Brevet de Pilote Confirmé Parapente / Delta

Préparation à l'écrit

Robert ALAKIAN

Dominique LESTANT

le manuel

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

- Le manuel " *préparation à l'écrit* "

- première partie : « ***Préparation à l'écrit / référentiel de correction*** »

  Doit être suffisant à la préparation de l'écrit.
  Les questions et réponses sont proposées par thème.

  - Mécanique du vol / aérodynamique,
  - Météorologie / aérologie,
  - Pilotage,
  - Réglementation aérienne / espaces aériens.

- seconde partie : « ***Préparation à l'écrit / les annexes*** »

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

Bonne lecture!

robert

Recommandations aux lecteurs et candidats dans la lecture du 'manuel'.

'Questions Ouvertes'

Connaissance et compréhension indispensables mais suffisantes pour l'examen écrit.

Préparation à l'écrit / annexes :

- **'Rappels' :** propose des rappels, voire une mise à jour des connaissances.
- **'Compléments' :** approche graphique des conditions limites en vol classique.
- **'Suppléments' (Bonus) pour** ceux qui veulent aller plus loin dans l'analyse.

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

Le chapitre 'suppléments' doit néanmoins rester accessible à une majorité élargie de libéristes, son contenu est hors programme.

Source du document porté sur Word 2019 / Windows10

Préface

Ce manuel s'adresse aux pilotes de Parapente et Aile Delta qui souhaitent approfondir leurs connaissances et ***préparer l'examen théorique du Brevet de Pilote Confirmé****.*
Il peut aussi servir de support aux formateurs préparant leurs candidats à la qualification, ainsi qu'aux correcteurs du BPC.
Les pilotes déjà confirmés peuvent enfin rafraichir leurs connaissances.

La qualification du Brevet de Pilote Confirmé est nécessaire à la participation aux compétitions FFVL ainsi que pour démarrer une formation FFVL de biplaceur ou d'accompagnateur fédéral.
En effet, ces diverses fonctions requièrent d'avoir compris et de maîtriser encore mieux les qualités nécessaires à tout pilote, à savoir la connaissance de son aéronef (mécanique de vol) et des techniques de pilotage, l'analyse de son environnement (météorologie, aérologie, espace aérien), la recherche de l'efficience de son vol et par-dessus tout une appréhension exigeante des conditions de sa propre sécurité et de celle des autres acteurs (les autres compétiteurs, le passager en biplace, les pilotes encadrés lors d'une sortie accompagnée, etc.).

La prise de connaissance de ce manuel demande une implication sérieuse et assidue.
Pour se préparer efficacement, le candidat devra chercher à comprendre chaque réponse.
En effet, l'efficacité du bachotage est improbable et surtout contreproductive, puisque l'objectif de la formation au Brevet de Pilote Confirmé est d'intégrer toutes ces notions, de façon qu'elles participent aux décisions préparatoires puis instantanées (et parfois même inconscientes) que le pilote doit prendre avant et durant toutes les phases de vol, surtout les moments ou les lieux les plus critiques.
En complément de la méditation individuelle, l'enseignement au sein du club et les échanges informels avec des amis et des pilotes aguerris ou moniteurs de son entourage doivent être privilégiés.
Suivre les cours théoriques, dispensés par certaines ligues ou clubs-école, est recommandé.

L'auteur a pris en compte des questions couvrant la totalité des différents thèmes enseignés dans la formation au BPC, afin de proposer une réponse à chacune d'entre-elles.

L'examen théorique du BPC comporte :

- *un QCM (Questionnaire à Choix Multiples) de 30 questions,*
- *une partie rédactionnelle portant sur 2 ou 3 questions ouvertes, voire un oral.*

Le QCM est orienté selon la spécialité du candidat (parapente ou aile delta).
La fédération a mis en ligne un outil d'entrainement au QCM.

Après les questions ouvertes classées par thèmes, ce manuel présente des rappels et compléments permettant un recentrage parfois indispensable.
Pour ceux qui veulent aller plus loin : les « Bonus », car souvent une question peut en soulever d'autres, les bonus répondent à ces questions.
Enfin un Index pour retrouver les termes employés.

Sur la forme, l'auteur a choisi une présentation la moins sophistiquée possible, avec des dessins et schémas simples d'accès. Le lecteur devrait pourvoir les refaire de mémoire lors de l'examen et ensuite pour expliquer à d'autres pilotes, et ainsi mieux s'impliquer dans le travail attendu.

*La Fédération recommande aux correcteurs de l'examen d'***attacher une grande importance à la clarté et la justesse des commentaires écrits et des schémas** *... mais d'être indulgents sur la syntaxe, la grammaire et l'orthographe.*

Bruno Ferry-Wilczek FFVL

Structure du document :

Table des Matières

Questions ouvertes :

- ❖ Mécanique du vol / aérodynamique
- ❖ Météorologie / aérologie
- ❖ Pilotage
- ❖ Réglementation aérienne / espace aérien

Rappels

Compléments pour remise à jour des connaissances :

Mécanique du vol
Météorologie
Réglementation / espace aérien

Suppléments aux réponses proposées :

Mécanique du vol
Météorologie
Pilotage

Index

Table des Matières

Questions portant sur : MÉCANIQUE du VOL - AÉRODYNAMIQUE 15

1- Quelles vont être les conséquences, en termes de capacité de vol de votre aile, d'un gradient de vent à l'atterrissage (schéma et explications) ? Quels types de manœuvres éviterez-vous et mettrez-vous en place et pourquoi ? 15
2- A l'aide d'un schéma, décrivez les forces en présence lors d'un virage équilibré 17
3- Quel est le terme définissant le rapport entre la Portance et la Trainée ? Illustrez à l'aide d'un schéma. 18
4- Dans un vol plané équilibré, quels sont les vecteurs, angles, et droites de référence qui permettent de visualiser et de déterminer la finesse. Schéma ? 19
5- La finesse d'une voile change-t-elle proportionnellement à la charge emportée ? A l'aide d'un schéma de polaire, illustrez les modifications principales 20
6- Quelles sont les deux droites qui définissent un angle de dérive ? 21
7- Si on diminue nettement la charge alaire d'une aile, quelles vont en être les conséquences en termes de qualité de vol et pourquoi ? 21
8- Si on augmente nettement la charge alaire, quelles vont en être les conséquences et pourquoi ? 22
9- Dans un vol turbulent vous venez de subir une fermeture asymétrique, liée à des variations de paramètres essentiels pour notre vol : Lesquels ? A l'aide d'un schéma simple, préciser ces paramètres. 23
10- Durant votre vol, vous entrez dans un thermique. Décrivez, par un schéma simple, l'effet sur votre voile. 24
11- Comment expliquez-vous une fermeture frontale et ce qui a pu l'engendrer ? 25
12- Le départ en vrille est lié à un problème mécanique simple. Lequel ? 26
13- A l'aide de schémas, illustrez une aile proche de la « sur-incidence » et de la « sous-incidence ». Quelles peuvent être les causes liées à ces 2 situations ? 27
14- Le décrochage est lié à un problème mécanique simple. Lequel ? 28
15- Expliquez les causes d'un départ en autorotation 30
16- En se lestant un maximum, vous influencez considérablement certains paramètres de vols. Lesquels ? En quoi certaines habitudes de pilotes peuvent-elles être dangereuses par cette forte augmentation de charge alaire ? 31
17- Le fait de se mettre « aux oreilles » fait-il varier l'angle d'incidence ? Précisez à l'aide d'un schéma. 32
18- Que pensez-vous de l'affirmation : « se lester diminue les risques de fermeture » ? 34

Questions portant sur MÉTÉOROLOGIE / AÉROLOGIE 35

1- Qu'est-ce qu'une confluence et quelles peuvent en être les origines ? 35
2- En montagne, vous observez des altocumulus en formation, quelle est votre analyse ? Quels éléments vous permettent d'anticiper l'évolution ? 37
3- Décrivez les caractéristiques spécifiques d'un Front froid (schéma et explications) et le type de masse d'air rencontrée généralement les 2 à 3 jours suivants. 38
4- Par un schéma, décrivez le passage d'une perturbation et citez les phénomènes associés (nuages, vents, précipitations …). 40
5- Quels sont les nuages associés à une masse d'air instable ? De quoi sont-ils annonciateurs et quelle est leur évolution possible ? 42
6- Décrivez à l'aide de schémas commentés, le phénomène d'effet de Foehn (causes et conséquences). 43
7- Décrivez les différents étages de la troposphère et les nuages associés. 45
8- Citez et décrivez les différentes situations où l'on peut rencontrer des cisaillements. 47
9- Expliquez à l'aide de schémas, les raisons de la mise en place des différents régimes de brises. Quelles peuvent être leur évolution au cours de la journée ? 49
10- Décrivez une masse d'air favorable à la formation d'un cumulonimbus et les évolutions aérologiques associées 52
11- Décrivez, à l'aide d'un schéma, les raisons de la formation d'un cumulus humilis. 54
12- Décrivez et expliquez les causes de la formation des brouillards d'advection et de rayonnement 55
13- Décrivez à l'aide d'un schéma, le trajet d'une particule d'air en mouvement ascendant selon une adiabatique sèche, lors d'une situation aérologique instable sur 800 m. 56

Questions portant sur : PILOTAGE....57

1- Vous subissez une fermeture latérale de 50% de l'aile à 300 m sol sans relief proche. Comment gérez-vous cela ? Quelles sera votre attitude en cas de cravate ?.... 57
2- Décrivez les différentes techniques de descentes rapides et les situations dans lesquelles vous pourriez être amené à les utiliser. 58
3- Vous entrez dans une forte ascendance qui augmente franchement l'assiette de votre aile. Quelle est votre réaction en termes de pilotage afin d'exploiter cette ascendance ? Pourquoi ?.... 60
4- Vous entamez votre finale d'atterrissage sur un terrain au gradient marqué. Quelle est votre attitude en termes de pilotage ? Quelles manœuvres éviterez-vous et pourquoi ?.... 61
5- A l'aide d'un schéma simple, décrivez les éléments et le conditionnement d'un parachute de secours. Quelles précautions prenez-vous lors du pliage et du conditionnement afin qu'il fonctionne correctement ?.... 62
6- Votre êtes plusieurs à la même altitude en approche. Décrivez à l'aide d'un schéma la ou les solutions que vous adopterez. 63
7- Sur une aile équipée de trims (à relâcher et à tirer) et d'un accélérateur, dans quelles situations les utiliserez-vous ? décrivez les systèmes à l'aide de schémas simples.... 64
8- Vous décidez de faire les grandes oreilles. A quoi ferez-vous attention lors de la mise en œuvre, pendant la phase de vol, puis à la réouverture ? 67
9- Sur un décollage pentu avec un vent soutenu, quelle sera la technique que vous adopterez ? Quels sont les risques en cas de gestuelle inappropriée ? 68
10- Sur un décollage peu pentu et peu alimenté, quelle sera la technique que vous adopterez ? Quels sont les risques en cas de gestuelle inappropriée ? 71
11- Vous êtes en soaring sur une crête où quelques thermiques déclenchent régulièrement. Comment vous y prendrez-vous pour les exploiter ? 72
12- Quels sont les principes de fonctionnement d'un variomètre et d'un GPS ? Dans quelles situations sont-ils le plus utiles ?.... 73
13- Vous venez de changer de sellette. Sur quoi portez-vous votre attention en termes de réglages ? En quoi la sellette peut-elle vous aider à optimiser le pilotage ?.... 75
14- Comment expliquez-vous la mise en virage d'un parapente ?.... 76

Questions portant sur : RÈGLEMENTATION / ESPACE AÉRIEN....77

1- Lors de vos prochaines vacances en France, vous vous rendez sur un site nouveau, avec pour objectif de faire du vol de distance. Comment prenez-vous connaissance de l'information aéronautique ? 77
2- Quelles sont les cartes aéronautiques utiles à la pratique du Vol Libre en France ? Quelles sont leurs caractéristiques ? 77
3- Sur l'extrait de carte aéronautique ci-dessous, il y a des sites de Vol libre à droite des espaces aériens contrôlés décrits, proches du mont Nivolet. Quelle lecture faites-vous des éléments de cette carte datant de 2017 ? Quelle serait votre mise en application pratique lors d'un vol dans ce secteur ?.... 78
4- Que représente la figure suivante ? Quelles informations pratiques un pilote de Vol Libre peut-il déduire ?.... 80
5- Quelles sont les différentes références altimétriques utilisées sur les cartes aéronautiques ? Comment les convertissez-vous pour votre utilisation pratique ?.... 80
6- Que représente la figure suivante ? Comment un pilote de Vol Libre peut-il en déduire les informations pratiques ? 81
7- Demain, les prévisions météorologiques sont favorables au vol de distance. Comment préparez-vous concrètement le vol pour respecter la réglementation aérienne ? 82
8- Espaces de classe G et espaces de classe E, quelles sont les différences ? Quelles mesures concrètes prenez-vous dans votre pratique du Vol Libre ?.... 83

Notations et quelques rappels pour la MÉCAVOL 87

1- Symboles et notation : 87
2- Rappel de définitions 87
3- Eléments sur vecteurs : 89
4- Les Moments : 90
5- L'inertie : 90
6- La force Centripète : Fcp 91
7- La force Centrifuge : Fc 91
8- Le Foyer aérodynamique f et le point de Calage C : 92
9- Le centre de poussée : Cp 93
10- Les axes fondamentaux de l'aéronef 93
11- L'angle de plané (évolution des voiles) : 94
12- Contribution à la sustentation : 96
13- Visualisation de l'écoulement de l'air autour d'un profil d'aile : 98
14- Les champs de pressions à différentes incidences : 100
15- A propos du temps de transit 102
16- Fermeture : 104
17- Origine du décrochage : 107
18- Décrochage : 108
19- L'Assiette â : 110
20- Les repères aérodynamiques d'un profil d'aile en vol rectiligne équilibré : 111
21- Le Roulis : 112

Compléments de MÉTÉOROLOGIE 115

1. Les couches de l'atmosphère 115
2. La pression atmosphérique : 116
3. Caractéristiques de l'air : 116
4. Loi générale sur les gaz parfaits ramenée à la théorie de la pompe à vélo et du gazogène : 117
5. Les adiabatiques : 117
6. Représentation graphique du gradient des adiabatiques sèches et humides. 119
7. Émagramme 45° 120
8. Diagramme des changements d'état : 122
9. Directions du vent : 122

Compléments de PILOTAGE 123

1. Décollage en pente très forte 123
2. Améliorer le lacet : 124
3. Virer à plat, taux de chute réduit : 124
4. L'effet Girouette 125

Compléments de RÈGLEMENTATION / ESPACE AÉRIEN 127

1. Division de l'espace aérien 127
1. Les zones à statuts particuliers : 130
2. NOTAM 133
3. Lecture des cartes : interprétation dans les étiquettes, des limites plancher et plafond : 134
5. QNH, QFE, QNE, FL surface isobare (1013,25 hPa) 135
6. Evolutions des espaces aériens : 138
7. Traçons le Volume autour de l'aéroport de Valence-Chabeuil dont l'espace a évolué : 139

Suppléments pour Mécanique du vol 141

Bonus Q1 : Gradient au sol et risque de décrochage. 141
Bonus Q2 : Vitesse, rayon et poids apparent en fonction de l'inclinaison dans virage stabilisé. 142
Bonus Q4 : finesse air, finesse sol. 144
Bonus Q5 : Règle et coefficient de proportionnalité. 145
Bonus Q10 : Entrée et sortie d'un thermique. 146
Bonus Q11 : Attitude souhaitable du pilote sur une frontale. 148
Bonus Q13 : Poids d'une rafale dans le risque de fermeture ou de décrochage. 149
Bonus Q15 : Rappel sur l'Allongement. 150
Bonus Q18 : Choix raisonné de la voile en fonction du type de vol : 150

Suppléments pour Météorologie 151

Bonus Q6 : Axes rotors et rouleaux. 151
Bonus Q12 : définition des modes de propagation de la chaleur. 151

Suppléments pour Pilotage 152

Bonus Q3 : cas d'un petit thermique 152
Bonus Q5 : Le parachute de secours, description d'un pull-down Apex. 152
Bonus Q9 : prise de terrain et atterrissage par vent fort, la PTZ 153
Bonus Q13 : Eléments de choix de la sellette 153
Bonus Q11 : Sous le vent du thermique : l'effet Bagnard 154

Extras 155
1/ La distribution des vitesses dans une section de Venturi 155
2/ la « laisse de chien » 156
Index 161

niveau marron

Optimisation du pilotage

cycle n°3

BREVET CONFIRMÉ PILOTE

-> *Connaissances théoriques nécessaires :*

- **Météo / Aérologie** : frontologie détaillée, notions de stablité/instabilité appliquées à la pratique, phénomènes particuliers liés à une région, phénomènes de confluences
- **Mécavol**: polaire des vitesses appliquée au vol (influence vent et rafales), incidents de vols, sortie du domaine de vol
- **Pilotage** : exploiter les ascendances, régimes de vol en transition, descentes rapides
- **Matériel** : homologation, exigences liées à la mise en œuvre d'un matériel de vol plus performant (ailes, sellettes, secours)
- **Réglementation** : connaissance des différents cadres réglementaires (interlocuteurs, institutions)

l'Analyse

Faire une prévision de la journée aérologique

- Rechercher et confronter les données météorologiques
- Faire l'observation sur secteur
- Anticiper l'aérologie d'un secteur à partir d'une carte topographique

Poursuivre l'analyse objective de l'évolution des conditions tout au long de chaque vol

Savoir choisir une zone de décollage lors d'une pratique hors site

Anticiper le choix d'un atterrissage en campagne

le Mental

- Avoir conscience des exigences liées à la pratique du vol de performance
- Intégrer les facteurs humains
- Savoir gérer sa fatigue et son «mental» en vol long
- Se concentrer sur les choix et actions à venir tout en pilotant
- Rester à l'écoute de ses possibilités du jour et savoir renoncer

le Cadre de pratique

- Agir en commandant de bord, en respect de l'espace aérien et des zones protégées
- S'inscrire dans une démarche de poursuite de progression (évolution du matériel, autres formes de pratique, compétition)
- Connaître les voies d'accès aux qualifications fédérales ou d'Etat

à savoir

> Accès qualifications fédérales et compétition : 18 ans + BPC.

niveau marron

Optimisation du pilotage

cycle n°3

BREVET CONFIRMÉ PILOTE

la Technique

Maîtriser différents types de décollages

- Adapter sa technique à la situation (alimentation, pente, aile)
- Neutraliser son aile dans le vent (empêcher l'aile de décoller le pilote)

Avoir un pilotage sensitif *(réactivité, équilibre dans sa sellette, dosage précis des amplitudes aux commandes)* ***et dynamique*** *(utilisation et gestion des mouvements pendulaires)* ***pour :***

- Anticiper et gérer les incidents de vol (Stage SIV ou pilotage au dessus de l'eau recommandé)
- Exploiter les différents types de thermiques
- Aborder le vol en turbulence en fonction de son niveau de pilotage et de son matériel de vol
- Adapter et varier les techniques de vol

Optimiser la technique de vol

- Prospecter le thermique (identifier les sources potentielles, repérer l'orientation et la force du flux, se positionner par rapport au relief, aux nuages)
- Adapter son mode de déplacement à la situation (transiter, cheminer, se mettre en attente)
- Savoir utiliser l'accélérateur pour améliorer les performances en vol
- Utiliser la technique de descente rapide adaptée à la situation (conditions, proximité relief)
- Utiliser les basses vitesses près du sol à bon escient

la Technique (suite)

- Gérer la vitesse en fonction des conditions de vol
- Gérer un décrochage statique

Mettre en place la tactique de vol

- Créer un scénario de vol et savoir l'adapter
- Se repérer lors de son déplacement et se positionner par rapport aux reliefs, au sol et aux autres pilotes
- Utiliser les informations essentielles fournies par les instruments de vol (altitude, vario, position)

Gérer son matériel

- Suivre les signes de vieillissement (drisses de freins, état du tissu, des coutures, du suspentage câbles, structure)
- Adapter le réglage de sa sellette à son pilotage
- Gérer son parachute de secours (simulation d'utilisation, aérer, replier et réinstaller)
- Connaître le fonctionnement et savoir utiliser les instruments de vol (alti-vario, GPS…)

objectif

Être autonome dans l'analyse et l'exploitation des conditions afin de se déplacer

Notes personnelles : ……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

Première partie

Préparation à l'écrit / Référentiel de correction

Questions ouvertes :

- ❖ Mécanique du vol / aérodynamique
- ❖ Météorologie / aérologie
- ❖ Pilotage
- ❖ Réglementation aérienne / espace aérien

Notes personnelles : ……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

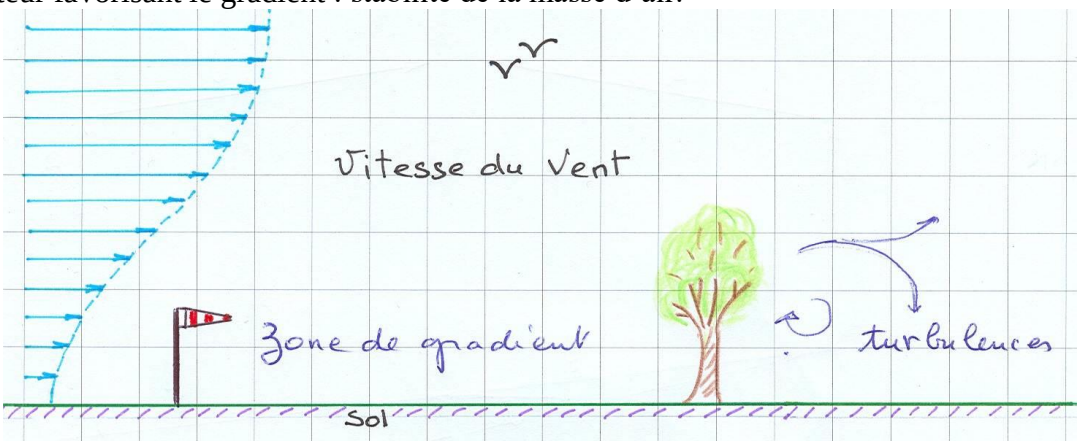
Questions portant sur : MÉCANIQUE du VOL - AÉRODYNAMIQUE

1- Quelles vont être les conséquences, en termes de capacité de vol de votre aile, d'un gradient de vent à l'atterrissage (schéma et explications) ? Quels types de manœuvres éviterez-vous et mettrez-vous en place et pourquoi ?

a) Définition du gradient du vent,
b) Conséquence aérodynamique sur l'aile,
c) Cas possibles de trajectoires,
d) Manœuvres à éviter,
e) Précautions à prendre.

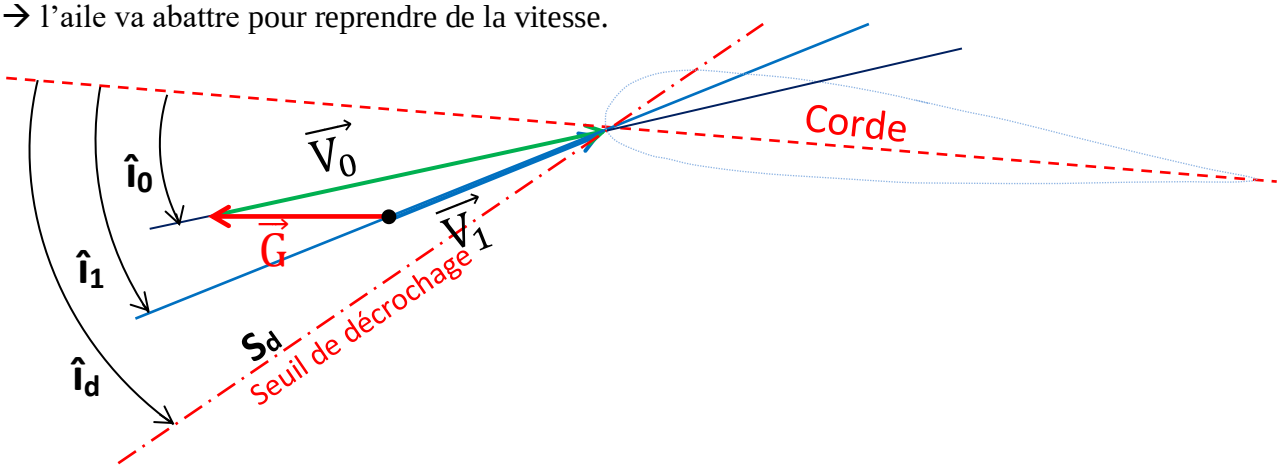
a- Définition du gradient du vent à l'atterrissage:

C'est la variation graduelle de la vitesse du vent à proximité du sol.
Le vent décroit à l'approche du sol. Le gradient est plus ou moins marqué en fonction de la nature du sol, et sa configuration. Le gradient apparait par vent fort et généralement sur un terrain dégagé.
Un facteur favorisant le gradient : stabilité de la masse d'air.



b- Conséquence aérodynamique sur l'aile :

En approche du sol vent de face, le vent relatif va décroitre.
Progressivement, la FA diminue et l'incidence augmente, il y a risque de décrochage.
→ l'aile va abattre pour reprendre de la vitesse.

