité de son profil, ne joue plus son rôle, on ne peut plus parler de décrochage ni de fermeture.

NB: la rafale doit être nécessairement considérée comme un accroissement brutal mais bref du vent.

Bonus Q15 : Rappel sur l'Allongement.

Les utilisateurs d'ailes fines, de cross ou compétition, doivent porter une attention particulière sur la définition de l'allongement. L'allongement reste un facteur important dans la stabilité de l'aile : plus l'allongement est élevé et plus sensible est l'aile qui demande un pilotage plus fin.

Allongement effectif : aile à plat, donc pas de voûte, étalée au sol : envergure et surface à plat.

Allongement projeté : aile en vol et présentant une voûte, on prend : envergure et surface projetées.

La forme générale est $A = E^2 / S$ **

Quelques repères, allongement à plat :

- débutant : 4,5 à 5
- cross : 5,5 à 6
- compétition : 7 à 8
- voiles_protos : 14 !

** "Par abus, habitude (originellement les ailes étaient plates) ou ignorance des données, on ne parle que de la surface à plat, on compare ce qui est mesurable et palpable. Mais nous savons bien que cela est faux. Comme pour la charge alaire, l'allongement doit opérer sur envergure et surface aile projetés."

.....

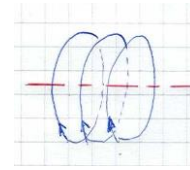
Suppléments

Notes personnelles :

Suppléments pour Météorologie

Bonus Q6 : Axes rotors et rouleaux.

Les **rotors** se trouvent dans la couche sous-ondulatoire



Remarque : Le terme de rotor s'applique volontiers aux mouvements rotatifs de l'air, dans le système ondulatoire accompagnant le Foehn.

Mais en règle générale de la météo tous les mouvements rotatifs, horizontaux ou verticaux, s'énoncent comment étant des rouleaux à axe horizontal ou vertical suivant les péripéties des masses d'air présentes. Selon Météo France, le rotor dans les nuages (Cb), serait précisément le résultat d'un rouleau horizontal soumis en son milieu à une forte ascendance relevant à la verticale l'axe de rotation.

Sous le vent du relief, nous devrions plutôt parler de remous (désordonné) que de rouleaux.

Bonus Q12 : définition de l'Advection et du Rayonnement.

Advection : est le transport de chaleur, à la vitesse du milieu environnant.

Le vent déplace de l'air chaud et chargé d'humidité vers un secteur plus froid...

Rayonnement : Lorsqu'une source transmet son énergie dans un milieu adjacent soit sous forme d'ondes, soit sous celle de particules considérées comme ayant de très petites dimensions et de très grandes vitesses relativement aux caractéristiques du milieu considéré.

La nuit, le sol restitue la chaleur emmagasinée, par rayonnement ... et se refroidit.

Suppléments pour Pilotage

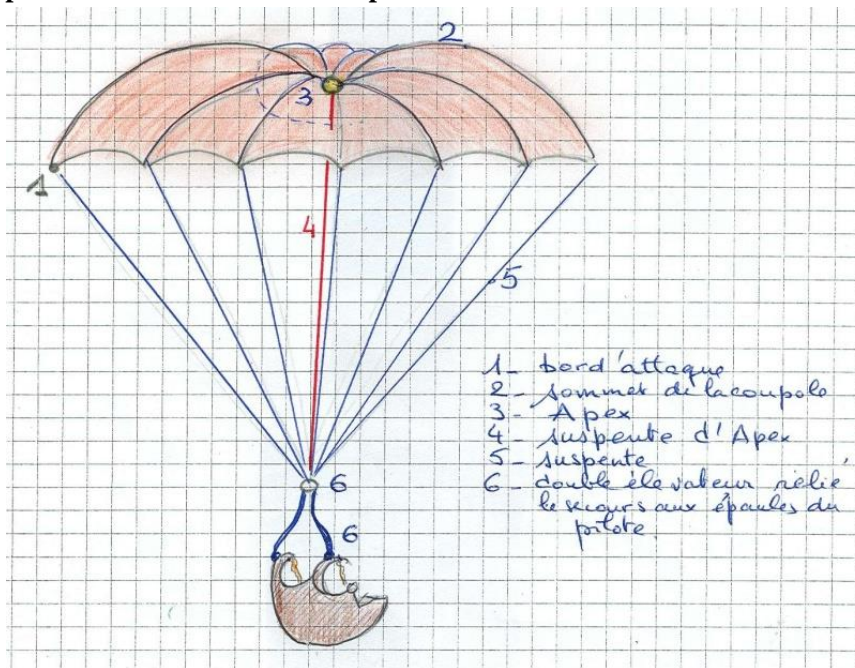
Bonus Q3 : cas d'un petit thermique

Identifier le coté du thermique,

- l'aile est soulevée à droite, on vire à droite,
- l'aile est soulevée à gauche, on vire à gauche.