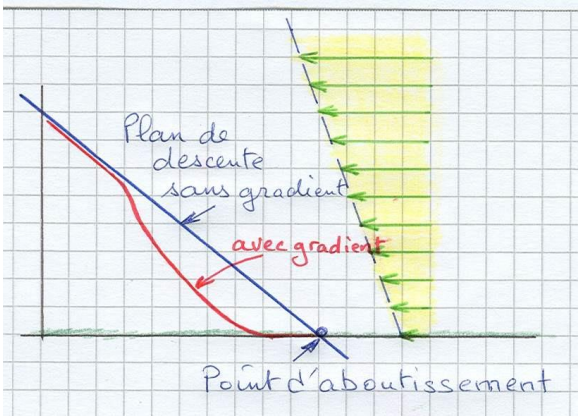


L'angle d'incidence **î** est l'angle formé entre la corde du profil et le vent relatif. Soit $\mathbf{v_0}$ le vent relatif et $\hat{\mathbf{i}}_0$ l'incidence de l'aile.
Si du gradient **G** apparait : il en résulte un nouveau vent relatif $\overrightarrow{V1} = \overrightarrow{V0} + \vec{G}$, d'intensité inférieure, et donnant une nouvelle incidence $\hat{\mathbf{i}}_1$ plus grande.
Avec un gradient encore plus fort, il y aura risque de décrochage si le vent relatif prend la direction $\mathbf{S_d}$ qui détermine le seuil de l'incidence de décrochage $\hat{\mathbf{i}}_d$…

c- Cas possibles de trajectoires : deux cas possibles,

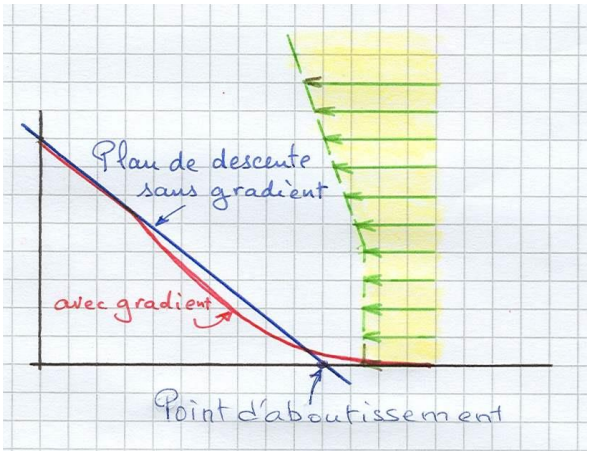
Gradient près du sol :

L'aile est toujours en recherche de vitesse, la finesse est dégradée.
Le posé se fait avant le point d'aboutissement sans gradient.
Le pilote devra anticiper le freinage final, ce dernier se confondant avec l'arrondi qui devra être ample et souple.
C'est aussi le cas si le pilote prend en compte tardivement le gradient.



Gradient haut :

L'aile abat pour prendre de la vitesse, après ce passage transitoire, la finesse sol est plus grande qu'avant le gradient.
Le posé se fait après le point d'aboutissement.
Ici, la prise de vitesse a été maximale, l'aile accélère et, sur la fin, le gradient disparaissant pratiquement, l'aile a eu le temps de reprendre de la vitesse avant l'arrondi final. On va être long.



d- Manœuvres à éviter :

- basse vitesse,
- oreilles,
- déclencher la prise de vitesse par un mouvement de tangage dans le gradient et non au-dessus,
- s'opposer à la prise de vitesse normale (il faut accepter l'accélération),
- virage près du sol (impliquant une demande de vitesse).

e- Précautions à prendre :

- anticiper l'arrivée dans la zone de gradient en prenant de la vitesse, garder 'le contact' bras hauts (entre finesse max et taux de chute mini) et maintenir cette attitude,
- si correction de cap à faire, privilégier les appuis sellette,
- Finale : se relever dans la sellette plus tôt que d'habitude,
- si turbulences, le pilote doit piloter son aile en ayant à l'esprit qu'il faut garder de la vitesse.

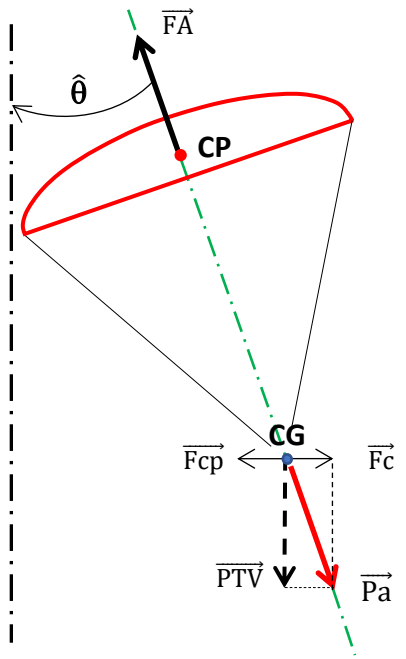
Bonus Q1 : Gradient au sol et risque de décrochage. (Chapitre Suppléments)

2- A l'aide d'un schéma, décrivez les forces en présence lors d'un virage équilibré

Sommaire des éléments de réponse :

a) Schéma du virage équilibré,
b) Action des forces en présence,
c) Conséquence sur les vitesses.

a- Schéma de l'aile en virage équilibré :



$\hat{\theta}$: thêta angle d'inclinaison,
$\overrightarrow{FA}$: la force aérodynamique,
CG : le Centre de Gravité,
CP : le Centre de Poussée,

$\overrightarrow{Pa}$: le poids apparent,
$\overrightarrow{Fc}$: la force centrifuge,
$\overrightarrow{Fcp}$: la force centripète,
$\overrightarrow{PTV}$: le Poids Total en Vol,

$$\overrightarrow{Pa} = \frac{\overrightarrow{PTV}}{\cos\theta} = \overrightarrow{FA}\ .$$

b- Action et bilan des forces en présence :

Au centre de poussée (CP), s'exerce la Force Aérodynamique $\overrightarrow{FA}$, équilibrée par le Poids apparent $\overrightarrow{Pa}$, force égale et opposée à $\overrightarrow{FA}$.
Au centre de gravité (CG), s'applique la force centripète qui imprime la rotation :
la force centripète $\overrightarrow{Fcp}$ est équilibrée par la force centrifuge $\overrightarrow{Fc}$.
Pa = PTV / cos θ, Pa > PTV, $\overrightarrow{FA}$ s'équilibre avec $\overrightarrow{Pa}$.

c- Conséquence sur les Vitesses :

En virage, le **P**oids **a**pparent (Pa) est supérieur au PTV, poids en vol rectiligne.
Pour équilibrer et engendrer une $\overrightarrow{FA}$ plus grande, l'aile doit voler à une vitesse plus importante.

Bonus Q2 : Vitesse, rayon et poids apparent en fonction de l'inclinaison, dans virage équilibré. (Chapitre Suppléments)

3- Quel est le terme définissant le rapport entre la Portance et la Trainée ? Illustrez à l'aide d'un schéma.

Sommaire des éléments de réponse :

a) Définition de la portance et de la trainée,
b) Définition de la finesse,
c) Schéma des forces et angles en présence.

a- Définition de la portance et de la trainée :

La portance $\vec{P}$ est la composante de la Force Aérodynamique $\overrightarrow{FA}$, qui s'exerce perpendiculairement au vent relatif.
La trainée $\vec{T}$ est la composante de la force Aérodynamique $\overrightarrow{FA}$, qui s'exerce dans la direction du vent relatif.

b- Définition de la finesse :

Ici on considère la finesse air, qui est égale à la finesse sol en air calme (sans vent).
La finesse est le rapport entre la Portance $\vec{P}$ et la trainée $\vec{T}$: $f = \frac{\text{Portance}}{\text{Trainée}}$

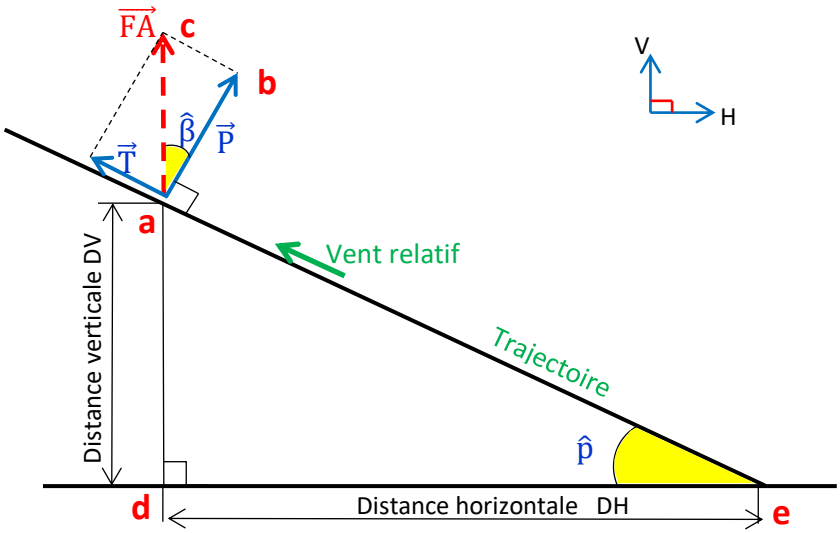
f est aussi le rapport de la distance parcourue sur la hauteur perdue : $f = \frac{DH}{DV}$

f peut aussi s'exprimer en fonction des vitesses : $f = \frac{DH}{DV} = \frac{DH}{t} / \frac{DV}{t} = \frac{\text{V horizontale}}{\text{V verticale}}$

La finesse est une grandeur sans unité.

c- Schéma des forces et angles en présence

Avec le schéma suivant, on va montrer que f est égal au rapport Portance sur Trainée :



Sachant que la finesse $f = \frac{\text{Distance parcourue}}{\text{hauteur perdue}} = \frac{DH}{DV}$

Considérons les triangles rectangles abc et eda aux côtés perpendiculaires entre eux :

nous avons l'égalité des angles, $\widehat{bac} = \widehat{dea} \rightarrow \hat{\beta} = \hat{p}$.

Ces deux triangles sont semblables et les côtés correspondants proportionnels.

Donc : $\frac{ab}{ed} = \frac{bc}{da} \rightarrow \frac{ab}{bc} = \frac{ed}{da}$. En donnant aux côtés leurs valeurs respectives : $\frac{P}{T} = \frac{DH}{DV} = f$

Par vent, on parlera de finesse sol, ce qui est plus réaliste.

4- Dans un vol plané équilibré, quels sont les vecteurs, angles, et droites de référence qui permettent de visualiser et de déterminer la finesse. Schéma ?

Sommaire des éléments de réponse :

a) Définition de la portance et de la trainée,
b) Définition de la finesse,
c) Représentation des forces et angles.

a- Définition de la portance et de la trainée :

La portance $\vec{P}$ est la composante de la Force Aérodynamique $\overrightarrow{FA}$, qui s'exerce perpendiculairement au vent relatif.
La trainée $\vec{T}$ est la composante de la force Aérodynamique $\overrightarrow{FA}$, qui s'exerce dans la direction du vent relatif.

b- Définition de la finesse :

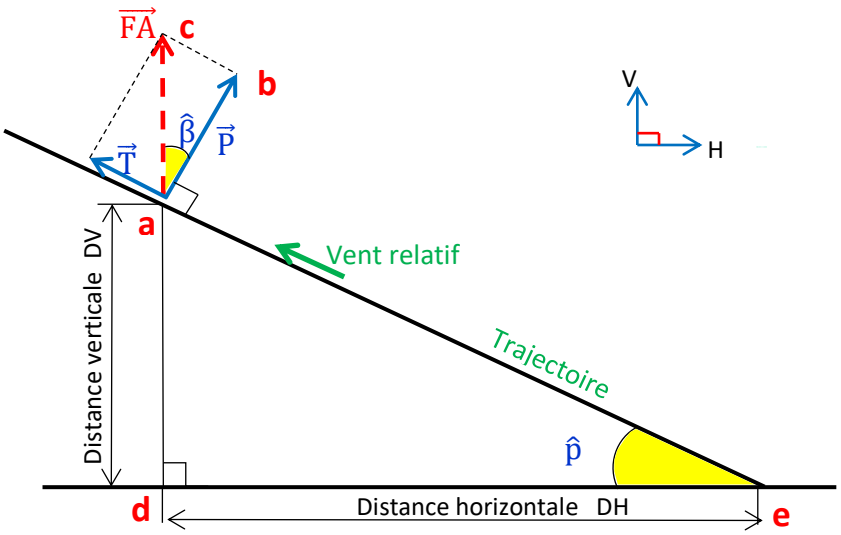
Ici on considère la finesse air, qui est égale à la finesse sol en air calme (sans vent).
La finesse est le rapport entre la Portance $\vec{P}$ et la trainée $\vec{T}$: $f = \frac{\text{Portance}}{\text{Trainée}}$

f est aussi égal au rapport de la distance parcourue sur la hauteur perdue : $f = \frac{DH}{DV}$

f peut aussi s'exprimer en fonction des vitesses : $f = \frac{DH}{DV} = \frac{DH}{t} \Big/ \frac{DV}{t} = \frac{\text{V horizontale}}{\text{V verticale}}$

La finesse est une grandeur sans unité.

c- Représentation des forces et angles :



Considérons les triangles rectangles semblables abc et eda.
→ $\hat{\beta}$ = $\hat{p}$ angle de plané. $\vec{P}$ = ab la Portance et $\vec{T}$ = bc la Trainée.
Dans les triangles semblables : $\frac{ab}{bc} = \frac{de}{da}$ → $\frac{\text{Portance}}{\text{Trainée}} = \frac{DH}{DV} = f$ la finesse.

Relation entre finesse et angle de plané $\hat{p}$: $\tan \hat{p} = \frac{DV}{DH}$ → $\tan \hat{p} = \frac{1}{f}$.

Bonus Q4 : Finesse air et finesse sol. (chapitre suppléments)

5- La finesse d'une voile change-t-elle proportionnellement à la charge emportée ? A l'aide d'un schéma de polaire, illustrez les modifications principales

Sommaire des éléments de réponse

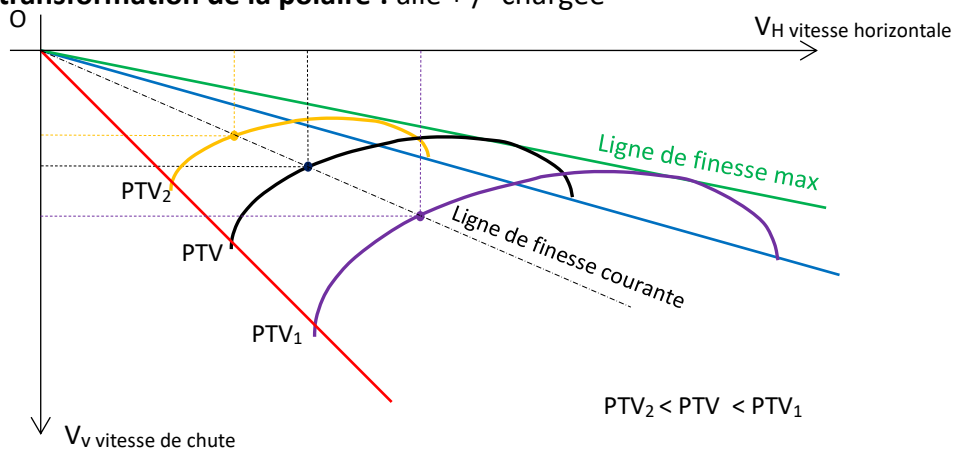
a) Influence de la charge,
b) Schéma de la transformation de la polaire,
c) Effet d'une charge plus forte,
d) Effet d'une charge moins forte

a- Influence de la charge :

A incidence constante, la charge alaire n'influe pas sur la finesse. La finesse dépendra du régime de vol, mais pas de la Charge Alaire. Si la charge varie, la polaire des vitesses est transformée homothétiquement selon un cône de projection de sommet O.

La polaire se déplace à gauche pour un poids plus faible, et à droite pour un poids plus grand (en supposant qu'il n'y a pas de déformation due à la charge).

b- Schéma de la transformation de la polaire : aile + /- chargée



c- Incidence d'une charge plus forte :

1- Les vitesses augmentent :
   - Il faudra courir plus vite au décollage.
   - L'atterrissage sera réalisé à plus vive allure, pour ne pas risquer un décrochage prématuré.
   - Plus grands efforts aux commandes.
   - L'aile sera plus maniable et moins sensible aux turbulences, mais en cas de fermetures, celles-ci seront plus brutales.
2- La vitesse max augmente, ce qui peut être intéressant par vent fort.
3- La vitesse de décrochage augmente, le pilote doit en être averti.
4- Le taux de chute mini augmente : cela peut pénaliser, en petites conditions.

d- Incidence d'une charge moins forte :

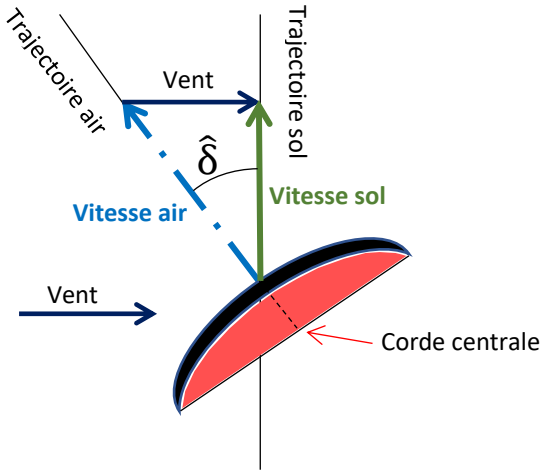
Si on diminue nettement la charge alaire

1- Les vitesses diminuent :
   - Il faudra courir moins vite au décollage.
   - L'atterrissage sera réalisé à une moindre allure.
   - L'aile vole moins vite, les commandes sont plus molles.
   - L'aile devient plus vulnérable aux variations d'incidence liées à des turbulences, on augmente le risque la fermeture.
2- La vitesse max diminue, ce qui peut être intéressant par vent faible.
3- La vitesse de décrochage diminue.
4- Le taux de chute mini diminue : cela peut aider, en petites conditions.

Bonus Q5 : Règle et coefficient de proportionnalité. (chapitre Suppléments)

6- Quelles sont les deux droites qui définissent un angle de dérive ?

La dérive apparait lorsque l'aile subit un vent latéral : l'aile avance alors en crabe par rapport au sol. L'angle de dérive $\hat{\delta}$ est l'angle entre la trajectoire air et la trajectoire sol ou l'angle entre le vecteur-vitesse air et le vecteur-vitesse sol, portés respectivement sur ces trajectoires.



On peut aussi dire que l'angle de dérive est l'angle formé entre corde centrale et la trajectoire sol.

7- Si on diminue nettement la charge alaire d'une aile, quelles vont en être les conséquences en termes de qualité de vol et pourquoi ?

Sommaire des éléments de réponse :

a) Définition de la charge alaire,
b) Incidence d'une diminution de la charge alaire,
c) Conséquences sur le vol.

a- Définition de la charge alaire :

La charge alaire est le rapport entre le PTV et la surface projetée de l'aile (en kg/m^2).

b- Incidence d'une diminution de la charge alaire :

Si on diminue la charge alaire, la polaire des vitesses subit une réduction homothétique : toutes les vitesses diminuent.

c- Conséquences sur le vol :

Si on diminue nettement la charge alaire,

1- Les vitesses diminuent :
   - Il faudra courir moins vite au décollage.
   - L'atterrissage sera réalisé à une moindre allure.
   - L'aile vole moins vite, les commandes sont plus molles.
   - L'aile devient plus vulnérable aux variations d'incidence liées à des turbulences, on augmente le risque la fermeture.

2- La vitesse max diminue, ce qui peut être intéressant par vent faible.
3- La vitesse de décrochage diminue.
4- Le taux de chute diminue : cela peut aider, en petites conditions.

8- Si on augmente nettement la charge alaire, quelles vont en être les conséquences et pourquoi ?

Sommaire des éléments de réponse :

a) Définition de la charge alaire,
b) Incidence d'une augmentation de la charge alaire,
c) Conséquences sur le vol.

a- Définition de la charge alaire :

La charge alaire (kg/m^2) est le rapport entre le PTV et la surface projetée de l'aile.

b- Incidence d'une augmentation de la charge alaire :

Si on augmente la charge alaire, la polaire des vitesses subit un accroissement homothétique : toutes les vitesses augmentent.

c- Conséquences sur le vol :

Si on augmente nettement la charge alaire,

1- Les vitesses augmentent :
   - Il faudra courir plus vite au décollage,
   - L'atterrissage sera réalisé à plus vive allure, pour ne pas risquer un décrochage prématuré,
   - Plus grands efforts aux commandes,
   - L'aile sera plus réactive et moins sensible aux turbulences, ce qui est toujours intéressant, mais en cas de fermetures, celles-ci seront plus brutales.
2- La vitesse max augmente, ce qui peut être intéressant par vent fort.
3- La vitesse de décrochage augmente, le pilote doit en être averti.
4- Le taux de chute mini augmente : cela peut pénaliser, en petites conditions.

9- Dans un vol turbulent vous venez de subir une fermeture asymétrique, liée à des variations de paramètres essentiels pour notre vol : Lesquels ?
A l'aide d'un schéma simple, préciser ces paramètres.

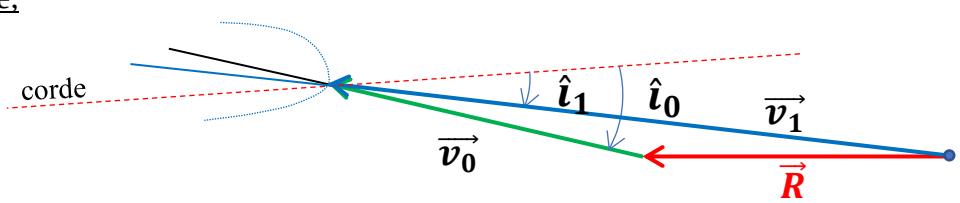
Définition de la fermeture asymétrique :
La fermeture asymétrique est due à une diminution non symétrique de l'incidence sur une partie de l'envergure de l'aile. Il suffira que la nouvelle incidence passe en sous-incidence pour déclencher la fermeture.

Cette diminution de l'incidence $\hat{\imath}_0$ est due à la variation du vent relatif causée par :

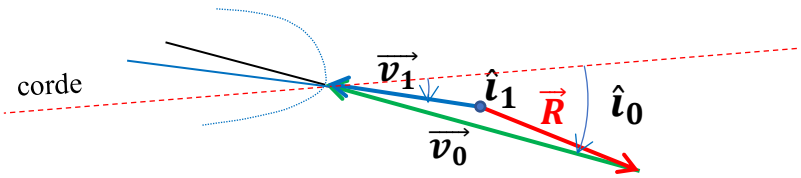
Les rafales $\boldsymbol{R}$, de face, de dessus, arrière plongeante, toutes les rafales du demi-quadrant supérieur, composent avec le vent relatif $\overrightarrow{v_0}$ pour présenter un nouveau vent relatif $\overrightarrow{v_1}$ avec pour conséquence une incidence $\hat{\imath}_1$ réduite.

$$\overrightarrow{v_1} = \overrightarrow{v_0} + \vec{R}$$

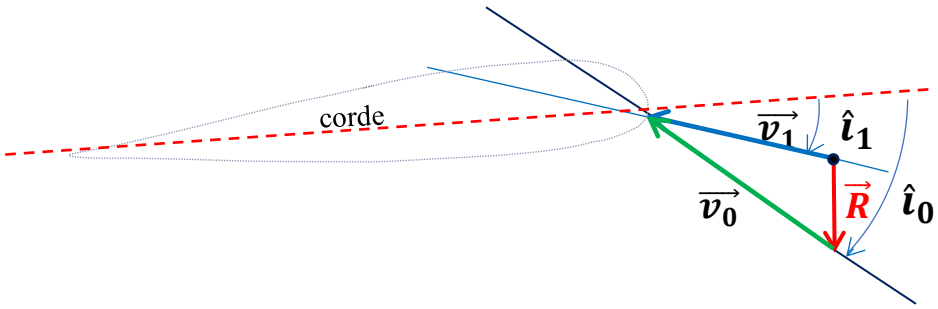
- <u>rafale de face,</u>



- <u>rafale arrière plongeante</u>



- <u>rafale de dessus</u> (ou descendante).



** NB : dans la rose des rafales 'chapitre suppléments', seules les rafales du ½ cadran supérieur sont capables de réduire l'angle d'incidence. Alors que dans le ½ cadran inférieur les rafales augmentent l'angle d'incidence.

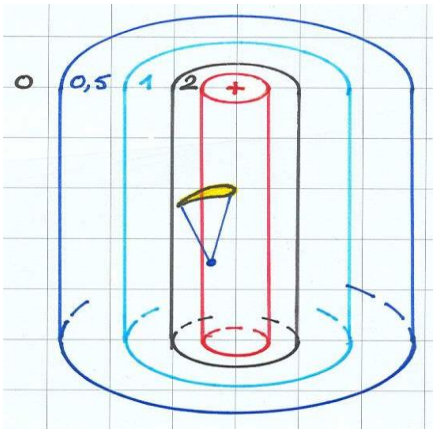
10- Durant votre vol, vous entrez dans un thermique. Décrivez, par un schéma simple, l'effet sur votre voile.

Sommaire des éléments de réponse :

a) Le gradient des forces ascendantes dans le thermique,
b) Entrée dans le cœur, montant,

a- Le gradient des forces ascendantes dans le thermique :

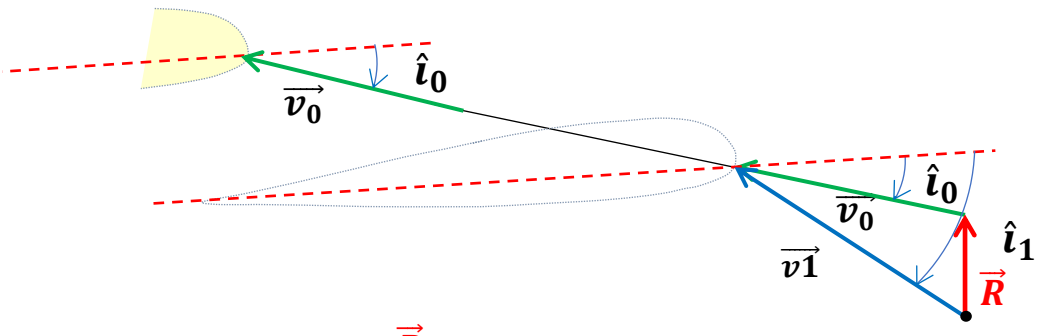
Nous exclurons les zones descendantes jouxtant extérieurement une ascendance thermique et présenterons le cœur montant.



Dans la traversée du thermique, nous rencontrons un gradient de courant thermique croissant vers le centre (0.., +0,5..,+1.., +2.., ++).
On se trouve dans le cas de rafales verticales de dessous.

b- Entrée dans le cœur, montant :

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



En effet, la rafale montante $\vec{R}$ va transitoirement induire une nouvelle vitesse $\overrightarrow{v1}$: $\overrightarrow{v1} > \overrightarrow{v0}$

L'incidence î augmente, la trainée augmente et freine l'aile ; le pilote continue à avancer par inertie, l'effet pendulaire cabre l'aile et nécessite une remontée des mains, qui réduira l'incidence.
Plus je me rapproche du cœur, et plus le courant ascendant est fort. En entrée du thermique, j'adopte la correction mains hautes, tout en assurant le contact, d'autant que l'ascendance est brutale.

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

Bonus Q10 : Entrée et sortie d'un courant thermique. (chapitre Suppléments)

11- Comment expliquez-vous une fermeture frontale et ce qui a pu l'engendrer ?

Sommaire des éléments de réponse :

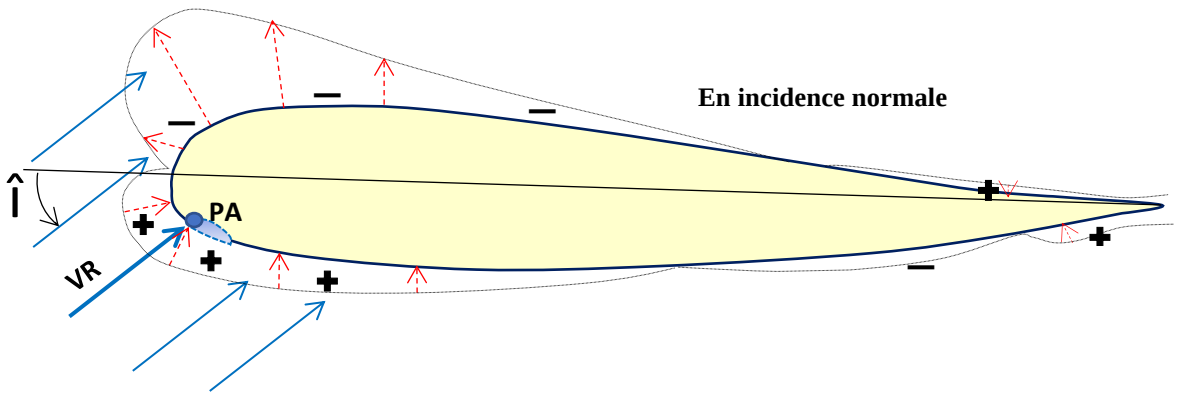
a) Définition et conditions de Fermeture frontale,
b) Le point d'arrêt,
c) Processus conduisant à cette fermeture.

a- Définition et conditions de Fermeture frontale :

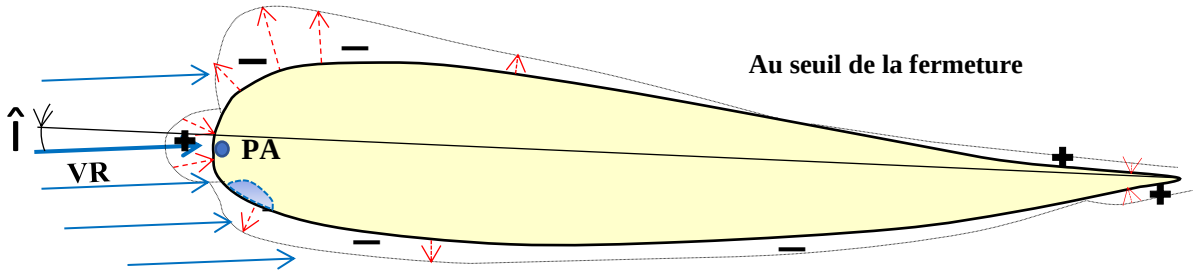
Une fermeture frontale est un incident qui se produit au milieu du bord d'attaque de l'aile et peut se propager sur toute l'envergure.

b- Point d'arrêt :

C'est le point (PA) du profil, où le vent relatif est perpendiculaire à la surface et où les filets d'air se séparent pour contourner le profil. La pression dynamique y est maximale.



Quand l'incidence baisse : la dépression sur l'extrados diminue : la succion se réduit,
PA, perpendiculaire au vent relatif, se déplace vers la partie haute du bord d'attaque.
Au franchissement du seuil de fermeture, la situation est la suivante :
succion réduite, pression accrue sur la partie haute du bord d'attaque, diminution de la pression interne de l'alvéole.
Il y a perte de portance, le bord d'attaque ferme. L'aile ne portant plus, se chiffonne.
Si la longueur est importante, nous parlerons de fermeture « massive ».



c- Processus conduisant à cette fermeture :

L'origine de la fermeture peut être la conjugaison de :

- abattée de forte amplitude, et non temporisée,
- dépassement de la vitesse préconisée pour l'aile,
- voile fortement détrimée (calée avec une incidence faible),
- rafale descendante : $\hat{\imath} \searrow$
- rafale de face : $\hat{\imath} \searrow$ (en théorie, mais c'est moins marqué).

Bonus Q11 : Attitude souhaitable du pilote sur une frontale. (chapitre Suppléments)

12- Le départ en vrille est lié à un problème mécanique simple. Lequel ?

Sommaire des éléments de réponse :

a) Le décrochage asymétrique,
b) Justification aérodynamique.

a- définition du décrochage asymétrique :

Un décrochage se produit quand l'incidence du profil passe en sur-incidence.
Le décrochage est dit Asymétrique quand il se produit seulement sur une demi-aile, et que l'autre côté continue à voler.

- C'est donc en amenant au décrochage un côté du parapente, en le ralentissant par excès et en laissant l'autre côté voler, que l'on peut amorcer un décrochage asymétrique c'est-à-dire une vrille.

Un décrochage sur la demi-aile droite peut être obtenu :

- par ralentissement de l'aile, puis lever la commande gauche tout en enfonçant excessivement la commande droite,
- en entrant dans le thermique, on freine légèrement pour profiter, si on veut enrouler on lève le bras extérieur → pas de risque. Si par contre on abaisse excessivement la commande intérieure, la demi-aile décroche et la voile part en vrille.

b- Justification aérodynamique :

La demi-aile décrochée s'enfonce alors que la demi-aile portante va avancer et tourner autour de l'axe de lacet : c'est le départ en vrille. Notons que la vrille ne fait pas perdre beaucoup d'altitude, c'est sa sortie qui est délicate.

NB sortie de vrille : manœuvrer jusqu'à la marche arrière, sans nécessité d'aller au décrochage. Cela s'apprend en stage de pilotage (SIV)

13- A l'aide de schémas, illustrez une aile proche de la « sur-incidence » et de la « sous-incidence ». Quelles peuvent être les causes liées à ces 2 situations ?

Sommaire des éléments de la réponse :

a) Sous-incidence définition et cause,
b) Sur-incidence définition et cause
c) Représentation sur un profil.

a- Sous-incidence définition et cause :

La sous-incidence est atteinte quand l'angle d'incidence est égal ou inférieur au seuil de fermeture.

La sous-incidence pourra se produire lors d'un évènement transitoire qui réduit brutalement l'incidence de l'aile par exemple :

- une abattée non temporisée,
- une accélération qui produit un calage fortement modifié,
- en zone de turbulence, une rafale forte descendante ou de face,
- toute rafale du ½ cadran supérieur peut faire passer sous le seuil de fermeture.

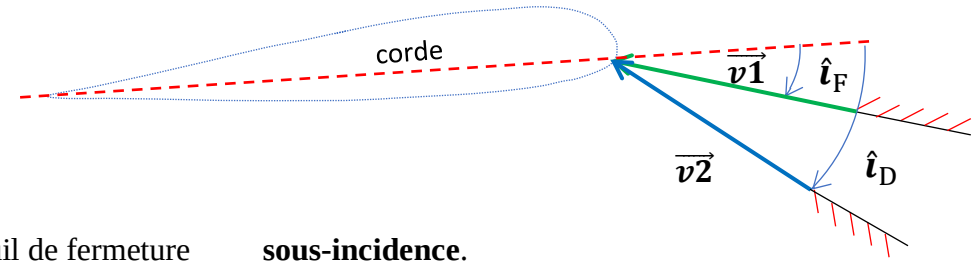
b- Sur-incidence définition et cause :

La sur-incidence est atteinte quand l'angle d'incidence égale ou dépasse le seuil de décrochage.

La sur-incidence pourra se produire sur un évènement transitoire qui accroit brutalement l'incidence de l'aile par exemple :

- surpilotage: pomper lors de l'atterrissage,
- en zone de turbulence, une rafale forte montante ou arrière,
- toute rafale du ½ cadran inférieur peut faire approcher ou dépasser le seuil de décrochage.

c- Représentation sur un profil :



$\hat{\imath}_F$ = seuil de fermeture **sous-incidence**.

Le vecteur vent relatif $\overrightarrow{v1}$ forme avec la corde l'angle du seuil de fermeture.

$\hat{\imath}_D$ = seuil de décrochage **sur-incidence**.

Le vecteur vent relatif $\overrightarrow{v2}$ forme avec la corde l'angle du seuil de décrochage.

Bonus Q13 : Poids d'une rafale dans le risque de fermeture ou de décrochage. (chapitre Suppléments)

14- Le décrochage est lié à un problème mécanique simple. Lequel ?

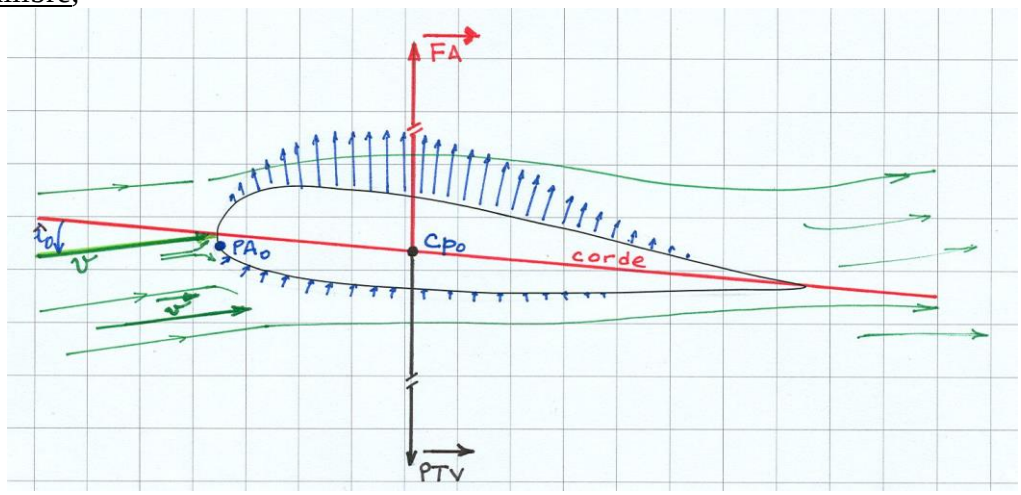
Sommaire des éléments de réponse :

a) Quand se produit le décrochage,
b) Schéma des flux et forces appliqués sur un profil,
c) Démonstration aérodynamique.

a- Quand se produit le décrochage :
Le décrochage se produit quand l'aile passe en sur-incidence.

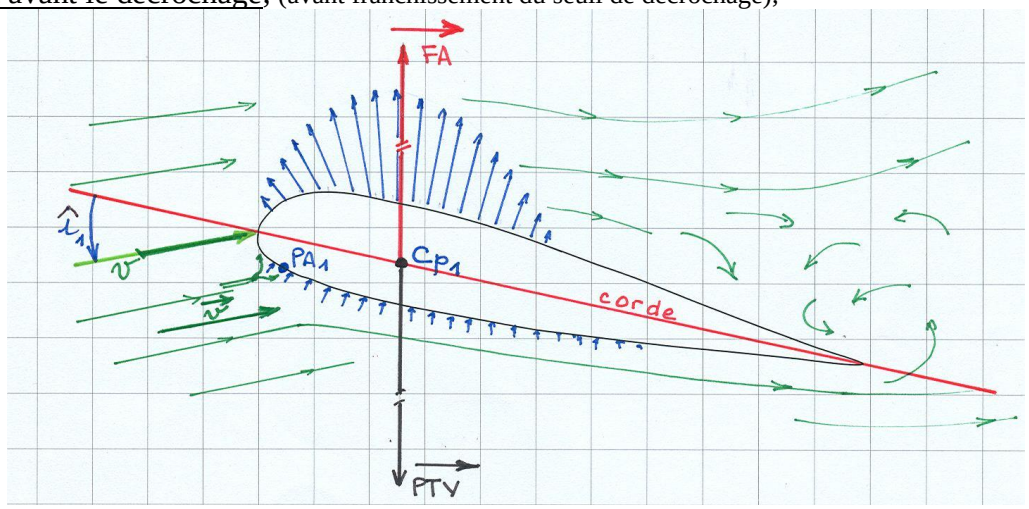
b- Schéma des flux et forces appliqués sur un profil : En fait que se passe-t-il sur l'aile :
Pour la représentation, les échelles de FA et PTV sont volontairement réduites par rapport aux champs de forces.

<u>En vol équilibré</u>,



- $\vec{v}$ le vent relatif,
- $\overrightarrow{FA}$ est égale et opposée au $\overrightarrow{PTV}$,
- Cp_0 le centre de poussée,
- $\overrightarrow{FA}$ résulte des forces d'intrados et des forces d'extrados,
- PA_0 le point d'arrêt où le flux se subdvise pour parcours intrados et extrados.

<u>Un instant avant le décrochage</u>, (avant franchissement du seuil de décrochage),

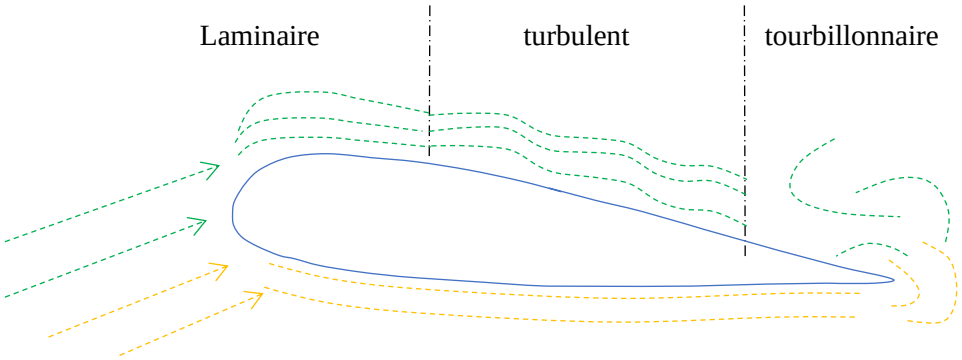


- L'incidence est proche du seuil de décrochage, $\vec{v}$ diminue
- $\overrightarrow{PTV}$ reste encore équilibré par $\overrightarrow{FA}$,

- PA a migré plus bas sur le bord d'attaque (PA_1), l'intrados plus ouvert au flux exerce une plus forte pression ; côté extrados l'air, plus fortement accéléré, se décolle rapidement et devient turbulent.
- L'éventuelle migration du Centre de poussée (Cp_1) vers le bord d'attaque génère une modification d'assiette à-cabrer (faisant repasser le centre de gravité de l'ensemble [aile + pilote sous le Cp).
- Le système devient très instable et va décrocher.

Déplacement du point de décollement de l'air sur l'extrados :
À angle d'incidence normal, la circulation d'air est pratiquement laminaire tout au long du profil, la viscosité de l'air assure le 'contact' avec la surface du profil.
Alors que l'écoulement sur l'extrados était laminaire de bout en bout, lorsque l'angle d'incidence augmente, il apparait quelques turbulences vers le bord de fuite. L'air se déplace encore dans le bon sens, du bord d'attaque vers le bord de fuite.

A l'approche du seuil de décrochage :
L'écoulement laminaire se réduit vers le bord d'attaque, l'extrados est envahi par un écoulement turbulent en extrémité du profil en sous-pression, l'air de l'intrados, en partie, remonte vers l'extrados par le bord de fuite, des tourbillons apparaissent, l'air commence à perdre le contact avec le profil.



Le flux turbulent remplace progressivement le flux laminaire, pendant que le flux tourbillonnaire gagne sur le flux turbulent.

Le décrochage est un évènement aérodynamique brutal qui ne prévient pas, représenter alors les vecteurs forces et vitesse n'a plus de sens, dans un flux tourbillonnaire, c'est le chaos, la voile est en chiffon et tombe derrière le pilote.

c- Démonstration aérodynamique :
L'air se partage sur le bord d'attaque au Point d'Arrêt (PA). Si l'incidence augmente fortement (aile cabrée) le point d'arrêt migre vers le bas et se rapproche de l'intrados.
Sur l'intrados, la pression sera plus forte, car sa surface est plus exposée au flux.
Sur l'extrados, le mouvement à-cabrer du profil déclenche rapidement le décollement des filets qui s'évacuent en tourbillons. La dépression, donc la force de sustentation qui contribue en vol normal à l'essentiel de la force de portance, disparait brutalement de l'extrados.

15- Expliquez les causes d'un départ en autorotation

Sommaire des éléments de réponse :

a) Facteurs favorisant,
b) Causes,
c) Manifestation d'une autorotation,
d) Mécanisme aérodynamique.

a- Facteurs favorisants :

- vitesse,
- forte charge alaire,
- grand allongement,
- effet pendulaire d'un long suspentage.

b- Causes :

Incident de vol de type fermeture asymétrique ou cravate.

c- Manifestation d'une autorotation :

S'il n'y a pas correction, la ½ aile restée ouverte va tourner de plus en plus vite, autour de la ½ aile fermée qui freine, entrainant le pilote en marche arrière ; l'accélération cessera lorsque l'axe de rotation sera entre le pilote et l'aile : c'est l'autorotation.

.

d- Mécanisme aérodynamique :

Une ½ voile ferme, le Centre de Poussée s'éloigne du Centre de Gravité. La voile abat dynamiquement et plonge vers le bas, la trajectoire de l'aile et du pilote s'extériorisent.

Le poids apparent augmente et contribue à maintenir l'autorotation…

NB :

- L'abattée et la vitesse de rotation varient selon le modèle de voile
- La **SAT** (**S**afety **A**cro **T**eam) proche de l'autorotation, voile avançant et pilote en vol arrière tournent autour de l'axe vertical.
- En 360, le pilote tourne autour de la voile qui pivote sur l'axe de rotation.

Q15 : rappel sur l'allongement. (chapitre Suppléments)

16- En se lestant un maximum, vous influencez considérablement certains paramètres de vols. Lesquels ? En quoi certaines habitudes de pilotes peuvent-elles être dangereuses par cette forte augmentation de charge alaire ?

Sommaire des éléments de la réponse :

a) Définition de la charge alaire CA,
b) Effet du lest sur la polaire des vitesses,
c) Conséquences sur le pilotage,
d) Effet sur le comportement de l'aile.

a- Définition de la charge alaire CA :

La charge alaire CA est le rapport entre le PTV et la surface projetée de l'aile [kg / m^2].

b- Effet du lest sur la polaire des vitesses :

Si on augmente la charge alaire ($CA_1 \rightarrow CA_2$), la polaire des vitesses subit un accroissement homothétique : toutes les vitesses augmentent.

$$V_2 = \sqrt{\frac{CA2}{CA1}} * V_1 = \sqrt{\frac{PTV2}{PTV1}} * V_1$$

Pour une même incidence

la vitesse horizontale augmente,

le taux de chute (vitesse verticale) augmente.

c- Conséquences sur le pilotage :

Globalement, l'aile est plus physique à piloter, mais aussi plus vive à la sellette (au réglage de référence en rapport à l'homologation), exigeant un pilotage plus précis.

- déséquilibres pendulaires à plus fortes amplitudes,
- moins sensible aux turbulences ; mais en cas de fermetures, celles-ci seront plus brutales.

En cas de mauvaise réception au sol, la capacité musculaire du pilote sera fortement sollicitée par une masse totale de son équipement, trop forte.

d- Effet sur le comportement de l'aile :

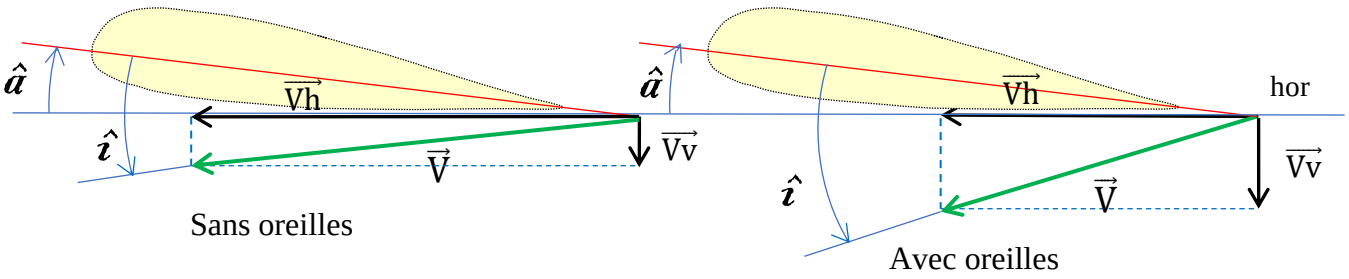
- déformation possible de la voûte
- usure prématurée des suspentes et des tissus
- risque de rupture sous facteur de charge accru sur une aile en fin de vie.

17- Le fait de se mettre « aux oreilles » fait-il varier l'angle d'incidence ? Précisez à l'aide d'un schéma.

Nous proposons deux réponses possibles :

1°/ intuitive :

Représentons les vitesses Vh et Vv



Lorsqu'on se met aux oreilles, une grande partie de la surface portante diminue. La force aérodynamique $\overrightarrow{FA}$ reste toujours égale au poids total en vol $\overrightarrow{PTV}$; et la trainée augmente, la portance diminue, maintenant ainsi l'intensité de la $\overrightarrow{FA}$...

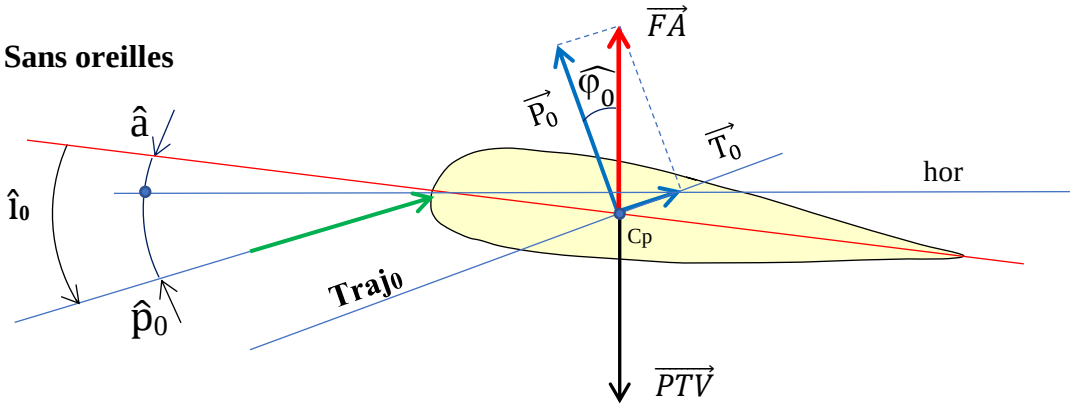
La vitesse horizontale va baisser et le taux de chute notablement augmenter, donnant une nouvelle trajectoire, plus plongeante : î augmente donc.

2°/ plus formelle :

Toujours avoir en tête que le poids ne change pas quand on fait les oreilles.