Je vire du côté où l'aile s'est levée, pour entrer dans le thermique, réduisant légèrement la vitesse pour optimiser le vol, et pour ne pas risquer de sortir. Quand je suis dans l'ascendance, je spirale en permanence en maîtrisant le tangage et la vitesse.

Bonus Q5 : Le parachute de secours : description



L'Apex où convergent les bords de fuite en une sorte de cheminée, donne au parachute un meilleur profil aérodynamique et facilite l'ouverture rapide.

Bonus Q13 : Eléments de choix de la sellette.

Types de sellettes : standard ou cocon

- L'adaptation à ma morphologie,
- la possibilité de s'asseoir sans l'aide des mains,
- hauteur d'accrochage mousqueton / assise
- poids,
- parachute : essais d'extraction,
- système ABS ou autre,
- présence d'un système anti-oubli,
- type et forme des protections (largeur, épaisseur).

Sur les sellettes 'Cocon_couché-dos', les réglages peuvent s'avérer délicats. Mal réglées, ces sellettes peuvent induire de l'instabilité.

Bonus Q10 : Sous le vent du thermique: la Schlag ou l'effet Bagnard

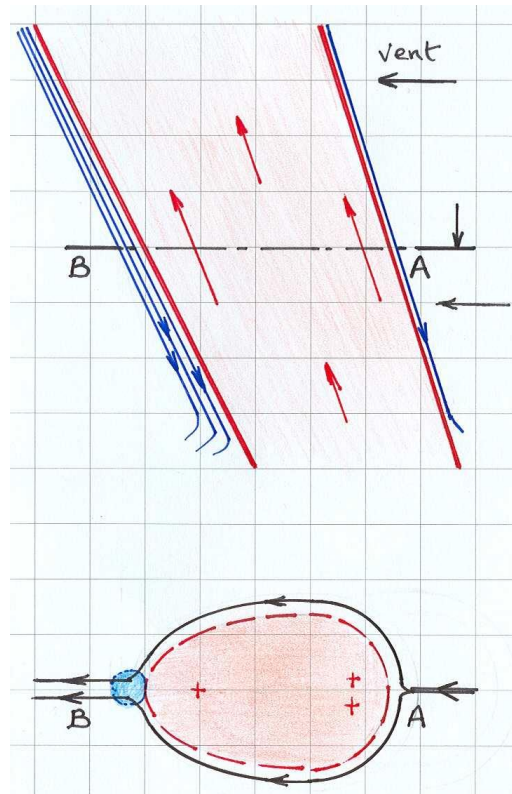
Il s'agit d'une combinaison entre le vent météo, l'entité thermique elle-même et les descendances/turbulences moins lissées côté sous le vent.

Malgré sa densité moindre, le thermique se comporte un peu comme un "corps étranger" dans la masse d'air, air froid et air chaud ne sont pas miscibles (ou si peu).

En plus d'incliner le thermique, le vent le contourne, profilant ainsi la colonne dont la section s'ovalise, des turbulences se créent au "bord de fuite" du thermique, de la même manière que tout obstacle dans un fluide.

Sous l'action de ce vent, l'air refroidi descendant sera plus abondant coté sous le vent (B) de la colonne, alors que le coté au vent (A), plus lissé, proposera de meilleures ascendances.

La masse d'air se déplace avec le vent, le thermique reste pratiquement en place, avec l'inclinaison dans le lit du vent. L'air embrassant le thermique présente une vitesse relative qui lui permet d'envelopper et modeler le thermique.



Au point B la convergence des flux d'air, qui ont contourné la colonne, donne:

- un vent résultant et des turbulences dues à cette convergence,
- des fortes dégueulantes,
- des cisaillements descendance/ascendance sur périphérie du thermique.

Finalement si on veut entrer ou re-entrer dans le thermique par ce bord sous le vent, nous devons traverser une zone importante de:

- cisaillements
- fortes dégueulantes
- vent de face

C'est un choix qu'il serait judicieux d'écarter, et préférer le contournement ou le demi-tour.

Notes personnelles:.....