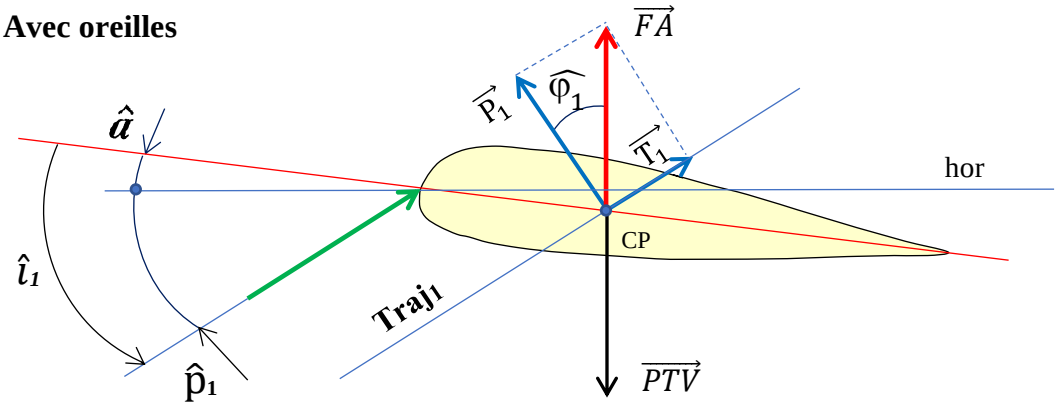
Pour l'équilibre du vol, c'est-à-dire sans accélération :
- $\overrightarrow{PTV} = \overrightarrow{FA}_{\text{sans oreilles}} = \overrightarrow{FA}_{\text{avec oreilles}}$ = constante,
- $\overrightarrow{FA} = \overrightarrow{P_0} + \overrightarrow{T_0}$,
- Considérons que le calage de l'aile est sensiblement inchangé :
  → assiette $\hat{a}$ constante,
- L'angle de plané $\hat{p}_0$ détermine la trajectoire, donc l'incidence $\hat{i}_0$.

Sans oreilles



→ angle de plané : $\hat{p}_0 = \hat{\varphi}_0$ (angles dont les côtés sont perpendiculaires chacun à chacun)

Avec oreilles



angle de plané : $\hat{p}_1 = \hat{\varphi}_1$

A la mise aux oreilles, $\overrightarrow{FA}$ va avoir de nouvelles composantes :

La portance devient $\overrightarrow{P_1}$ et la trainée devient $\overrightarrow{T_1}$.

Or la portance $\vec{P}_1$ est moindre : pour maintenir la relation $\overrightarrow{FA} = \vec{P}_1 + \overrightarrow{T_1}$ il faut que $\overrightarrow{T_1}$ croisse.

Conséquence : comme $\tan\varphi_1 = \dfrac{T_1}{P_1}$ → $\tan\varphi_1 > \tan\varphi_0$

$\hat{\varphi}_1 > \hat{\varphi}_0$ entraine $\hat{p}_1 > \hat{p}_0$

Un nouvel équilibre de vol se crée avec une nouvelle trajectoire **Traj1** et un angle d'incidence $\hat{\imath}_1$ qui a augmenté.

18- Que pensez-vous de l'affirmation : « se lester diminue les risques de fermeture » ?

Sommaire des éléments de réponse :

a) Conséquences sur le pilotage,
b) La vitesse préserve des fermetures faibles,
c) Inconvénient si fermeture plus forte.

a- Conséquences sur le pilotage :

On pourrait réduire le risque de fermeture en adoptant un régime de vol lent, c'est-à-dire voler à incidence plus forte, mais ce n'est pas recommandé de voler aux basses vitesses, en atmosphère agitée.

- Les modèles de voiles actuelles ont un rendement meilleur avec une charge alaire élevée.
- PTV proche du maximum préconisé pour l'aile : vitesses sur trajectoires : plus élevées.
  Les tests de labellisation sont effectués aux PTV mini et maxi de la fourchette indiquée par le constructeur. La conséquence du choix d'une charge alaire est toujours un compromis.
- Une charge alaire élevée présente un avantage en transition mais constitue un handicap en ascendance.
- La Charge Alaire plus élevée rend l'aile + réactive, + communicative.

b- La vitesse préserve des fermetures faibles :

Quand la charge alaire augmente, la polaire des vitesses subit un accroissement homothétique.
Pour la même incidence, les vitesses croissent ainsi que la pression de l'air dans la voile. La structure devient plus solide (aile plus tendue) et moins sensible aux fermetures, contrairement à une voile moins chargée, plus molle et donc plus sensible aux fermetures.

c- Inconvénient sur fermeture plus forte :

La fréquence des fermetures est plus faible, mais quand celles-ci se produisent, elles sont plus massives et surtout plus vives. La réouverture sera aussi plus vive*.

*NB : le pilote moins sollicité pour gérer ce risque pourrait plus facilement se laisser surprendre par ces fermetures fortes.

Bonus 18 : les choix raisonnés de voile en fonction du type de vol

Questions portant sur MÉTÉOROLOGIE / AÉROLOGIE

1- Qu'est-ce qu'une confluence et quelles peuvent en être les origines ?

Sommaire des éléments de réponse :

a) Définition de la confluence,
b) Principe de la confluence,
c) Où rencontre- t-on des confluences ?
d) Brises de vallées,
e) Brise thermique et vent météo,
f) Brise de mer et vent météo,
g) Brise de mer et brise thermique.

a- Définition de la confluence :

Une confluence est la rencontre deux masses d'air de caractéristiques différentes (température, humidité, sens et vitesse de déplacement), qui peuvent être du vent, des brises.

La confluence génère une ascendance sur une largeur de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres, parfois matérialisée par des cumulus.

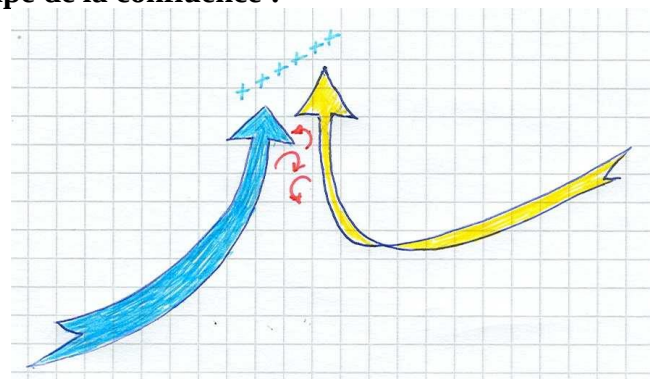
La confluence forme un mini front où l'ascendance, du côté de la masse d'air relativement plus sec, est exploitable sur le flanc des cumulus qui s'y forment.

Des cisaillements peuvent être présents dans la zone d'affrontement. Cette confluence, parfois exploitable en vol libre, est souvent turbulente.

Lorsqu'il s'agit d'une confluence entre brise de mer et vent météo, la confluence peut pénétrer jusqu'à plusieurs dizaines de kilomètres à l'intérieur des terres, (l'air + humide condense moins haut, les premiers nuages qui apparaissent se forment au-dessus du courant marin).

Les deux masses d'air étant différentes, on obtient des plafonds de hauteurs différentes.
La masse d'air relativement plus humide engendre un plafond d'altitude inférieure.

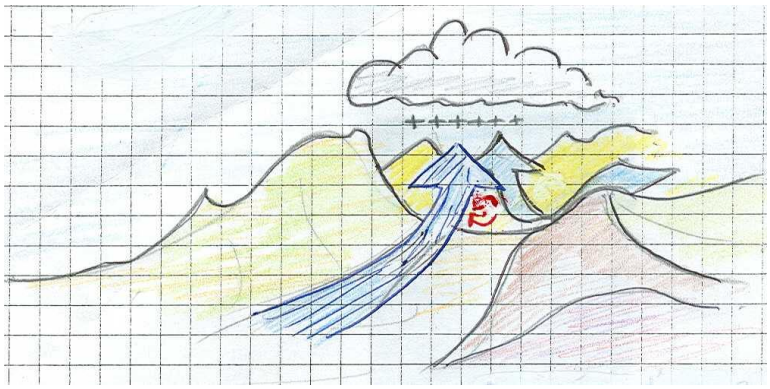
b- Principe de la confluence :



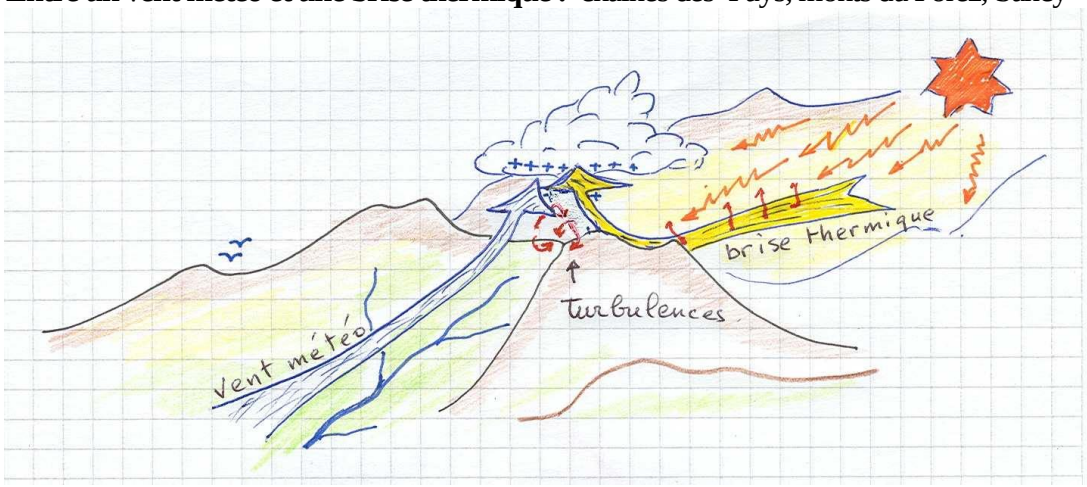
c- Où rencontre- t-on des confluences ?

- Sur une crête,
- Au croisement de deux ou plusieurs vallées,
- A la croisée d'un col,
- En bordure de côte, entre brise de mer et vent météo,
- A proximité des côtes, entre brise de mer et brise de vallée.

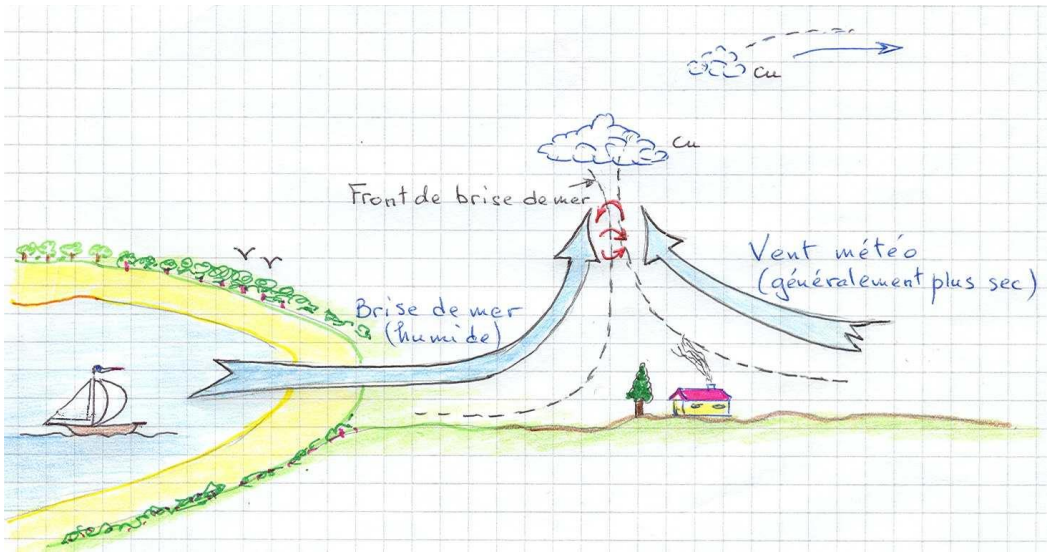
d- Brises de vallées : Entre deux brises de vallées au-dessus d'un col ou d'une crête



e- Entre un vent météo et une brise thermique : chaînes des Puys, monts du Forez, Sancy



f- Entre une brise de mer et un vent météo : Lachens (site du Haut Var) : l'air plus humide condense moins haut, les cumulus apparaissent, d'abord sur le courant marin



g- Entre brise de mer et brise thermique :
à Font-Romeu, à 100 km des côtes, en Cerdagne on exploite la confluence de fin d'après-midi.

2- En montagne, vous observez des altocumulus en formation, quelle est votre analyse ? Quels éléments vous permettent d'anticiper l'évolution ?

Sommaire des éléments de réponse :

a) Définition des Altocumulus,
b) Evolution possible,
c) Cas particuliers.

a- Définition des Altocumulus :

L'Altocumulus appartient à l'étage moyen. Sa base est rarement inférieure à 3 000 m et son sommet ne dépasse pas 5 000 m.

En général, c'est un nuage constitué d'un nappage de cumulus, soudés ou non, à faible développements verticaux.

L'Altocumulus, comme tous les nuages, prend la forme du courant qui l'engendre.

b- Evolution :

Les Altocumulus sont révélateurs de l'arrivée d'un Front chaud et donc d'un changement de temps. Selon la rapidité de l'évolution, on peut s'attendre à de la pluie dans les heures qui suivent, ou le lendemain.

c- Cas particuliers :

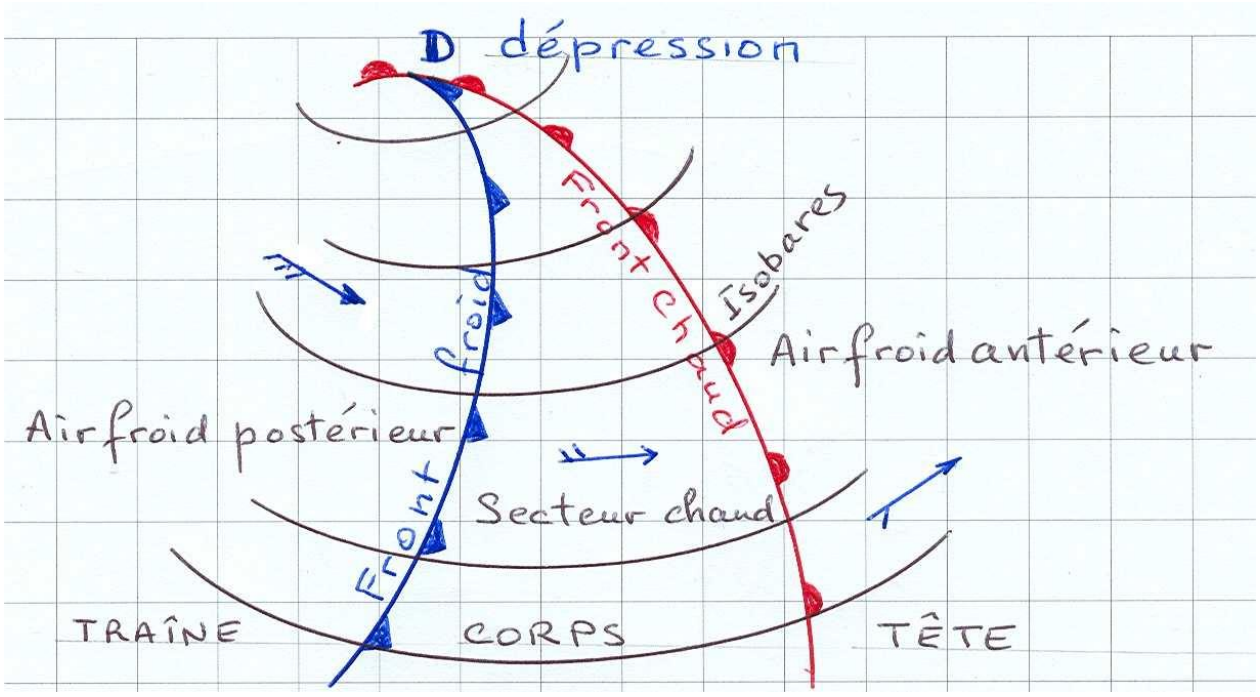
L'Altocumulus-Castellanus, en forme de tour, est un signe de forte instabilité à l'étage moyen. Lorsqu'ils apparaissent en matinée, ils peuvent annoncer la formation de Cumulonimbus dans la journée.

3- Décrivez les caractéristiques spécifiques d'un Front froid (schéma et explications) et le type de masse d'air rencontrée généralement les 2 à 3 jours suivants.

Sommaire des éléments de la réponse :

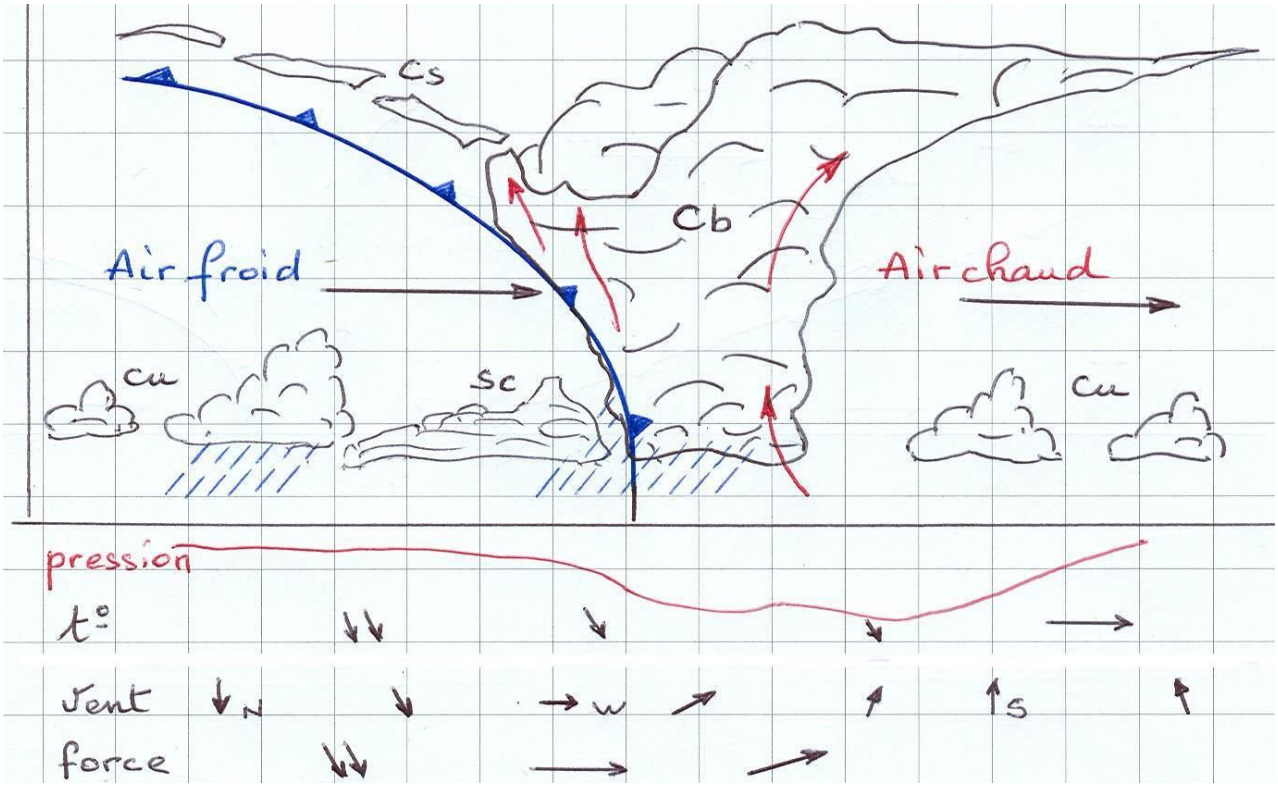
a) Les Fronts,
b) Le Front froid et ses nuages,
c) Ciel de traîne.

a- Les fronts :



Le front est une limite entre deux masses d'air de nature différente. Le Front froid est la limite entre l'air chaud et l'air froid postérieur. Le Front froid est abrupt, avance vite et peut rattraper le Front chaud qui le précède, il y a alors occlusion. Le Front froid pousse devant lui l'air chaud en le soulevant vivement.

b- Le Front froid et ses nuages



- L'air froid, plus lourd et avançant plus vite, repousse l'air chaud, plus léger en altitude. En s'élevant, cet air se refroidit, condense, générant des Cumulus-Congestus ou des Cumulonimbus, qui à leur tour, provoquent des averses orageuses avec rafales de vent, grêle….

- Aux prémices du Front froid, la pression atmosphérique amorce une baisse, le vent s'oriente Sud,
- A l'arrivée du Front froid, La pression atmosphérique baisse notablement, la température baisse, le vent forcit, s'orientant SSO,
- Sous le Front froid, La pression atmosphérique remonte, la température continue à descendre, le vent s'oriente SO,
- Derrière le Front froid, le ciel de traîne : la pression atmosphérique a retrouvé un niveau haut, la température a poursuivi sa baisse, le vent s'orientant O puis NO, décroit puis tombe au plus bas.

c- Ciel de Traîne : L'arrière du Front froid donne un ciel de traîne.
Après les pluies, le sol humide et l'arrivée du soleil entraînent de la convection et de la condensation : des cumulus se forment. Dans un premier temps les cumulus sont nombreux et importants, puis progressivement la masse d'air s'assèche, le ciel se dégage. Si la masse d'air est très instable et humide, la traîne est dite active et peut générer des averses.

Pour le vol : le premier jour de traîne est souvent accompagné d'un vent du Nord-Ouest trop fort, les conditions sont difficilement volables. Le vent et l'instabilité deviennent ensuite exploitables pour le vol libre et donnent souvent les meilleures conditions pour le cross.

4- Par un schéma, décrivez le passage d'une perturbation et citez les phénomènes associés (nuages, vents, précipitations …).

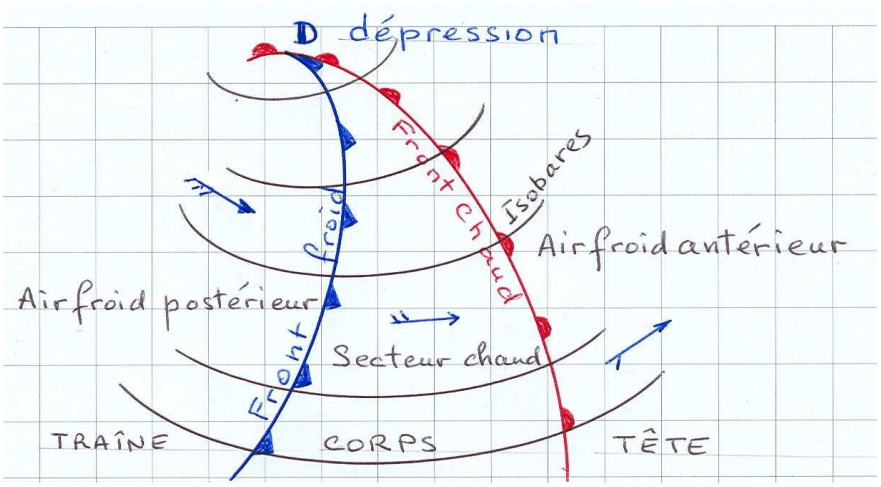
Sommaire des éléments de réponse :

a) Une perturbation météo,
b) Description d'une perturbation,
c) Le système nuageux,
d) Le Front chaud,
e) Le Front froid,
f) La traîne, derrière le Front Froid.

a- Une perturbation météo :

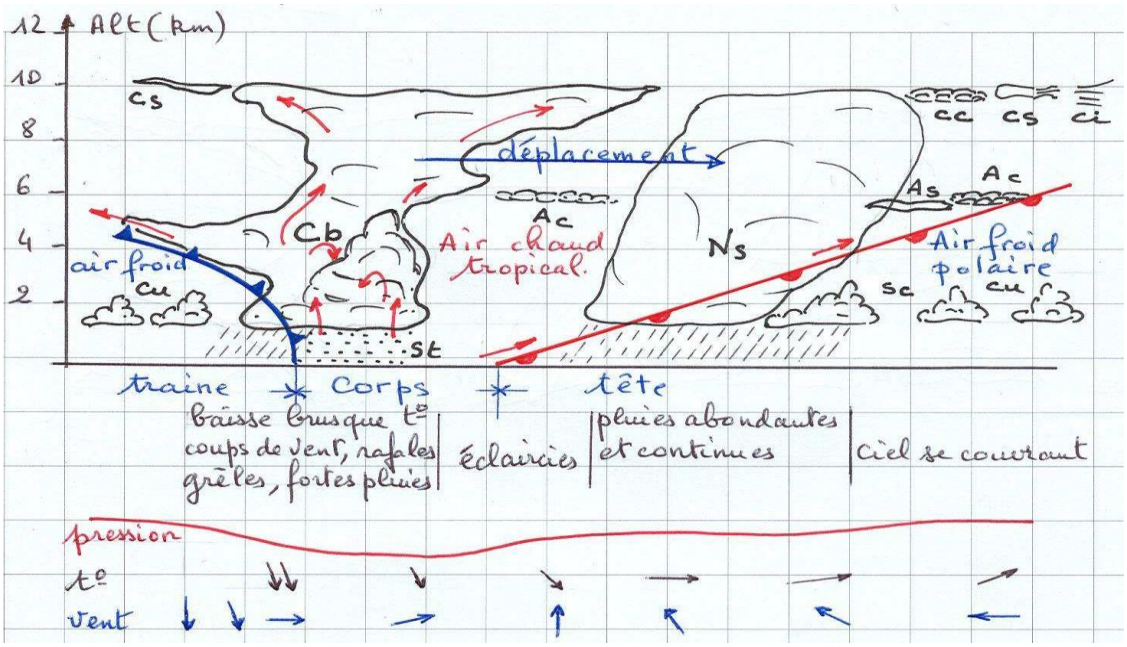
Une perturbation est un conflit de masses d'air de caractéristiques différentes (température, pression, humidité, vitesse et direction de déplacement).

b- Description d'une perturbation :



Poussé par l'air froid et lourd, le Front froid rapide suit de près un Front chaud plus lent. Le Front froid apporte une masse d'air postérieure plus froide, alors que le Front chaud apporte un air postérieur plus chaud.

c- Le système nuageux :



Le Front froid se déplace plus vite que le Front chaud : s'il le rattrape, généralement dans le cœur de la dépression, ce sera l'occlusion.

d- Le Front chaud :

Tête de la perturbation, le Front chaud avance doucement et l'air chaud glisse au-dessus de l'air froid, plus dense, (pente d'environ 3‰). L'air chargé d'humidité, poussé sur le Front chaud, monte et condense :

- Apparition successive des nuages : Cirrus (Ci), Cirrostratus(Cs), Cirrocumulus(Cc), Altostratus(As), Altocumulus(Ac), puis Nimbostratus (Ns) qui donnent des pluies fines et abondantes.
- Vent : SE à SO.
- La pression atmosphérique :
    - devant le front, la pression baisse,
    - sur le front, la pression reste sensiblement constante,
    - après le front, la pression baisse encore un peu.

Le vol libre au-devant d'un Front chaud est possible, mais les conditions thermiques en place ne seront pas optimum à cause de la nébulosité : voile de Cirrus et de Cirro-cumulus.

- Au passage du front : Les Nimbostratus provoquent des pluies fines et abondantes.
- Entre les deux fronts : Si le corps de la perturbation est assez long, les nuages peuvent éventuellement se dissiper, laissant de belles éclaircies.

e- Le Front froid :

Le Front froid repousse l'air chaud vers le haut, d'autant plus violemment que les différences de températures sont fortes. Au niveau du Front froid, si l'instabilité est forte, il y a des Cumulonimbus (Cb) avec des vents forts, et des pluies importantes, grêle, foudre.

- Vents SO à NO.
- Pression atmosphérique :
    - devant le front, la pression reste basse et sensiblement constante,
    - sur le front, la pression augmente fortement,
    - après le front, la pression augmente encore légèrement.

<u>Remarque</u> : Une attention particulière doit être faite au front occlus, car les Cumulonimbus sont noyés dans la masse du Front chaud et cachés à l'observateur,

« un Nimbostratus peut cacher un Cumulonimbus ! »

f- La traine derrière le Front froid :

Vient ensuite la traîne (côté air froid postérieur), les Cumulonimbus sont passés avec le front, alors apparaissent des Cumulus. La traîne peut être accompagnée dans les premiers jours, d'un vent fort NO ou N et les conditions peuvent être difficilement volables. Le vent se calme ensuite puis est souvent favorable au vol libre, particulièrement en saison d'été.

5- Quels sont les nuages associés à une masse d'air instable ? De quoi sont-ils annonciateurs et quelle est leur évolution possible ?

Sommaire des éléments de réponse :

a) Définition de l'air instable,
b) Nuages associés à l'air instable,
c) Les nuages annonciateurs et leur évolution possible,
d) Dangers du Cumulonimbus et Congestus.

a- Définition de l'air instable :

Une masse d'air est instable tant que sa diminution de température en fonction de l'altitude (gradient de température) permet à une particule d'air, réchauffée à sa base, de continuer à monter.

b- Nuages associés à l'air instable :

Les nuages associés à un air instable sont les nuages à développement vertical de type cumuliforme.
On trouve les Cumulus, Altocumulus-Castellanus, Cumulus-Congestus et les Cumulonimbus.

c- Les nuages annonciateurs :

Les Altocumulus-Castellanus, nuages de l'étage moyen, en forme de tour sont révélateurs d'une instabilité à l'étage moyen.

Les nuages à développement plus important tels que, Cumulus-Congestus et Cumulonimbus indiquent que la couche d'inversion a craqué, et que la limite du développement vertical, peut monter jusqu'à la tropopause. Ce sont des nuages dangereux pour le vol libre, même à une distance de quelques dizaines de kilomètres.

Le Cumulus-Congestus est source d'ascendances trop violentes, générant de par son activité interne, une récupération des masses d'air à sa base augmentant les brises de vallées et les risques d'aspirations.

Et parfois si l'instabilité est plus forte encore :
le Congestus (Cg) évolue en Cumulonimbus(Cb) accompagné d'orages et de vents violents.

d- Dangers du Cumulonimbus et Congestus :

Le Cumulonimbus et le Congestus peuvent perturber l'air jusqu'à plus de 40 km, ce sont les nuages les plus dangereux.

6- Décrivez à l'aide de schémas commentés, le phénomène d'effet de Foehn (causes et conséquences).

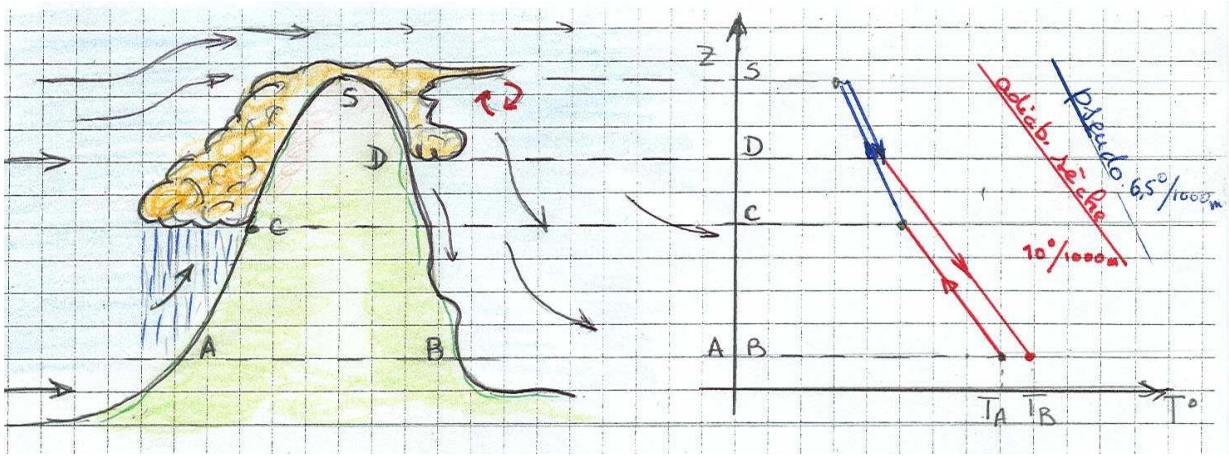
Sommaire des éléments de réponse :

a) Le Foehn,
b) L'effet de Foehn,
c) Le petit effet de Foehn,
d) Système ondulatoire accompagnant le Foehn,
e) La couche inférieure sous-ondulatoire.

a- Le Foehn : Le Foehn est un phénomène météorologique qui se produit sous le vent d'une crête ou d'une chaine montagneuse.
Lorsque le vent souffle perpendiculairement à une ligne de crête, il doit s'élever pour franchir l'obstacle. En prenant de l'altitude, l'air se refroidit par détente adiabatique (sans échange de chaleur avec l'extérieur). De l'autre côté de l'obstacle l'air redescend en se réchauffant par compression adiabatique. Il se réchauffe d'autant plus s'il a perdu de l'humidité en amont du relief.

Quand il y a Foehn, il y a toujours formation d'un nuage au vent de la crête.

b- L'effet de Foehn :

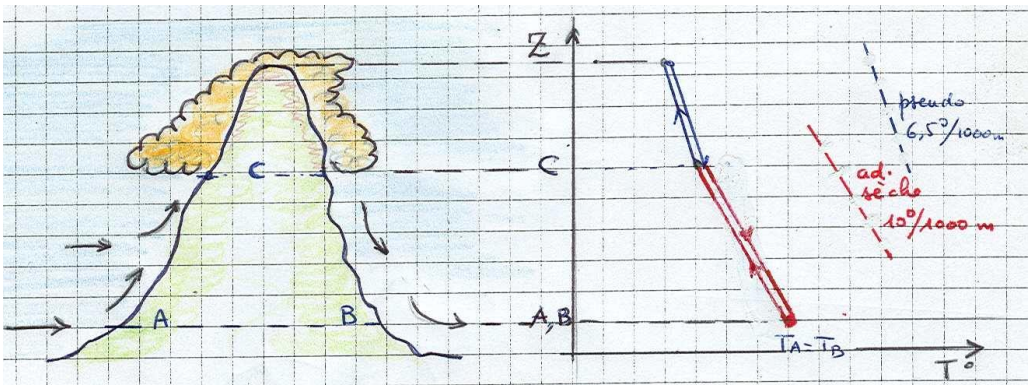


Lors de sa montée, l'air chargé de vapeur d'eau se refroidit selon l'adiabatique sèche (environ 1 °C/100 m) puis arrive la condensation (C) et la formation d'un nuage. L'air continue sa montée et sa détente selon une pseudo-adiabatique (perte de 0,65 °C/100 m).
L'air se sature et condense, formant un nuage orographique, et continue sa montée mais perd au fur et à mesure de son humidité sous forme de précipitation.

Au sommet S, la masse d'air venant du bas s'est appauvrie en humidité et a une température qui a décru selon, d'abord l'adiabatique sèche (1 °C/100 m), puis moins rapidement selon la pseudo- adiabatique (0,65 °C/100 m) ; l'air redescend de l'autre côté de la montagne.

Arrivée **sous le vent**, et tant que la masse d'air reste en condensation, elle va descendre selon la pseudo-adiabatique, avec persistance d'un nuage de ce côté. Cette masse d'air s'étant asséchée par précipitation côté **au vent**, et la température ré-augmentant en descendant coté **sous le vent**, la condensation cessera à une altitude (D) plus élevée que côté **au vent**. S'ensuit la compression adiabatique sèche (1 °C/100 m).
À une altitude (B) identique, la température côté **sous le vent** du relief est plus élevée que côté **au vent** (A).

c- Le petit effet de Foehn : C'est le cas où en s'élevant, au vent de la montagne, la masse d'air, qui se refroidit, selon le gradient de l'adiabatique sèche (1 °C/100 m), atteint son point de condensation à l'altitude **C**, forme un nuage et poursuit sa montée en se refroidissant selon l'adiabatique humide (0,65 °C/100 m), mais … ne provoque pas de pluie.



La masse d'air et son nuage passent sous le vent de la montagne et descend la pente selon le même gradient humide, au niveau C la masse d'air a retrouvé la même température.

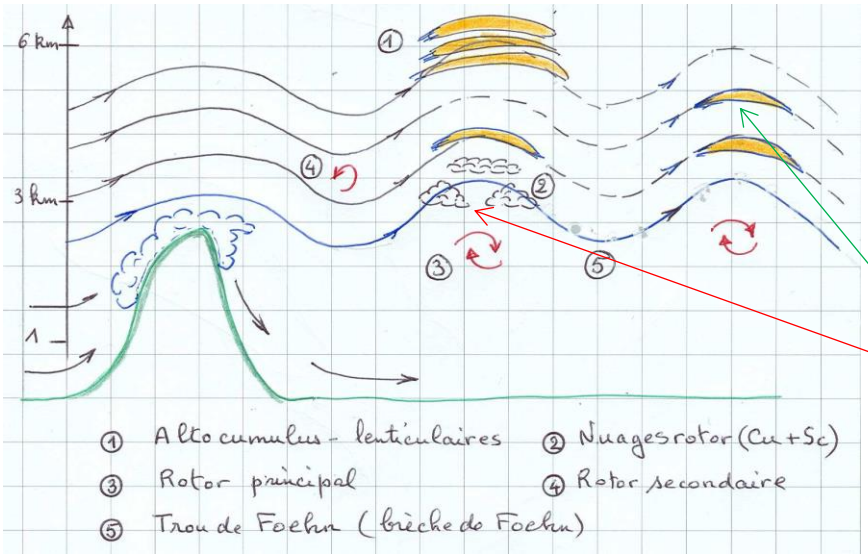
La condensation cesse, on passe à l'état de vaporisation, le nuage se dissipe, l'air poursuit sa descente avec une élévation de température, selon l'adiabatique sèche (1 °C / 100 m).

De part et d'autre de la montagne, les températures qui ont suivi les adiabatiques sont les mêmes aux mêmes niveaux.

<u>Conséquences pour le vol libre **sous le vent**</u>

- La masse d'air est turbulente.
- Présence d'un trou de Foehn ou 'brèche de Foehn' (trouée de bleu dans la couverture nuageuse) et de lenticulaires.

d- Système ondulatoire accompagnant le Foehn : Les ondes se forment quand le vent fort est perpendiculaire au relief, que l'air est stable et que le vent se renforce en altitude.



Longueur d'onde 3 à 15 km

ascendances : max 10 m/s

ondulatoire : laminaire

sous-ondulatoire : turbulent.

On repère la couche ondulatoire à écoulement laminaire, par les lenticulaires lisses et réguliers ; en dessous de ces nuages, c'est la couche sous-ondulatoire, turbulente (rotors Cu + Sc). En règle générale, il ne faut pas voler sous le vent du massif qui génère le Foehn sur une distance au-delà de plusieurs dizaines de kilomètres.

e- La couche inférieure sous-ondulatoire :

Dans la couche inférieure sous-ondulatoire apparaissent des rotors à axe horizontal (cumulus à l'aspect déchiqueté) semblant immobiles, fournissant de fortes ascendances dans leur partie montante, parfois coiffés de nuages orographiques lenticulaires.

Le Foehn est particulièrement piégeux : peu de vent au déco et à l'atterro, … lessiveuse en vol.

Bonus Q6 : Axes rotors et rouleaux. (chapitre Suppléments)

7- Décrivez les différents étages de la troposphère et les nuages associés.

Sommaire des éléments de réponse :

a) La troposphère, ses limites,
b) Les limites standards de température,
c) Classes de nuages des étages de la troposphère,
d) Familles de nuages,
e) Les nuages par étages,
f) Les nuages particuliers Cb Ns, Lenticulaires.

a- La troposphère, ses limites :

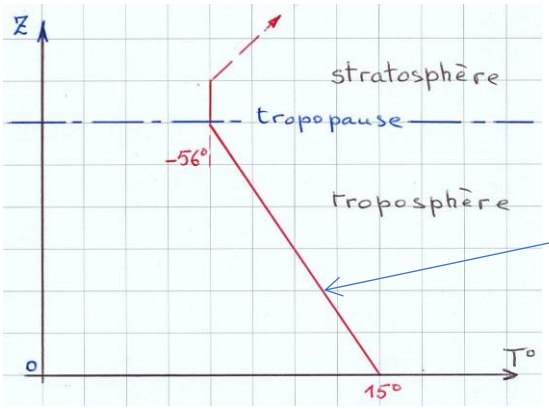
La troposphère est la première couche de l'atmosphère et s'étend de la mer niveau 0 à une hauteur moyenne de 12000 m, cette hauteur varie (8 à 18 km) avec la saison et la latitude. Elle est plus épaisse à l'équateur qu'aux pôles.

La tropopause est sa limite avec la stratosphère, la température y est de -56 °C

La troposphère contient 80% de la masse d'air de l'atmosphère et la majorité de la vapeur d'eau.

La stratosphère qui la couvre voit d'abord sa température se maintenir puis croitre, constituant ainsi un couvercle à tout développement nuageux de la troposphère.

b- Les limites standards de température :



Atmosphère standard (OACI)

c- Classes de nuages des étages de la troposphère :

Etage	Altitude	Préfixe	Stables : Stratiformes		Instables : Cumuliformes	
Supérieur			Cirrus	Nimbostratus	Cirro-cumulus	Cumulonimbus
	6000	Cirro	Cirro-stratus			
Moyen					Alto-cumulus*	
	3000 m	Alto	Alto-stratus			
Inférieur						
	0		Stratus		Cumulus	

*Lorsque les altocumulus se soudent, l'insolation disparaît et fait baisser la température au sol de plusieurs degrés. La convection dans la basse atmosphère est alors annihilée.

d- Familles de nuages :

Les nuages <u>cumuliformes</u> se développant dans des masses d'<u>air instable</u> par convection (déplacement vertical), plats sur la base et cotonneux ou chou-fleur sur la partie supérieure.

Les nuages <u>stratiformes</u> se développant dans les masses d'<u>air stable</u>, par refroidissement de l'air, sont compacts et étendus. Les stratiformes, nuages d'advection (déplacement horizontal), proviennent généralement plutôt de l'arrivée d'une masse d'air plus humide glissant sur une masse d'air plus froide.

e- Les nuages par étages :

Les nuages de l'étage supérieur (de 6000 m à 12000 m, nuages cristaux de glace)

- Cirrus (Ci) : forme de plumes, de filaments très blancs. Ils sont souvent le signe avant-coureur de l'évolution du temps.
- Cirro-cumulus (Cc) : petits nuages blancs pommelés et groupés.
- Cirro-stratus (Cs) : voile nuageux élevé et peu épais, à structure souvent filamenteuse. Ce sont eux qui provoquent les halos.

Les nuages de l'étage moyen (de 3000 m à 6000 m, nuages mixtes)

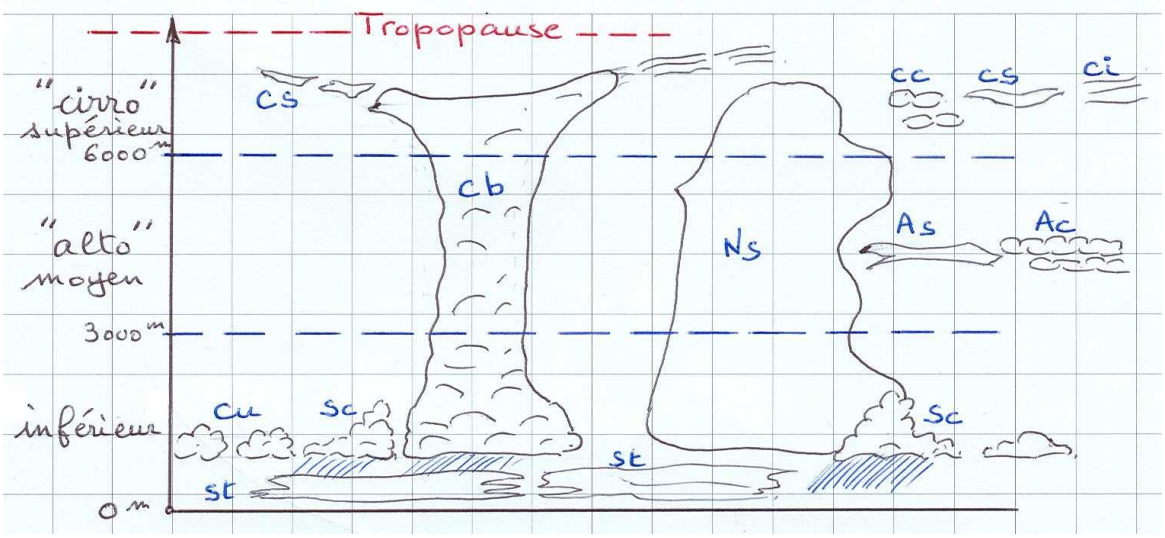
- Alto-cumulus (Ac) : souvent appelé mouton, de couleur plus ou moins grise aux contours nets, ne donne pas de pluie.
- Alto-stratus (As) : couche grise homogène assez épaisse qui peut donner quelques gouttes.
- Alto-castellanus : cumuliforme avec des excroissances verticales en forme de tour.
- Nimbostratus (Ns) : couche gris foncé et épaisse, nuage de pluie interminable.

Les nuages de l'étage inférieur (de 0 à 3000 m, nuages d'eau)

- Cumulus (Cu) : nuage dit de beau temps, bourgeonnant, isolé, d'un blanc éblouissant dans sa partie ensoleillée. Peut se développer vers la couche moyenne (Congestus Cg) et donner un grain.
- Stratus (St) : couche grise très uniforme, appelé brouillard lorsqu'il touche le sol.
- Strato-cumulus (Sc) : contour typique du cumulus mais aplati comme un stratus.

f- Les nuages particuliers Cb, Ns, Lenticulaires :

- Le Cumulonimbus (Cb) : très développé verticalement sur les 3 étages, nuage d'orage violent redouté de tous les pilotes.
- Le Nimbostratus (Ns), nuage de pluie, qui se génère sur l'étage moyen, peut occuper en se développant, les trois étages.
- Les nuages lenticulaires sont des nuages stationnaires généralement d'origine orographique et ondulatoires (classés comme AltoCumulus-lenticulaires).



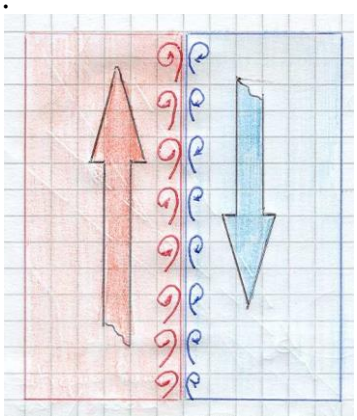
8- Citez et décrivez les différentes situations où l'on peut rencontrer des cisaillements.

Sommaire des éléments de réponse :

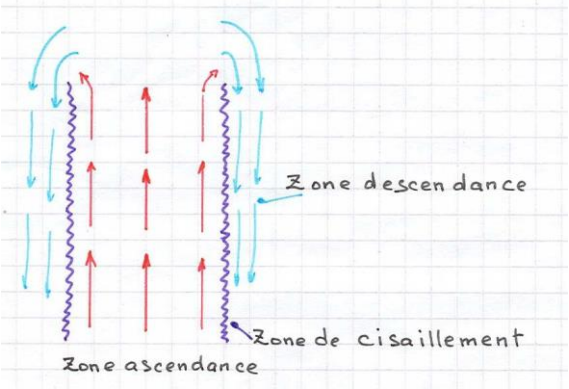
a) Le cisaillement : principe,
b) Le cisaillement Vertical,
c) Le cisaillement Horizontal,
d) Cisaillement à la couche d'Inversion,
e) Les Convergences.

Le cisaillement : couche limite turbulente entre deux masses d'air ayant des vitesses et directions de déplacement très différentes. Le cisaillement peut être horizontal ou vertical.

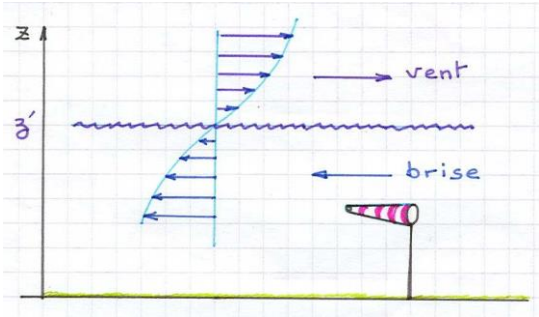
a- Principe :



b- Le cisaillement Vertical : sur l'enveloppe d'un thermique.



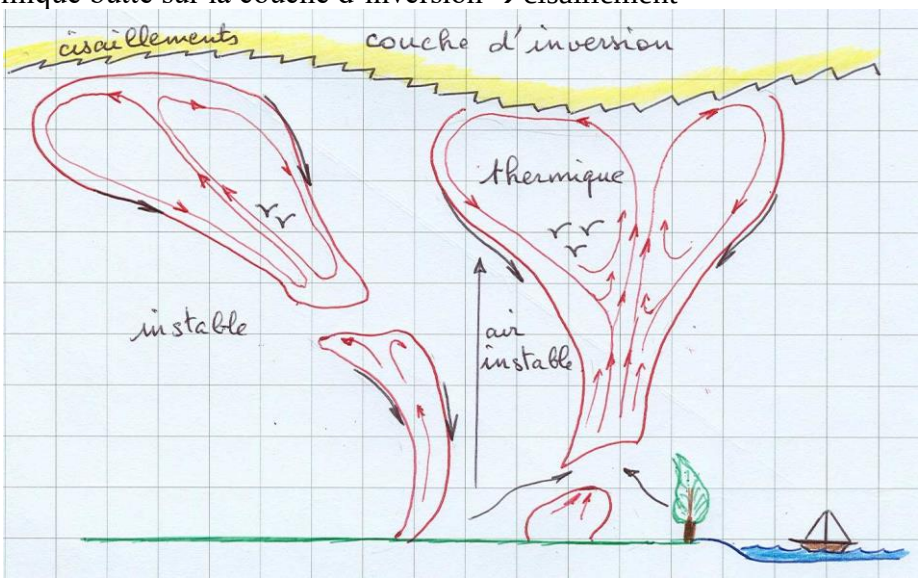
c- Le cisaillement Horizontal : croisement brise et vent d'altitude ou entre deux couches d'altitude se déplaçant dans des directions différentes.



La force du cisaillement dépendra du gradient de vent au croisement. Dans ce schéma, le cisaillement est à l'altitude z' .