Index

- adiabatique humide, 36
- adiabatique saturée, 36
- adiabatique sèche, 36
- Advection, 63
- Airways (AWY), 44
- allongement, 61
- AMSL, 50
- angle de plané, 16, 17, 22
- appui sellette, 31
- ASFC, 50
- assiette, 14, 22
- atmosphère standard, 34
- axe de lacet, 14
- axe de roulis, 14, 30
- axe de tangage, 14
- axes fondamentaux, 14
- Bernouilli, 21
- cabré, 13
- calage (point de), 12
- Caractéristiques de l'air, 33
- Carte aéronautique, 43, 50
- centre de gravité, 14
- centre de poussée, 13
- Cocon_couché-dos, 64
- compression adiabatique, 36
- cône de projection, 8
- couches de l'atmosphère, 33
- courant ascendant, 57
- CTR, 45
- décrochage, 27, 28, 29, 53
- détente adiabatique, 36
- écoulement laminaire, 27
- écoulement tourbillonnaire, 27
- écoulement turbulent, 27
- effet bagnard, 65
- effet Coanda, 20
- effet girouette, 40
- Emagramme, 33, 35
- Emagramme 45°, 38
- espace aérien, 43
- FA, 55
- fermeture en parapente, 24
- Finesse, 55
- finesse max, 16
- FL, 51
- FL115, 43, 44
- FL195, 43, 44
- force centrifuge, 11
- force centripète, 11, 52
- Foyer Aérodynamique, 12
- Gradients adiabatiques, 33
- Humidité relative, 34
- incidence, 22
- inclinaison, 52
- inertie, 10
- [Mécanique du Vol \(compléments\)](#), 24
- [MECAVOL \(rappels\)](#), 7
- [Mécavol \(suppléments\)](#), 52
- [MÉTÉO \(compléments\)](#), 33
- [Météo \(suppléments\)](#), 63
- moment, 10, 30, 31
- NOTAM, 43, 49
- parachutale, 57
- parachute de secours, 64
- Paramètres de l'air, 34
- parcs nationaux et régionaux, 43, 49
- [PILOTAGE \(compléments\)](#), 39
- [Pilotage \(suppléments\)](#), 64
- piqué, 13
- pivot, 14
- Pression atmosphérique, 33, 34
- proportionnalité, 55
- pseudo-adiabatique, 36
- QFE, 51
- QNH, 51
- Rafale descendante, 56, 58, 59
- Rafale efficace, 25, 28
- rafales, 60
- rayon de virage, 52
- Rayonnement, 63
- [RÈGLEMENTATION / ESPACE AÉRIEN \(compléments\)](#), 43
- règles VMC, 44
- repère Galiléen, 11
- repère non-Galiléen, 11
- rose des rafales, 58, 60
- rose des vents, 33
- rotors et rouleaux, 63

Roulis, 30
schlag (la), 65
seuil de décrochage, 27
SFC, 50
sustentation, 20
thermique, 56
TMA, 44, 45
tropopause, 33
troposphère, 33
tumbling, 24, 57
turbulences, 27

vecteurs (éléments sur les), 9
vecteurs (représentation des), 22
Venturi, 21
virage à plat, 40
virage équilibré, 52
viscosité, 20, 27
Vitesse, rayon et poids apparent, 52
vol équilibré rectiligne, 22
vol IFR, 44
volumes (aériens), 45, 46
zones à statuts particuliers, 43, 46

Remerciements à tous les participants

Lecture et suivi, commission Formation de la FFVL

Laurent	VAN-HILLE	Responsable Régional de Formation Rhône-Alpes
Philippe	MARCK	Responsable Régional de Formation Alsace
Philippe	LÈBRE-PAGET	Responsable Régional de Formation PACA
Jean Pierre	GOGOL	Responsable Régional de Formation Normandie
Emmanuel	FÉLIX-FAURE	Conseiller Technique National / Delta
Emmanuel	DENECKER	Responsable Régional de Formation Bretagne
Laurent	CHAMERAT	Conseiller Technique Formation / Ecoles parapente

Patrice	QUILLET	crosseur, Entraîneur ligue PIDF
ainsi que :		
...		BPJEPS formateur Méca-vol
...		Concepteur de voiles

Ont aidé au démarrage du projet:

relecture version premium : **Nadir AMIRAT, Frédéric DELBOS, Emmanuel MOREAU**

définition du produit:

Jean Marc GALAN: élève-moniteur, commission technique et sécurité FFVL

à D.A.