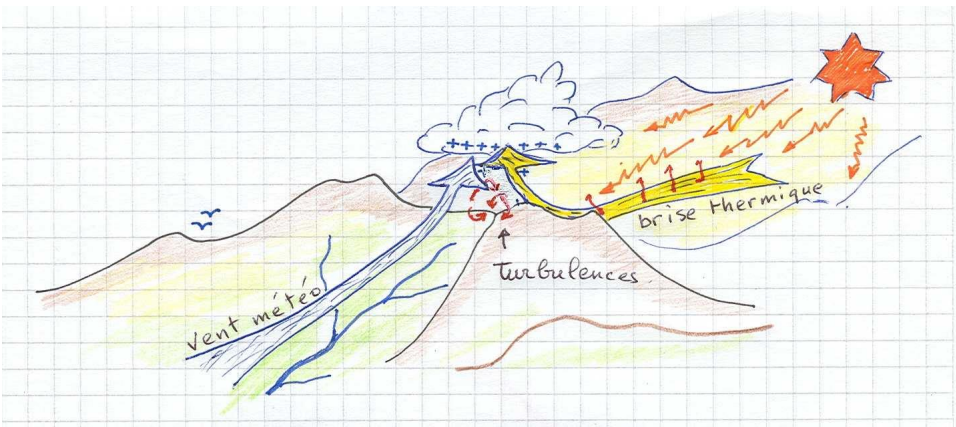
d- Cisaillement à la couche d'inversion :

Le thermique butte sur la couche d'inversion →cisaillement



e- Les Convergences : fort risque de cisaillement dans les zones d'affrontement :

- Entre 2 brises de vallées ou vents météo à la croisée d'un col.
- Un vent ascendant faisant office de relief aérologique sur lequel s'appuie une brise de vallée ou un vent météo.



9- Expliquez à l'aide de schémas, les raisons de la mise en place des différents régimes de brises. Quelles peuvent être leur évolution au cours de la journée ?

Sommaire des éléments de réponse :

a) Facteur favorisant les phénomènes de brise,
b) Brise de mer, de lac, de terre,
c) La brise de mer, le jour,
d) La brise de terre, la nuit,
e) Brise de pente,
f) Brise de vallée,
g) Brise de vallée en cirque.

a) Facteur favorisant les phénomènes de brise :

La brise est un phénomène d'origine convective et liée aux différences de températures.

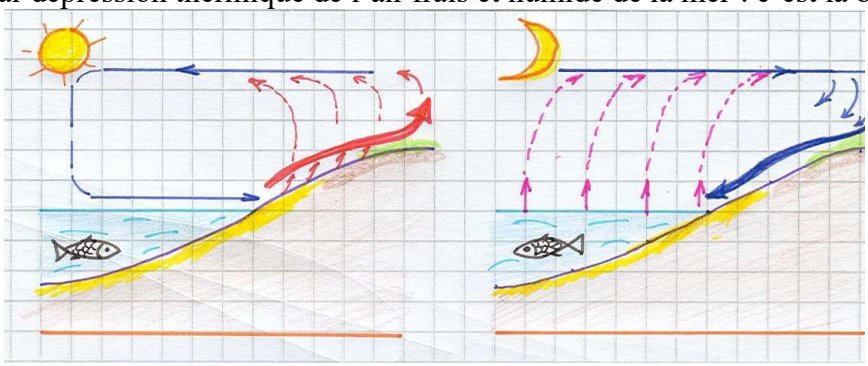
b) Brise de mer, de lac, de terre :

L'eau a une plus grande inertie thermique que la terre.
En été, le jour c'est le continent qui chauffera plus vite, la nuit c'est le continent qui refroidira plus vite.
.

c) La brise de mer, le jour :

Nous avons deux surfaces qualitativement différentes : sous le soleil, le continent, plus chaud, appelle par dépression thermique de l'air frais et humide de la mer : c'est la brise de mer.

brise de mer

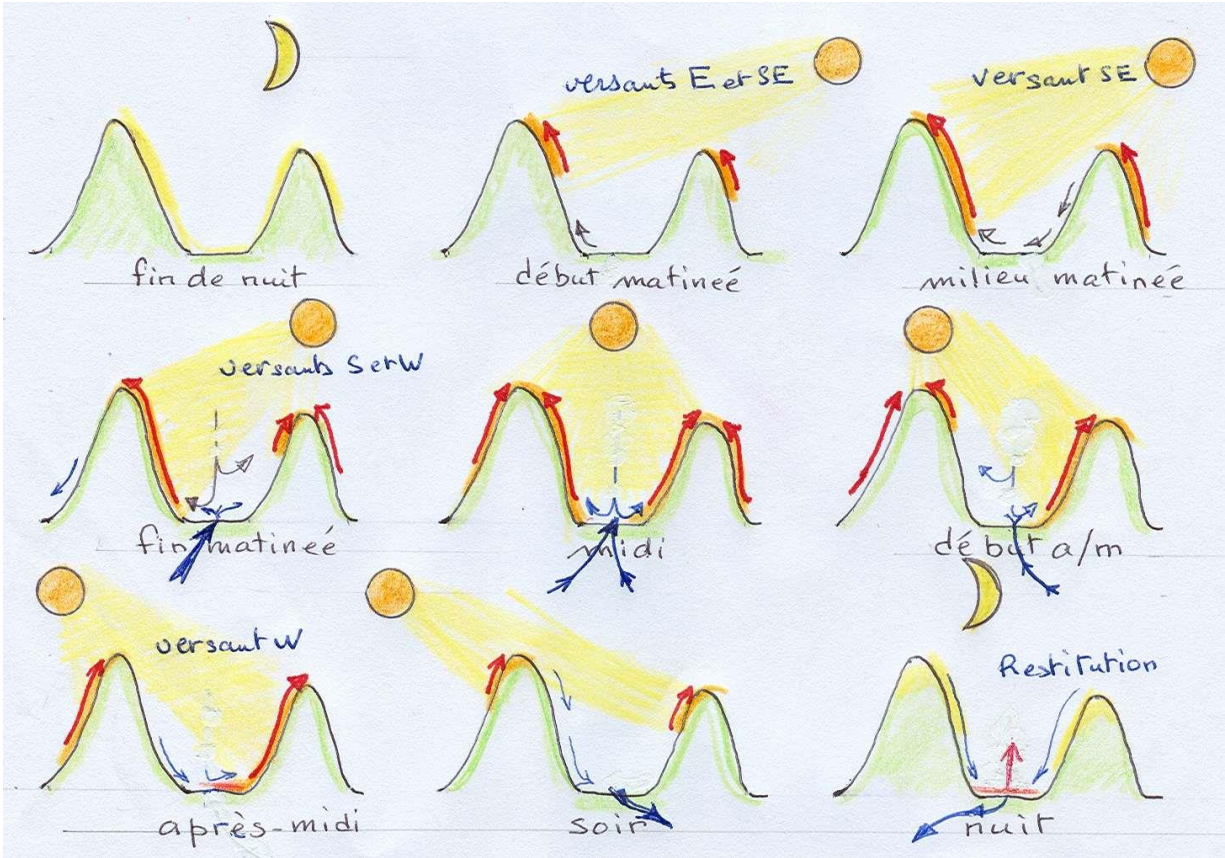


brise de terre

d) La brise de terre, la nuit :

La nuit, par rayonnement, le sol se refroidit plus vite que la mer, par conduction, l'air en contact avec le sol, se refroidit et coule vers la mer où l'air est plus chaud, donc moins dense : c'est la brise de terre.

e) Brise de pente :



Sous l'action du rayonnement solaire, le sol s'échauffe et communique par conduction cette chaleur à l'air qui se trouve de ce côté du relief. L'air chaud s'élève en un courant ascendant, qui suit la pente de la montagne : c'est la brise de pente montante ou vent anabatique. Cet air ascendant est remplacé par de l'air libre, plus froid, issu du milieu de la vallée ou d'un versant non exposé au soleil. Ces brises peuvent atteindre 15 à 30 km/h sur une épaisseur de 100 à 200 m.

f) Brise de vallée :

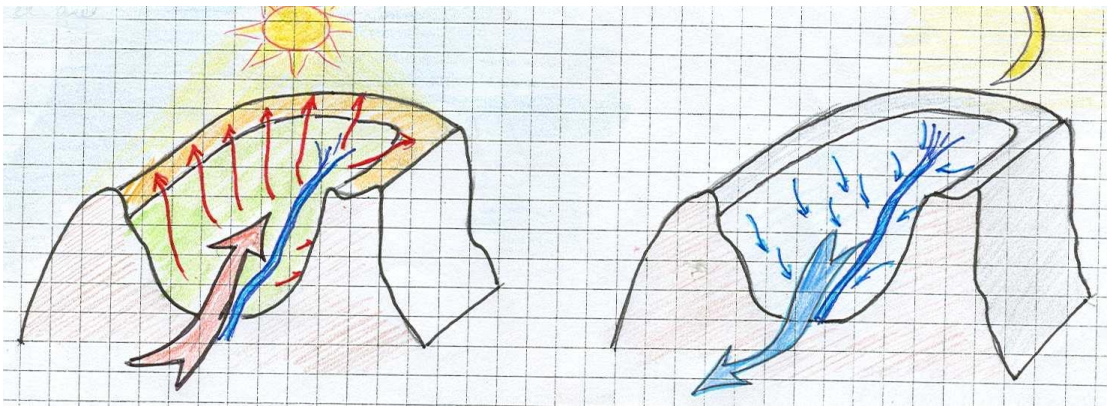
Le phénomène de brise de vallée est lié à l'accumulation de tous les phénomènes des brises de pentes à l'échelle du massif. La brise de vallée est montante le jour et descendante la nuit.

Le vent météo peut soit venir renforcer cette brise de vallée soit la contrarier.

Remarque : les brises de vallées interagissent également entre elles. Il existe même des petites vallées dont la configuration fait que leur brise, influencée par les brises voisines, est inversée à cause d'une possible « aspiration » de voisinage dont le flux d'air est plus important.

La brise de vallée suit le même rythme que la brise de pente. Elle atteint 15 à 45 km/h sur une épaisseur de quelques dizaines à plusieurs centaines de mètres. L'été, dans les grandes vallées, sa puissance peut rendre, parfois, le vol impossible.

g) Brise de vallée en cirque :



10- Décrivez une masse d'air favorable à la formation d'un cumulonimbus et les évolutions aérologiques associées

Sommaire des éléments de réponse

a) Instabilité de l'air,
b) Le Cumulonimbus,
c) Tracé de l'émagramme,
d) Base de formation du nuage,
e) Développement vertical,
f) Evolutions aérologiques associées.

Les nuages cumuliformes se forment dans un air instable. Le Cumulonimbus se forme si l'humidité de cette masse d'air est suffisante et si elle ne présente pas de couche d'inversion bloquant la convection.

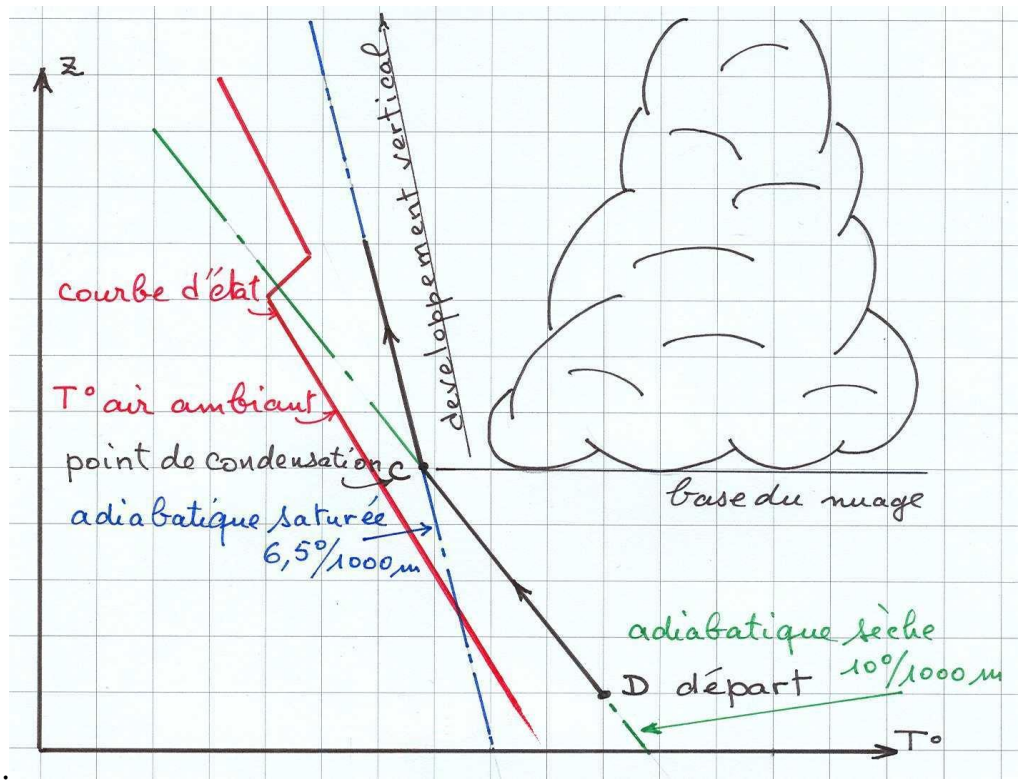
a- Instabilité de l'air :

Une masse d'air est instable tant que sa diminution de température en fonction de l'altitude (gradient de température) permet à une particule d'air, réchauffée à sa base, de continuer à s'élever.

b- Le Cumulonimbus :

Il peut avoir pour départ, la dégénérescence du Congestus. Il commence généralement à se former dans l'étage moyen pour progresser et occuper les 3 étages.

c- Tracé de l'émagramme :



Sur l'émagramme, nous avons à gauche, la courbe d'état fournie par un ballon sonde. Elle représente la température de l'air ambiant, à différentes altitudes.

d- Base de formation du nuage :

La particule d'air, part du niveau D avec une température supérieure à l'air ambiant instable. La particule monte, se détend sans condensation selon l'adiabatique sèche, elle se refroidit à raison de 1°C/100 m.

Arrivée en C, qu'on suppose être son point de condensation, la vapeur d'eau contenue dans la particule, commence sa condensation et forme des gouttelettes. La montée se poursuit maintenant selon l'adiabatique saturée (pseudo adiabatique) : la température de la particule ne baisse désormais plus que 0,65°/100 m mais reste toujours plus chaude que l'air ambiant.

e- Développement vertical :

Tant que la courbe d'état indique une température inférieure à celle de la particule, rien n'arrête l'ascension.
Le processus de développement restera le même si nous devions raisonner à partir d'un Congestus préexistant qui retrouve de la ressource pour poursuivre son développement et dégénérer en Cumulonimbus.
Comme le Cumulonimbus, le Congestus, est un nuage extrêmement dangereux pour le vol.

f- Evolutions aérologiques associées :

Des pluies puissantes, de la grêle, de la foudre, et du vent violent sont à redouter. Il y a souvent changement de direction du vent, avant les rafales. Des courants ascendants internes de plusieurs dizaines de m/s, le Cumulonimbus peut aspirer des ailes jusqu'à des altitudes très élevées. Les rafales d'orages peuvent se faire ressentir à plus de 20 km du nuage.
Dès que la présence et la proximité (< 20 km) du Cumulonimbus est connue, on s'abstient de décoller ou, si on est en vol, il faut immédiatement se poser.

11- Décrivez, à l'aide d'un schéma, les raisons de la formation d'un cumulus humilis.

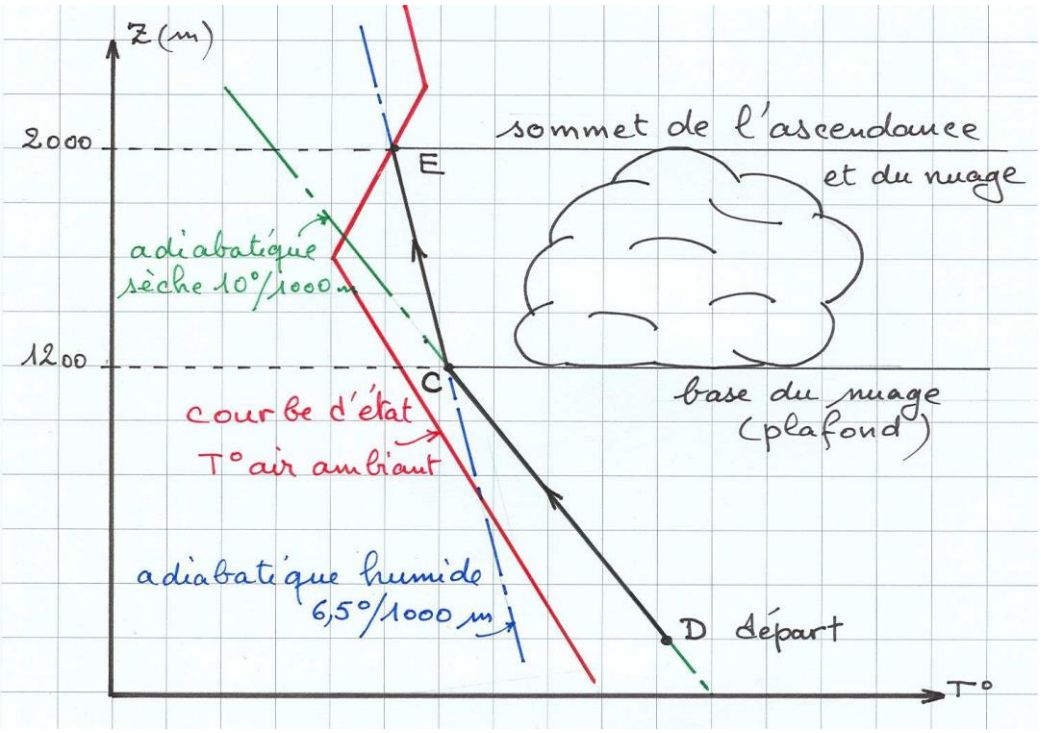
Sommaire des éléments de réponse :

a) Le cumulus humilis,
b) La nuelle,
c) Tracé de l'émagramme,
d) Conditions propices, l'instabilité de l'air,
e) Le début de condensation, base du nuage,
f) Le développement du nuage,
g) Le sommet du nuage.

a- Le cumulus humilis : est par excellence un nuage de beau temps qui se forme dans l'étage inférieur, selon le processus commun à tous ces nuages cumuliformes : instabilité de l'air et humidité.

b- La nuelle : La première trace de condensation est la nuelle, que parfois on appellera la barbule. La nuelle va constituer la base du cumulus qui va prendre de l'ampleur si l'instabilité en altitude se confirme, et surtout si la source thermique continue à l'alimenter.

c- Tracé de l'émagramme :



d- Conditions propices, l'instabilité de l'air :
Sur l'émagramme, on suppose une particule d'air chargée de vapeur d'eau et d'une température supérieure à l'air ambiant (indiquée par la courbe d'état). Soit D le point de départ. La particule monte et se refroidit de 1°/100 m

e- Le début de condensation, base du nuage :
En C, la particule atteint son point de condensation, elle se sature. La vapeur d'eau va commencer à se transformer en gouttelettes, nous sommes à la base du nuage (1 200 m).

f- Le développement du nuage :

La particule, toujours plus chaude que l'air ambiant, continue sa montée, donc sa détente, mais selon l'adiabatique saturée (pseudo adiabatique) selon une baisse de température de 0,65°/100 m. Le Cumulus s'autoalimente pour se développer verticalement.

g- Le sommet du nuage :

Dans le tracé de l'émagramme, la trajectoire représentant la montée de la particule va rejoindre la courbe d'état en E. La température de la particule est devenue égale à celle de l'air ambiant, l'ascension de la particule s'arrête là, ce sera le sommet du nuage (2000 m).

12- Décrivez et expliquez les causes de la formation des brouillards d'advection et de rayonnement

Sommaire des éléments de réponse :

a) Le brouillard,
b) Le brouillard d'advection,
c) Le brouillard de rayonnement.

a- Le brouillard :

Le brouillard est le phénomène météorologique constitué comme les nuages, de fines gouttelettes d'eau ou de fins cristaux de glace proche du sol. Les noms associés indiquent les circonstances de leur formation.

b- Le brouillard d'advection :

Le brouillard d'advection se forme quand une masse d'air chaude et humide en mouvement horizontal rencontre une surface d'eau ou de terre capable de la refroidir, pour atteindre son point de rosée. Une telle surface peut être, par exemple, celle d'une mer froide ou bien celle d'une région côtière traversée par un vent venu de la mer, d'un lac, d'un marais.

c- Le brouillard de rayonnement :

Le brouillard de rayonnement, qui est la forme la plus fréquente de brouillard, se développe en fin de nuit, par ciel clair, lorsque le refroidissement du sol par rayonnement a pu se communiquer par conduction, à un air suffisamment humide pour que sa température, en s'abaissant, atteigne le point de rosée. Un tel brouillard évolue souvent en stratus avec le réchauffement diurne du sol.

Bonus Q12 : définition des modes de transport de la chaleur. (chapitre Suppléments)

13- Décrivez à l'aide d'un schéma, le trajet d'une particule d'air en mouvement ascendant selon une adiabatique sèche, lors d'une situation aérologique instable sur 800 m.

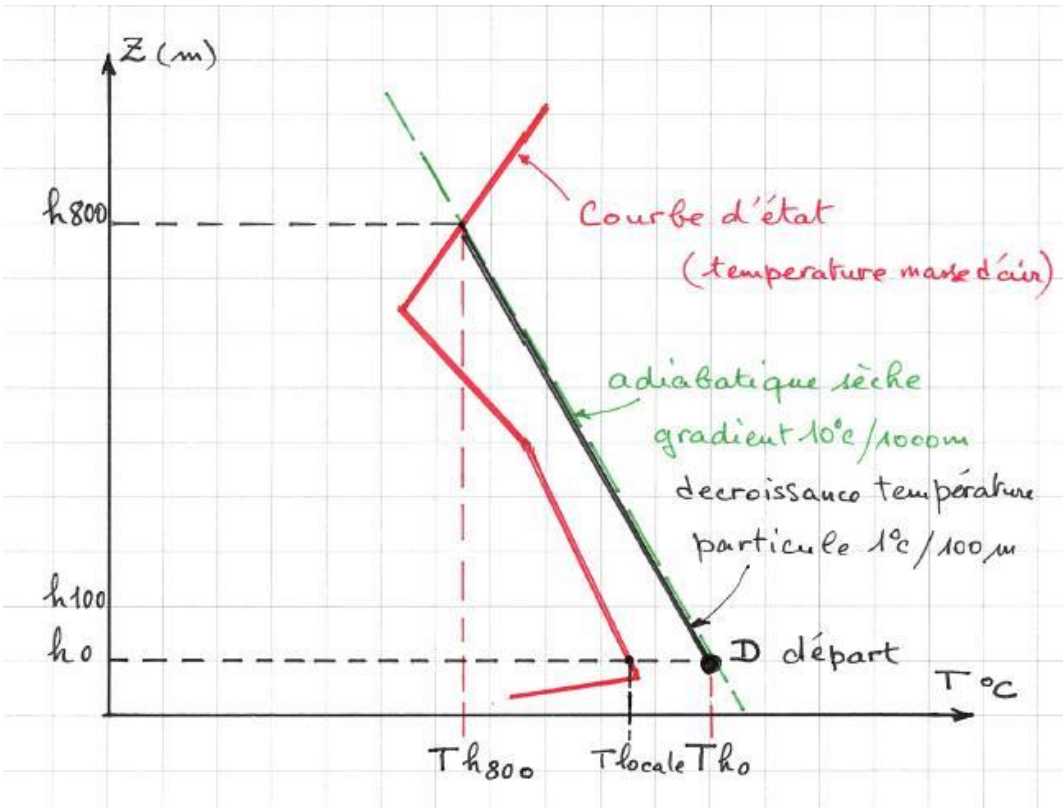
Sommaire des éléments de réponse :

a) Tracé de l'émagramme,
b) Conditions propices, l'instabilité de l'air.

a- Tracé d'un émagramme :

Avec une courbe d'état représentative de l'instabilité et une adiabatique sèche.

- abscisse : la température en °C,
- ordonnée : l'altitude de la particule.



b- Conditions propices, l'instabilité de l'air :

L'air est instable car la température de la masse d'air à un niveau donné est inférieure à la température de la particule qui s'élève du point **D**. Tant qu'il y a instabilité, la particule va monter, selon l'adiabatique sèche, on admet qu'il n'y aura pas condensation dans ce parcours.

La particule démarre en D, au niveau h0.
Sa température est T_{h0} > Température de l'air ambiant. Cette particule monte, et subit par détente adiabatique, un refroidissement, de 1 °C / 100 m.

Au dénivelé de 800 m, la température de la particule devient égale à la température ambiante qui est : $T_{h800} = T_{h0} - 8$ °C.

Sur un émagramme, la courbe d'état, fournie par les services Météo, révèle la température de la masse d'air en fonction de l'altitude.

Questions portant sur : **PILOTAGE**

1- Vous subissez une fermeture latérale de 50% de l'aile à 300 m sol sans relief proche. Comment gérez-vous cela ? Quelles sera votre attitude en cas de cravate ?

Sommaire des éléments de réponse :

a) Evaluer le contexte,
b) Gestion de la fermeture,
c) Cravatage,
d) Sauvegarde.

a- Evaluer le contexte :

300 m, j'ai encore un peu de temps mais pas trop. Immédiatement je contrôle le cap, à la sellette et à la commande côté ouvert si nécessaire pour ***stopper net un départ éventuel en autorotation***.

b- Gestion de la fermeture :

- Je contre à la sellette côté ouvert, et m'aide de la commande** côté ouvert, si nécessaire, pour maintenir mon cap
- Je reste en contact avec les avants bras aux élévateurs, et mets un peu de commande sur la demie aile qui vole.

c- Cravatage :

S'il n'y a pas de cravate :

L'aile va rouvrir seule selon le modèle utilisé, une action ample et précise à la commande côté fermé pourra être nécessaire pour amorcer et/ou accélérer la réouverture.

En cas de cravate : même petite, elle est gênante.

- Essayer une petite oreille côté cravate.
- Je repère et prends la suspente du Stabilo côté cravate, et la tire vers moi, si nécessaire en 2 ou 3 temps, sinon je prends une suspente voisine plus molle...
- **200 à 300 m** : j'ai encore une réserve d'altitude suffisante et si je maitrise la manœuvre avec l'aile utilisée, je provoque un décrochage pour défaire la cravate.
  En effet, le décrochage induit lors de la reconstruction, une phase de marche arrière. Dans les faits, avec un certain dosage des freins, mains aux mousquetons, temporairement le bord de fuite devient bord d'attaque et réciproquement. Cela crée un vent relatif venant de l'arrière, les bouts d'aile trainent et sont chassés vers l'avant, provoquant la sortie éventuelle de la cravate.

- **< 200 m** gestion de la cravate,

1) Oreille côté opposé + accélérateur, pour équilibrer la cravate (je sais qu'il y a risque de décrochage !)
2) Selon les capacités de vol et de manœuvrabilité de l'aile, ainsi que la proximité d'une zone de poser adaptée (vaste, accessible avec une finesse très dégradée, peu turbulente, …) je vais me poser avec la cravate en veillant à la précision de mon pilotage pour ne pas aggraver la situation.
3) Si pas pilotable → secours !

d- Sauvegarde :

Si je n'arrive pas à contrôler la rotation, je fais 'secours', immédiatement, avant que la force centrifuge n'altère ma lucidité.

** Pour entrer en catégorie A, dans le cas d'un "essai de contrôle de trajectoire avec fermeture asymétrique maintenue", la norme 926-2 définit un débattement de 50% de la commande *côté ouverte*.

2- Décrivez les différentes techniques de descentes rapides et les situations dans lesquelles vous pourriez être amené à les utiliser.

Sommaire des éléments de réponse :

a) Situations nécessitant l'utilisation d'une technique de descente rapide,
b) Les oreilles,
c) Les oreilles accélérées,
d) Les 360 engagés (et spirales),
e) Descente aux B (parachutale),
f) Autres techniques.

a- Situations nécessitant l'utilisation d'une technique de descente rapide :

Il peut être urgent de se poser ou de perdre de l'altitude, dans les cas suivants :

- conditions aérologiques et météo se dégradant : nuages dangereux, vents, pluie imminente, turbulences,
- ressenti physiologique, besoin d'arrêter le vol et de se poser : froid, fatigue,
- étagement d'ailes arrivant en même temps en approche,
- en vol de pente, par vent fort, et que l'on ne souhaite pas trop monter,

Généralement, savoir anticiper.

b- Les oreilles :

Cette technique consiste à créer deux fermetures asymétriques de l'aile.

Pour cela il faut ramener les suspentes A extérieures, vers soi. On peut ensuite agrandir ces oreilles en « avalant » les suspentes. Pour ne pas risquer une fermeture frontale, il est préférable de réaliser ces fermetures une par une. Cette technique permet de descendre entre **-2 et -4 m/s.**

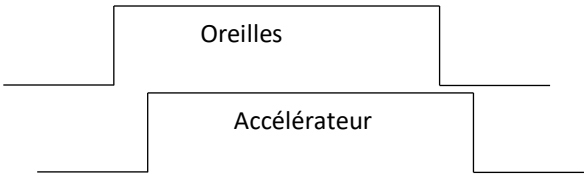
Même si le taux de chute reste assez faible, elle est intéressante, car on garde la possibilité de se diriger (échapper à un nuage, s'écarter d'un relief, se rapprocher de l'atterrissage…). Cependant il faut noter que les fermetures créées augmentent la traînée, ce qui a pour conséquence d'augmenter l'incidence : l'aile se rapproche du décrochage.

Aussi, il est important de veiller à ne pas freiner en même temps et il est déconseillé d'utiliser les oreilles en approche, car conjuguées au gradient, elles pourraient provoquer une parachutale.

Remarque : sur certaines ailes, le constructeur déconseille l'utilisation des oreilles et préconise de tirer sur les suspentes B extérieures (**B3**).

c- Les oreilles accélérées :

Les oreilles rapprochant l'aile de la parachutale, il est intéressant de les conjuguer à l'utilisation de l'accélérateur. A noter que, pour éviter une fermeture frontale, il faut effectuer les oreilles avant d'actionner l'accélérateur, et ne libérer l'accélérateur qu'après l'ouverture, aile stabilisée. Avec cette technique, on peut aller jusqu'à **-6 m/s**.



d- Les 360 engagés (et spirales) :

Cette technique permet de descendre jusqu'à **-20 m/s**, mais son efficacité est à relativiser. En effet, plus les 360 sont engagés, plus le pilote doit être entraîné à subir l'accélération (risque de voile noir car le sang n'irrigue plus correctement le cerveau, et perte de connaissance). Lors de 360 très engagé, l'aile peut entrer en neutralité spirale : sans actions adéquates du pilote, l'aile accentue la spirale.
Le pilote doit s'entraîner progressivement à cette manœuvre.

Remarques :
Pour limiter la force centrifuge, il est possible de conjuguer cette technique de 360 avec l'utilisation des oreilles ou d'une oreille côté extérieur. Ces techniques sont plus ou moins intéressantes selon l'aile (voir le manuel de l'aile et les remarques constructeur) et selon la sensibilité du pilote.

Des constructeurs proposent maintenant un *drag-chute* que certains appellent 'anti-g'. En fait il s'agit d'un petit parachute de freinage que les ailes delta utilisent depuis longtemps, tel qu'on peut le voir à l'arrière de certains chasseurs à réaction, lors de l'atterrissage et au toucher du sol, pour un posé plus court.

Lors de 360, l'accélération prolongée peut physiologiquement déranger certains pilotes ; aussi le drag-chute, une fois ouvert, va rajouter une trainée supplémentaire pour un taux de chute accru ; en conséquence, plus besoin d'un engagement très fort dans des virages mieux supportés.

Le défaut du '360 + 1 oreille', est d'induire une instabilité spirale, selon certaines ailes. Il est nécessaire d'avoir appris les mouvements en stage de pilotage (SIV) avant de le faire.

e. Descente aux B (parachutale) :

Utilisation des B selon préconisations constructeur inscrites dans le manuel de l'aile.

Cette technique consiste à mettre son aile en parachutale, en tirant sur les B.

L'aile n'est plus en vol, la trajectoire est alors verticale, elle permet de descendre entre **-8 et -10 m/s.**
Cette configuration est plus ou moins instable selon les ailes. Dans tous les cas, cette technique est à proscrire en turbulence, ce qui la rend peu intéressante.

f. Autres techniques :

Les A centraux sur biplace (crevette),
Les B extérieurs sur certains modèles.

NB : quelques cas ayant été appliqués : décro maintenu, décro + parachute en miroir se terminant par l'affalement de l'aile

3- Vous entrez dans une forte ascendance qui augmente franchement l'assiette de votre aile. Quelle est votre réaction en termes de pilotage afin d'exploiter cette ascendance ? Pourquoi ?

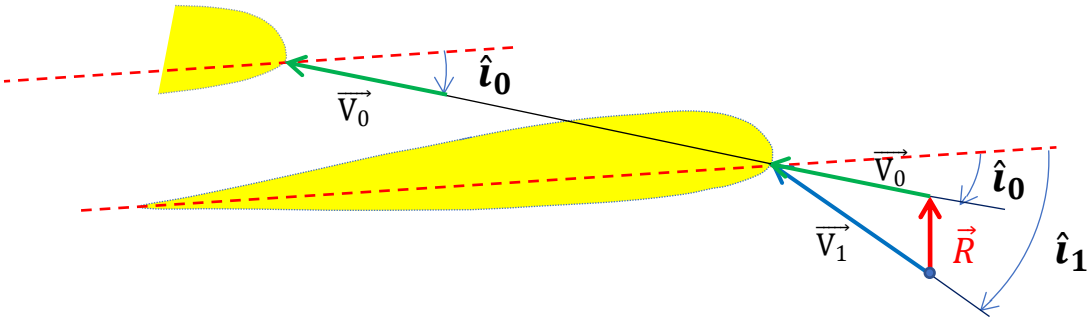
Sommaire des éléments de réponse :

a) Rafale montante,
b) Pilotage du mouvement pendulaire,
c) Piloter dans le thermique.

a- Rafale montante (ascendance) :

On entre dans le thermique, de face, les paramètres de vol sont alors :

Vitesse air : $\overrightarrow{V_0}$ incidence : $\hat{\imath}_0$.



Phénomène transitoire rafale montante R :

- augmentation de l'angle d'incidence : $\hat{\imath}_1 > \hat{\imath}_0$,
- augmentation de la vitesse air $\overrightarrow{V_1} > \overrightarrow{V_0}$,
- augmentation de la $\overrightarrow{FA}$, l'aile cabre (l'assiette augmente),

- les commandes durcissent, le bruit du vent dans les oreilles augmente.

b- Pilotage du mouvement pendulaire : L'aile cabre, je lève les mains.

c- Pilotage dans le thermique : Être vigilant sur le pilotage en thermique :

Freiner légèrement en entrée du thermique et engager un virage à la sellette (lever la commande du côté extérieur pour engager).

Cadencer pour centrer le thermique, afin de ne pas se faire éjecter et risquer ainsi de se trouver en limite du thermique où il y a de forts cisaillements (risque de fermer).

Travailler surtout à la perception (ressenti) et non regarder l'aile.

NB : Virage à plat au départ du thermique, freiner sur les deux commandes puis relever le bras extérieur pour engager le virage. Cadencer (ajuster avec la commande extérieure) si nécessaire pour coordonner le virage sans glisser ni déraper.

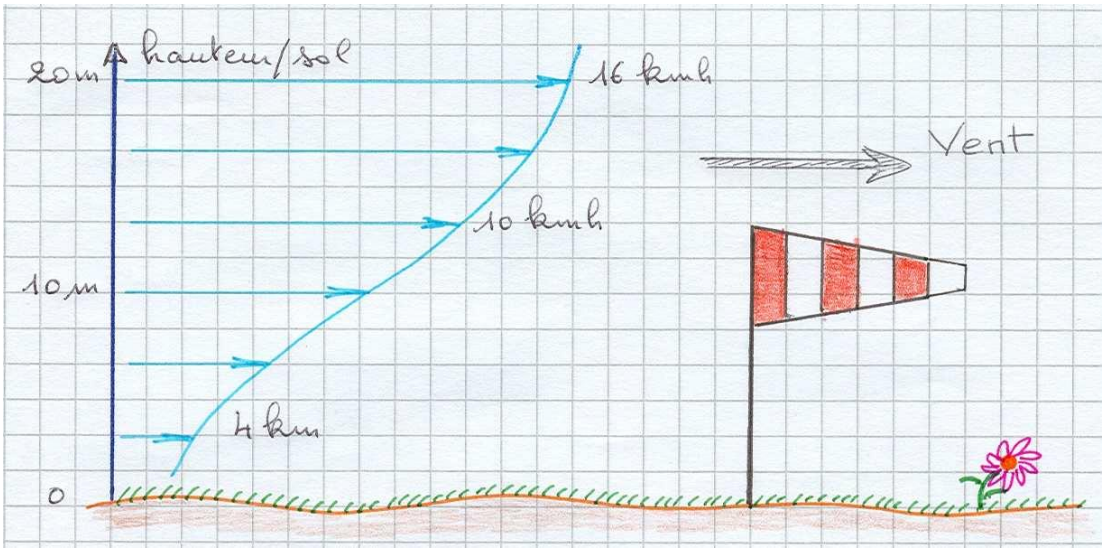
Bonus Q3 : Cas d'un petit thermique. (chapitre Suppléments)

4- Vous entamez votre finale d'atterrissage sur un terrain au gradient marqué. Quelle est votre attitude en termes de pilotage ? Quelles manœuvres éviterez-vous et pourquoi ?

Sommaire des éléments de réponse :

a) Le gradient de vent à l'atterrissage,
b) Approche,
c) Finale et prise de vitesse,
d) Arrondi et atterrissage,
e) Ce qu'il faut éviter.

a- Le gradient de vent à l'atterrissage :



b- Approche :

Il y a du vent en approche, je privilégie une PTU avec une longue finale et virage peu incliné.
Prise de terrain : s'il y a un gradient de vent marqué c'est qu'il y a du vent, je fais en sorte que le point d'aboutissement soit le plus éloigné possible des obstacles pour éviter leurs turbulences.

c- Finale et prise de vitesse :

Je commence ma finale plus haut que d'habitude.
Je sors de ma sellette suffisamment tôt, pour être prêt à amortir avec les jambes, une réception plus rapide que la normale, mains relevées pour une vitesse max. Au sol, l'herbe bouge à peine, il y a du gradient. Je contrôle mon aile en ayant à l'esprit qu'il faut garder un maximum de vitesse qui m'affranchira des effets du gradient.

d- Arrondi et atterrissage :

Je m'attends à faire éventuellement un arrondi plus court que d'habitude et à freiner plus amplement et plus tôt qu'à la normale.

e- Ce qu'il faut éviter :

<u>Virage près du sol</u> : un virage demande de la vitesse, or dans le gradient, souvent il y a perte de vitesse → risque de décrochage en sous-vitesse près du sol.
<u>Les virages à forte inclinaison pendulaire :</u> (roulis, tangage).
<u>Atterrissage aux oreilles</u> : plan de descente rapide avec accélération près du sol.

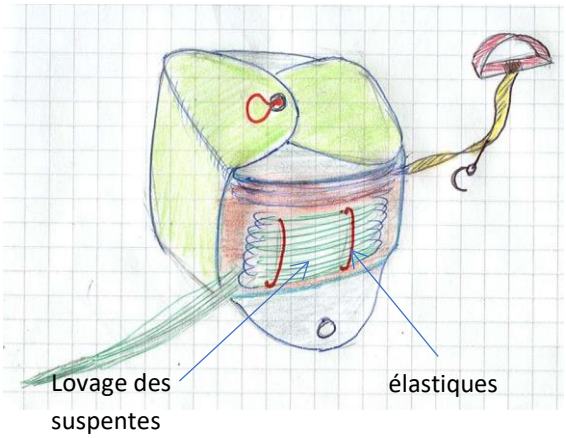
5- A l'aide d'un schéma simple, décrivez les éléments et le conditionnement d'un parachute de secours. Quelles précautions prenez-vous lors du pliage et du conditionnement afin qu'il fonctionne correctement ?

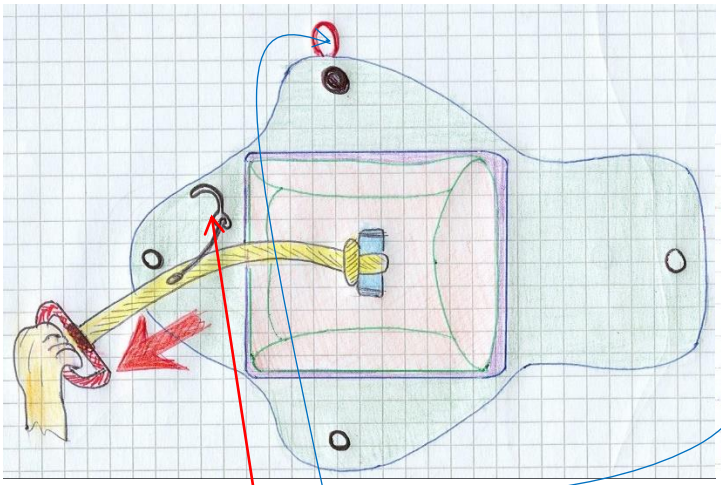
Sommaire des éléments de réponse :

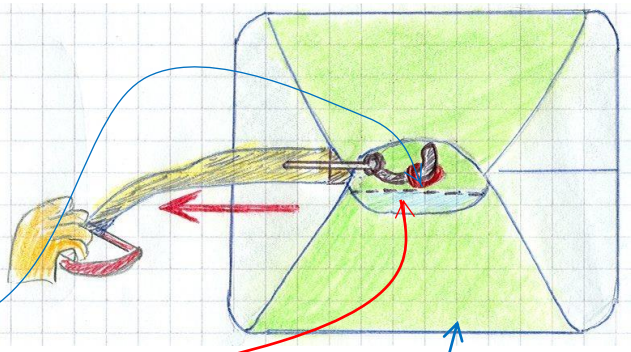
a) Conditionnement,
b) Entretien.

a- Conditionnement : le POD qui contient et protége le parachute :

Le POD en marguerite est le sac dans lequel est plié le parachute, ce pod est placé dans un container de la sellette, sous-cutal, latéral ou dorsal.. ou container ventral.







La boucle élastique passe dans chacun des oeillets puis est retenue par un dernier love du tronçon externe du toron de suspentes, assurant ainsi la fermeture des volets de la marguerite du POD avant mise dans le container. La goupille solidaire de la poignée d'extraction, à utiliser pour fermer le container recevant le POD.

La poignée d'extraction, que le pilote aura à tirer pour sortir le secours.

Vérifier que lors de l'extraction, la goupille soit libérée avant que le Pod ne soit tiré par la poignée. S'assurer méthodiquement de ne pas avoir oublié lors du pliage, un objet pouvant entraver la sortie du secours

b- Entretien : Aérer le parachute périodiquement

Pour que le parachute soit toujours opérationnel et qu'il s'ouvre aussi rapidement que possible, il faut l'ouvrir au moins 2 fois par an : pour l'aérer, le décompacter et remplaçer au passage les élastiques qui maintiennent les suspentes lovées. Le conditionnement doit être éprouvé sous portique ou tyrolienne pour vérifier que la méthode fonctionne.

Tous les éléments du parachute ainsi que son dispositif d'ouverture doivent être soigneusement vus et vérifiés. Les pièces non conformes remplacées. Lors de la Prévol, on s'assure du bon état de fermeture et goupillage. ***Respecter les consignes qui se trouvent dans la notice du fabricant.***

Bonus Q5 : Le parachute de secours : description d'un pull-down Apex. (chapitre Suppléments)

6- Votre êtes plusieurs à la même altitude en approche. Décrivez à l'aide d'un schéma la ou les solutions que vous adopterez.

Sommaire des éléments de réponse :

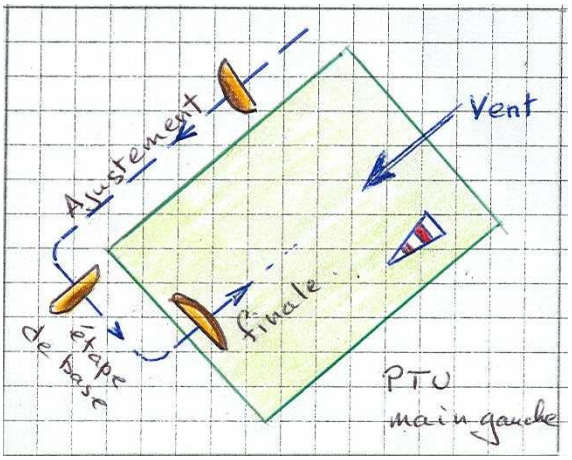
a) La meilleure prise de terrain : la PTU,
b) Alterner l'atterrissage long et court,
c) Couper le terrain en deux.

Plusieurs solutions :

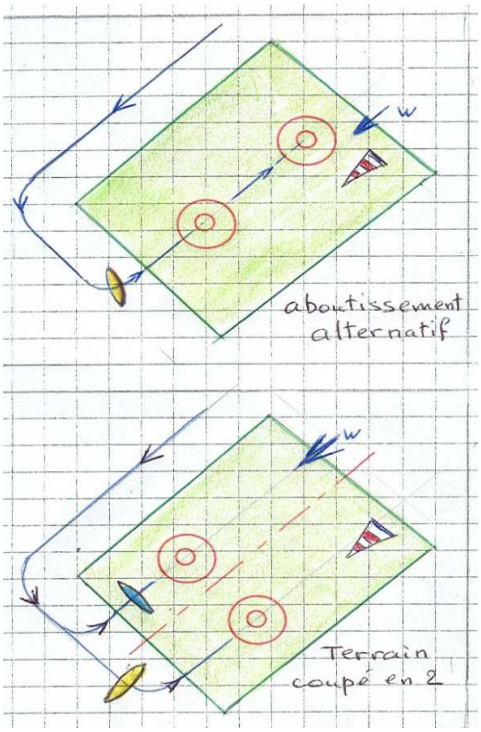
a- La meilleure prise de terrain :

Est que tout le monde se suive et pose en PTU de même main. Certains sites très fréquentés, imposent ce type d'approche :

- Doussard / près d'Annecy,
- l'Aérotec / Fellering,
- Samoens …



- J'envisage de me poser sur un terrain de secours, par exemple (Aérotech de Fellering), voire un champ voisin.
- Si la synchro n'est pas établie entre pilotes, et dans la mesure où je ne gênerai pas un atterrissage en cours, je peux m'écarter du groupe, anticiper et descendre plus rapidement aux oreilles.



b- Alterner l'atterrissage long et court :

Si je suis le premier et que le terrain est assez grand, je me pose long et décalé pour laisser mes suivants arriver, je pose court si les autres sont longs.

c- Couper le terrain en deux :

Je partage si possible le terrain en deux, l'un pose à droite, le suivant à gauche, et ainsi de suite.

7- Sur une aile équipée de trims (à relâcher et à tirer) et d'un accélérateur, dans quelles situations les utiliserez-vous ? décrivez les systèmes à l'aide de schémas simples.

Sommaire des éléments de réponse :

a) Le Trim,
b) Principe du Trim,
c) Utilisation des Trims,
d) L'accélérateur,
e) Utilisation de l'accélérateur.

a- Le trim :

Le trim (ou afficheur) est une commande manuelle qui permet d'ajuster l'incidence ou le calage du profil. Le réglage peut évoluer de 'plus de piqué' à 'plus de cabré' en passant par une position neutre correspondant au calage constructeur de l'aile. Il existe un trim par groupe d'élévateurs.

Selon certains régimes de vol, plus ou moins durables, il est intéressant de donner à l'aile le piqué ou le cabré voulu, sans pour autant agir sur les commandes, libérant ainsi le pilote d'une action permanente :

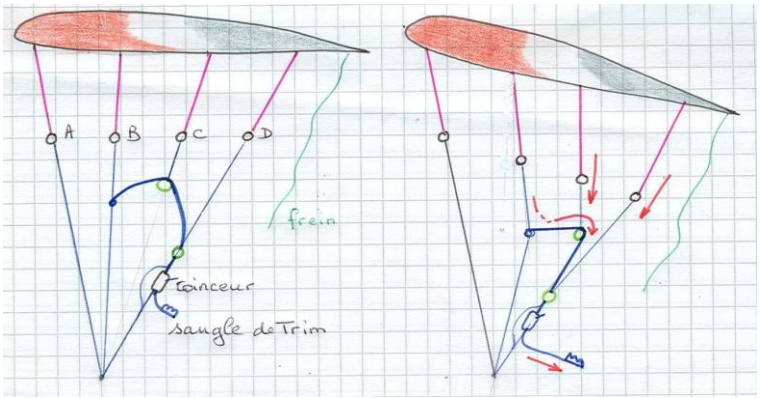
- On utilisera les trims à-cabrer dans "le petit" pour se mettre en attente ou voler un peu plus longtemps,
- On utilisera les trims à-piquer, face au vent pour augmenter sa vitesse/finesse sol.

Cependant, pour une manœuvre d'ajustement d'incidence ou du calage de l'aile, on utilisera l'accélérateur, plutôt que les trims, dans les descentes ou lorsque l'on sera proche du relief. En effet, si l'on peut relâcher l'accélérateur quasi immédiatement, l'action sur les trims demande plus de temps, et on doit lâcher les commandes pendant les quelques secondes requises.

b- Principe du Trim :

Le trim agit sur les élévateurs, et par là même sur les suspentes arrières. Les élévateurs D, C et B sont sollicités : le réglage trim modifie le calage de l'aile, autour d'une valeur dite 'au neutre'.

Les A ne sont pas sollicités.



Le réglage se fait par un dispositif autobloquant, sur l'élévateur D, qui propage vers B et C avec les poulies de renvoi et sangles de distribution. Généralement nous avons un taquet coinceur ; il verrouille le Trim dans la position réglée... ***l'action demande du temps durant lequel le pilote doit lâcher les commandes***.

Les différents réglages influent en première instance sur la vitesse, mais jouent aussi sur :

- la fermeté et l'ergonomie de la commande de frein,
- le tempérament de l'aile au gonflage,
- son comportement en turbulence,
- son comportement en cas de fermeture,
- sa capacité à arrondir à l'atterrissage.

c- Utilisation des Trims :

Détrimer ("relâcher" "ouvrir les trims") c'est : allonger les arrières pour avoir une aile à piquer (aile + rapide).

Au neutre, tous les maillons rapides sont au même niveau, et nous retrouvons l'aile au calage dit 'au neutre'.
En tirant sur le trim, le pilote raccourcit l'élévateur arrière, l'aile cabre et ralentit, on dit que la voile est "trimée".

En relâchant au maximum le trim ou en appuyant sur l'accélérateur, le pilote donne aux élévateurs arrières leur longueur maximale et la voile est davantage "piqueuse" : cela dégrade le taux de chute, mais augmente la vitesse max (intéressant pour certaines transitions ou pour s'échapper d' une zone descendante ou d'un fort vent de face), on dit que la voile est "détrimée". Si la finesse-air est dégradée, la finesse-sol face au vent est améliorée.

Lorsque le pilote décide de trimer ou de détrimer sa voile, c'est a priori pour une phase de vol qui va durer un certain temps (montée en thermique, ou transition, *ou décollage, atterrissage*). Cela peut aussi servir à corriger le calage de l'aile.

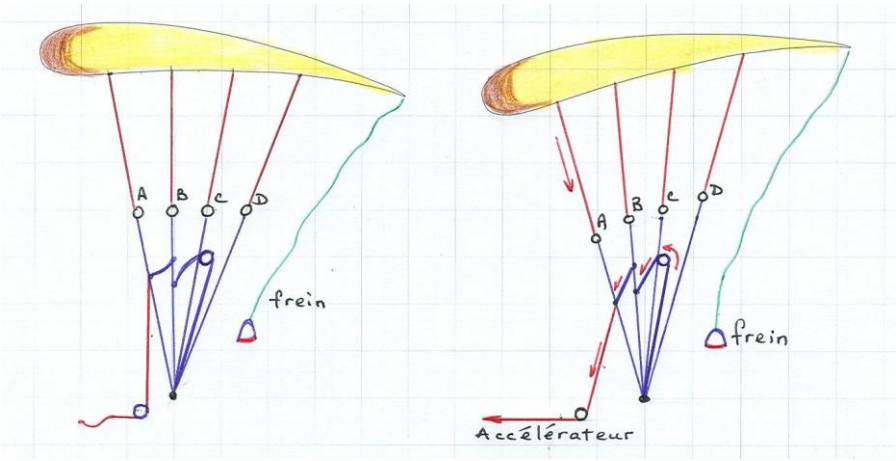
<u>Au décollage ou à l'atterrissage :</u>
Le trim peut être réglé pour mieux maîtriser la montée de l'aile en fonction du vent présent et de la pente de décollage.
Trimée (l'incidence augmente), l'aile est moins vive au gonflage et a moins de capacité à arrondir.
Détrimée (l'incidence diminue), l'aile est plus vive au gonflage et aura une plus grande capacité à arrondir et d'avantage de défense dans du gradient *(intérêt pour les biplaces ou une aile qui monte difficilement).*

<u>En vol</u> :
En transition et loin du relief.
En biplace, pour modifier le calage pour décollage et atterrissage.
On trime pour s'adapter dans un vol en thermique, (attention au décrochage asymétrique car on agit sur un trim puis sur l'autre).
On détrime : réduit l'incidence pour accélérer (allongeant les arrières).

Utilisation asymétrique des trims dans le thermique régulier.

d- L'accélérateur :

L'accélérateur est une commande au pied, dont le but est de donner à l'aile un calage plus rapide (diminuer l'incidence) et accroître la vitesse de l'aile (ordre de 10 à 15 km/h).



L'accélérateur est un dispositif constitué d'une barre actionnée par les pieds, reliée aux élévateurs par une drisse, permettant de modifier l'incidence de l'aile. Les arrières (D) ne sont pas influencés par l'accélérateur.

Le calage se fait en raccourcissant les autres rangées d'élévateurs (A, B et C), rendant l'*aile plus piqueuse*. Cette modification permet au parapente de gagner de la vitesse, mais elle rend l'aile plus sensible aux fermetures.

e- Utilisation de l'accélérateur :

Lorsque le pilote se retrouve dans la situation où il est contré, l'usage de l'accélérateur, face au vent, améliore la finesse-sol bien qu'il dégrade la finesse-air.

Le dispositif s'articule :

- Crochet de liaison à la cordelette du barreau,
- Boucle d'attache à la sellette,
- Drisse,
- Poulies de renvoi,
- Sangles de redistribution de la traction.

Non accéléré, les extrémités hautes des élévateurs doivent être alignées (pas de tension),
Accéléré à fond, les poulies se touchent (poulie contre poulie).

8- Vous décidez de faire les grandes oreilles. A quoi ferez-vous attention lors de la mise en œuvre, pendant la phase de vol, puis à la réouverture ?

Sommaire des éléments de réponse :

a) Préalables,
b) Mise en œuvre,
c) Réouverture.

a- Préalables :

- On fait les grandes oreilles pour une descente rapide.
- On ne fait pas les oreilles avec une aile mouillée, donc pas d'oreilles si la voile a trainé dans la rosée ou s'il pleut.
- Faire les oreilles près du sol peut être délicat car dans la manœuvre on relâche la pression sur les commandes. Si à ce moment précis l'aile ferme ou décroche par fort gradient, on rentre dans un incident de vol et l'on pourrait être en retard sur l'action de pilotage.

Je décide de faire les grandes oreilles lorsque je dois descendre assez rapidement (conditions aérologiques se dégradant, fatigue, ou approche encombrée).

b- Mise en œuvre :

J'ai encore de la hauteur, si nécessaire, ventrale desserrée pour le pilotage sellette à venir, dos au relief, accélérateur au pied prêt.

Je fais d'abord les petites oreilles d'un côté puis de l'autre et j'accélère. Puis j'agrandis progressivement en prenant soin de ressentir en permanence le souffle du vent relatif (signe de parachutale sinon).
Avec les grandes oreilles l'incidence augmente notablement, je redonne la bonne incidence en accélérant à fond. Pendant la manœuvre je contrôle le cap à la sellette si nécessaire.

Pendant la phase de vol, je veille au cap et contrôle à la sellette les mouvements pendulaires de roulis.

c- Réouverture :

- Je contrôle le cap,
- Je réouvre les oreilles :
  - d'un côté puis de l'autre, tout en restant légèrement accéléré,
  - on peut aider à l'ouverture par des appuis brefs sur les commandes,
  - on peut éventuellement initier un virage opposé, à la sellette pour aider à la réouverture,
  - on peut également tirer les suspentes de stabilo pour aider à la réouverture,

- Après réouverture, l'aile totalement débridée, je vérifie la présence du vent relatif qui garantit d'aucune phase parachutale,
- Je relâche l'accélérateur.

NB : Que l'on ouvre symétrique ou pas, on garde un peu d'accélérateur afin d'éviter un passage à trop faible vitesse et incidence trop élevée lors du ralentissement associé à la réouverture.
Ensuite on relâche l'accélérateur quand on retrouve une pleine capacité de pénétration, aile stabilisée.

9- Sur un décollage pentu avec un vent soutenu, quelle sera la technique que vous adopterez ? Quels sont les risques en cas de gestuelle inappropriée ?

Sommaire des éléments de réponse :

a) Choix du gonflage face voile,
b) Prévol,
c) Description de la technique appliquée face voile,
d) Risques face voile,
e) Choix du gonflage dos voile,
f) Prévol,
g) Description de la technique appliquée dos voile,
h) Risques dos voile.

Le candidat choisira de répondre soit face voile soit dos voile, selon sa pratique.

a- Choix du gonflage face voile :

Ma technique du face voile est bonne, je la préfère au dos voile. Si le déco est au sommet du relief, éventuellement, je descends dans la pente pour m'éloigner du Venturi.

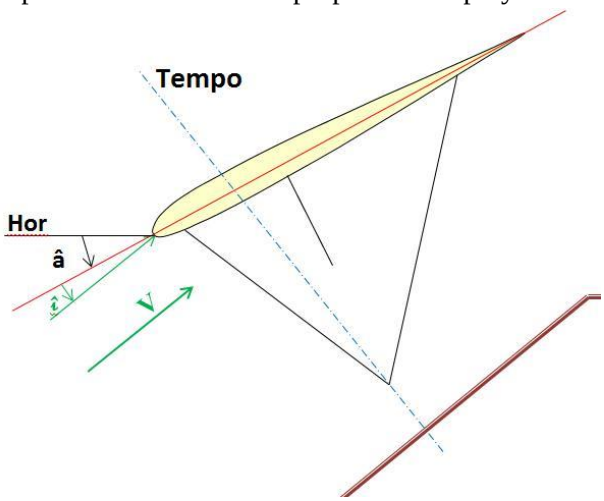
b- Prévol :

La prévol est d'autant plus nécessaire que le vent est fort. Adopter une technique (cobra, position en chou-fleur au sol, avec oreilles …) permettant quoi qu'il arrive d'induire douceur et progressivité au gonflage et à la montée de l'aile.

c- Description de la technique appliquée :

- Le pilote doit être vigilant car la voile va avoir tendance à le dépasser facilement (elle est déjà haute car le sol est pentu),
- le pilote, qui est face au relief, lève sa voile en proportionnant l'impulsion aux conditions de vent et de pente et veille à ce que la tempo ne se fasse que lorsque la voile arrive sur sa tête, et non encore devant lui (risque d'effet spi),
- le pilote effectue un retournement rapide du bon côté (pour éviter le twist),
- la temporisation sera ample et rapide, mais pas indispensable si la voile est proprement déployée.

Freiner dans le timing.
Les filets d'air sont parallèles à la pente, ce qui est équivalent à une trajectoire plongeante. Il est normal que l'assiette en sortie de gonflage suive la pente, donc soit assez négative, alors que l'incidence est correcte.



d- Risques face voile :

- En cas de verrouillage (résistance du pilote), on assiste à une arrivée trop rapide de l'aile à son apogée, avec un risque de fermeture frontale associé (symétrique ou pas, avec chute verticale ou départ en rotation).

- Si arrivée trop rapide de l'aile, risques associés à un freinage brutal et très appuyé, créant transitoirement (**î** augmentant) une forte portance et un décollage immédiat mains très basses.
- Si arrivée trop rapide de l'aile, risque de se retourner trop tardivement et de subir les incidents décrits ci-dessus.
- Si arrivée trop rapide de l'aile, risque de ne pas se retourner, d'effectuer un gros freinage en situation de panique, voile twistée et commandes croisées.

e- Choix du gonflage dos voile :

Quand il y a du vent, le choix porterait naturellement sur le gonflage 'face voile', mais nous sommes sur un déco pentu et venté, le risque de départ twisté est cependant important.
C'est une journée de soaring, il y a du monde qui passe devant le déco, ma technique du dos voile est bonne, je choisis le dos voile. Si le déco est au sommet du relief, éventuellement, je descends dans la pente pour m'éloigner du Venturi.

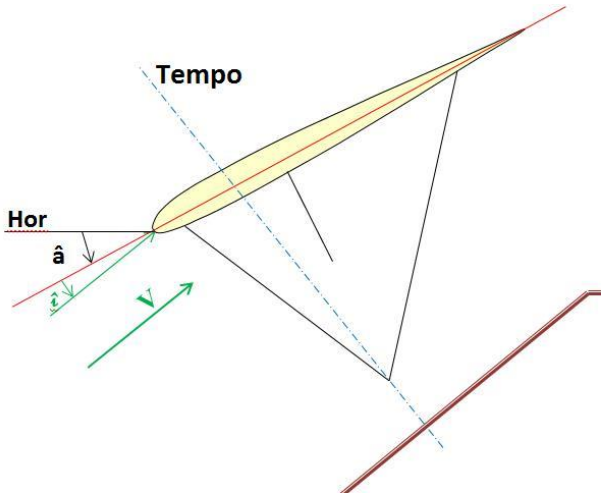
f- Prévol

La prévol est d'autant plus nécessaire que le vent est fort.
Eviter tout verrouillage en délestant l'ensemble aile/pilote, technique qui consiste à remonter la pente tout en gonflant l'aile pour éviter le verrouillage et cascades de problèmes associés), ou bien adopter une technique (cobra, position en chou-fleur au sol, avec oreilles …) permettant quoi qu'il arrive d'induire douceur et progressivité au gonflage et à la montée de l'aile.

g- Description de la technique appliquée dos voile :

- Le pilote doit être vigilant car la voile va avoir tendance à le dépasser facilement (elle est déjà haute car le sol est pentu),
- Le pilote se prépare à reculer,
- Le pilote lève sa voile naturellement mais veille à ce que la tempo ne se fasse que lorsque la voile est bien sur sa tête, et non en arrière,
- La temporisation pourra être ample mais rapide si la voile 'shoote'.

Freiner dans le timing.
Les filets d'air sont parallèles à la pente, ce qui est équivalent à une trajectoire plongeante. Il est normal que l'assiette en sortie de gonflage suive la pente, donc soit assez négative, alors que l'incidence est correcte.



h- Risques dos voile :

- Si l'impulsion est trop forte, la voile shoote alors très fort et peut dépasser le pilote → frontale,
- Si le pilote** temporise trop tôt ("voile au-dessus de sa tête au lieu d'être un peu avant") → départ en sous vitesse,
- Décoller avant d'avoir pu contrôler l'aile et départ en roulis,
- Ces risques sont accentués par :
    - l'impossibilité d'estimer la vitesse de montée de l'aile,
    - l'impossibilité de voir et contrôler,
    - l'obligation d'évoluer au seul ressenti.

NB : sur un déco pentu, le pilote a naturellement tendance à se référer à la verticale vraie et non à la direction perpendiculaire au sol où il prend appui, cela peut induire une erreur d'appréciation du moment de la temporisation :

Remarque 1- Le rapport efficacité / sécurité est clairement en faveur du face voile.

Remarque 2- Le pilote ne maitrisant pas la technique, adaptée aux conditions, doit s'abstenir de décoller.

Bonus Q9 : prise de terrain et atterrissage par vent fort. (chapitre Suppléments)

10- Sur un décollage peu pentu et peu alimenté, quelle sera la technique que vous adopterez ? Quels sont les risques en cas de gestuelle inappropriée ?

Sommaire des éléments de réponse :

a) Choix de la technique de gonflage,
b) Préparation et décollage,
c) Risques dos voile,
d) Risques face voile.

a- Choix de la technique de gonflage : Je choisis le décollage 'dos voile' car la voile montera plus facilement par l'impulsion de mon poids et ma mise en mouvement.

b- Préparation et décollage : Je me mets le plus haut possible sur le déco, voile en V inversé pour favoriser le gonflage symétrique.

Je fais la Prévol de mon équipement, le prégonflage n'étant pas possible, le contrôle visuel de voile après le gonflage va certainement être très court, aussi je m'applique particulièrement au démêlage des suspentes.

Le vent étant faible, j'installe l'aile face à la plus grande pente.

Je fais face à la pente, j'avance en accélérant progressivement, la voile gonfle et monte, je corrige à mesure mon centrage.

Une brève tempo, car il y a peu d'air, je fais ma course d'élan vigoureuse avec un bon appui ventral pour charger la voile et la faire voler.

<u>Risque en cas de gestuelle inappropriée</u> :

c- Risques dos voile :

- Manque d'impulsion au gonflage, lâcher les avants trop tôt :
  → départ en sous-vitesse avec une voile qui reste derrière pendant la course.
- Commencer la course trop tôt, la voile n'est pas encore montée :
  → idem, départ en sous-vitesse avec une voile qui reste derrière pendant la course.
- La voile ne gonfle pas symétriquement. Le ressenti n'est pas aisé car l'aile porte peu.

d- Risques face voile :

- Se retourner la voile en roulis → départ en virage.
- Ralentir pendant le retournement → la voile retombe : sous vitesse.
- Voile inclinée sur le côté → départ en virage.
- Perte visuelle du cap.

11- Vous êtes en soaring sur une crête où quelques thermiques déclenchent régulièrement. Comment vous y prendrez-vous pour les exploiter ?

Sommaire des éléments de réponse :

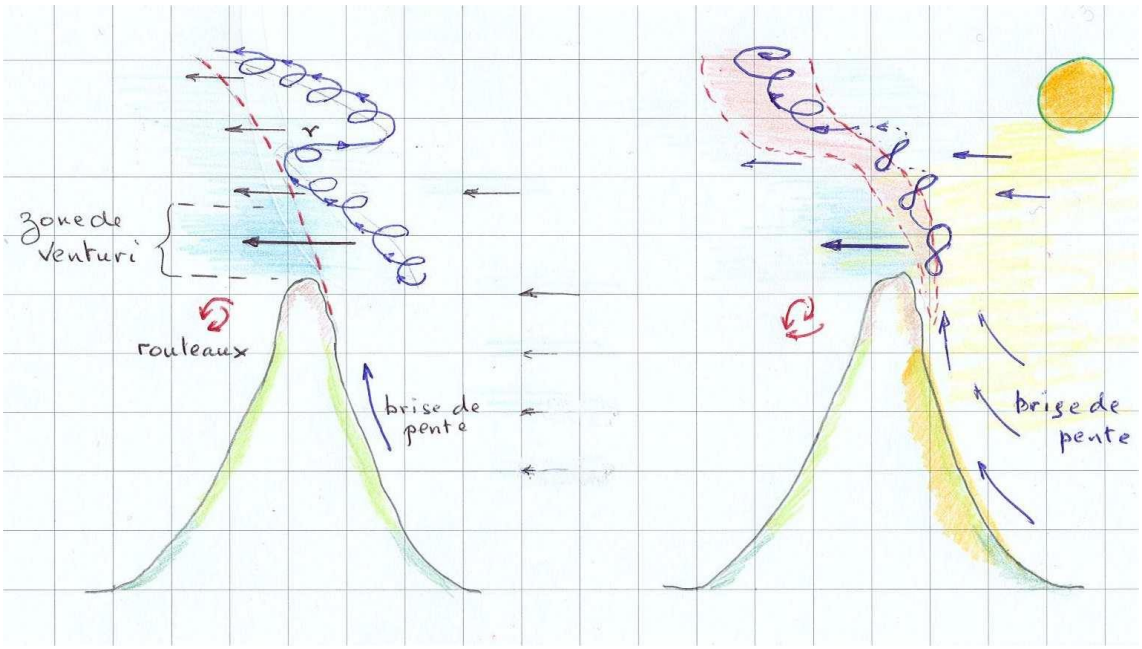
a) Préambule,
b) Devant et par paliers,
c) Les huits.

a- Préambule :

Si on est en soaring, c'est qu'on est sur un relief et qu'il y a du vent. Quand on va enrouler un thermique on va décaler derrière le relief au fur et à mesure que l'on monte.

b- Devant et par paliers :

Une deuxième possibilité est de s'avancer devant le relief pour pouvoir enrouler sans être gêné par celui-ci. On recommence cela plusieurs fois et on monte ainsi par paliers.



c- Les huits ∞ :

La conduite à tenir est donc d'exploiter au mieux la zone de thermique en faisant des 8 jusqu'à avoir une hauteur suffisante au-dessus de la crête pour pouvoir enrouler sans risquer de se retrouver dans la compression (effet Venturi au-dessus de la crête). On préférera évoluer dans la partie du thermique côté au vent quitte à risquer d'en sortir de ce côté, plutôt que de se retrouver sous son vent, à vouloir trop l'optimiser (effet bagnard).

Maintenant en admettant que je suis monté durant cette première phase, je négocie la suite en enroulant et en me positionnant de façon à toujours pouvoir revenir au vent de la crête avec suffisamment de marge pour éviter la zone d'effet Venturi.

Bonus Q11 : Sous le vent du thermique : l'effet Bagnard. (chapitre Suppléments)

12- Quels sont les principes de fonctionnement d'un variomètre et d'un GPS ? Dans quelles situations sont-ils le plus utiles ?

Sommaire des éléments de réponse :

a) Variomètre,
b) Principe de fonctionnement,
c) Utilité du variomètre
d) Le GPS,
e) Importance du GPS.
f) Fiabilité des mesures

a- Le variomètre :

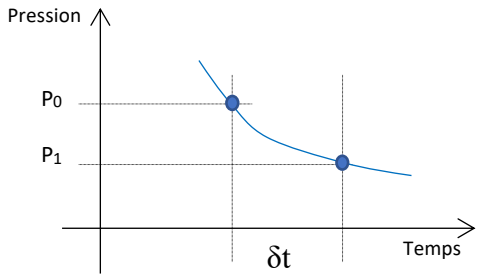
Le variomètre (le vario) est un instrument de mesure.
Il informe le pilote de sa vitesse verticale (Vz), improprement nommé 'taux de montée' ou 'taux de chute'. Mécanique à l'origine et désormais électronique, la mesure de pression est désormais assurée par un transducteur piézo électrique (cristal ayant la propriété de délivrer une tension proportionnelle à la pression qui lui est appliquée).

Le variomètre mesure la pression atmosphérique locale à deux moments très proches et en déduit par les variations de pression, la vitesse de montée ou de descente (vitesse verticale V_Z).

Dans l'air ambiant, nous avons la pression statique locale, qui agit sur le capteur piézo. Le signal fourni donne la pression du moment. Les mesures se succèdent à intervalles réguliers δt selon une base de temps (1/10 à plusieurs sec).
La différence de pression entre deux mesures successives permet de déterminer le signe et la variation d'altitude, et donc la vitesse verticale.

b- Principe de fonctionnement :

Sachant qu'un hPa correspond à une différence d'altitude de 28' = 8,3 m (dans la tranche 0-3000 m), et que l'échantillonnage se fait au rythme de δt :



$$Vz = (P_0 - P_1) * 8{,}3 / \delta t$$

L'instrument est étalonné pour prendre en compte la variation logarithmique de la pression avec l'altitude. Quelle que soit l'altitude, le zéro au vario indique un vol à altitude constante.

Les variomètres sont pour la plupart dotés d'un système sonore nous dispensant de regarder l'appareil. Une fréquence modulée pour un « taux » positif, une autre fréquence pour un « taux » négatif.
Le vario, léger et compact, fait partie de l'instrumentation du parapentiste. Il nous aide à profiter de la moindre ascendance, notamment loin du relief, et à mieux nous positionner dans les thermiques, ou dynamiques. Il nous informe des ascendances plus ou moins marquées. C'est un véritable instrument de vol.

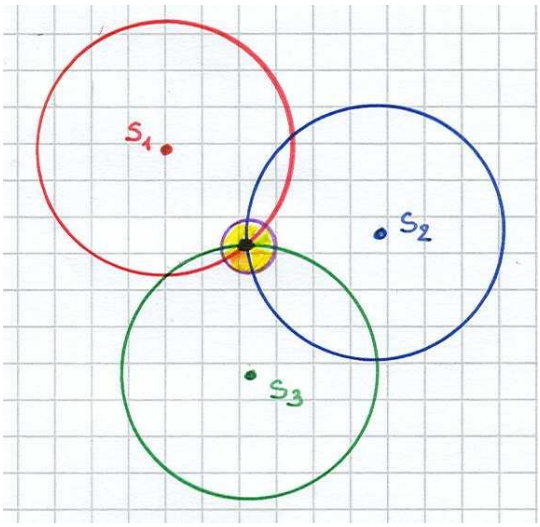
Le vario présente un temps de réponse réglable, il est cependant toujours en retard sur le ressenti par le pilote dans les thermiques francs. Des variomètres plus ou moins sophistiqués sont proposés dans le commerce.

c- Utilité du variomètre :

- Localiser les ascendances et les optimiser,
- Optimiser les transitions,
- Lever le doute dans le ressenti physiologique qui ne perçoit que les accélérations (variations de vitesses) :
  distinguer une descendance faiblissant d'une ascendance,
  distinguer une ascendance faiblissant d'une descendance,

d- Le GPS (Global Positionning System):

Système de positionnement mondial permet de localiser avec une relative exactitude une cible terrestre au sol ou en vol. Les coordonnées sol sont données en latitude et longitude, et la hauteur (élévation) par rapport au niveau de la mer en mètres (ou en pieds (feet) : configurable)



Le principe de localisation s'appuie sur un réseau de satellites télécom à environ 20000 km de la Terre.
Il faudra au moins 3 satellites pour déterminer par triangulation sphérique, une coordonnée sol.
Plusieurs autres satellites seront nécessaires pour une mesure fiable de la hauteur (élévation).

e- Situations où le GPS a son importance :

- Vitesse sol à tout moment : c'est un élément de sécurité qui donne la force du vent ou de la brise,
- Indication du vent météo : déterminer le sens du vent par des 360 et en estimer sa vitesse, Eviter les espaces aériens : on programme les balises de passage, le pilote connaissant à tout moment le niveau de vol,
- Crash : il permet de communiquer sa position aux 'Secours'…
- En compétition : Le GPS va nous permettre de programmer un parcours (cross) par des repères sol, dont les coordonnées sont entrées dans l'instrument : ce sont les balises-sol (Way-Points). Des cartes internes permettront de visualiser la position exacte et la route effectuée et à faire.

Application à l'instrumentation : Nous disposons ainsi de l'altitude par rapport à la mer (réglage QNH) et de notre hauteur par rapport à l'atterro (réglage QFE).

f- Fiabilité des mesures :

Un récepteur GPS voit entre 8 et 9 satellites dans les meilleures conditions. Cependant, la réception est altérée par les gouttelettes d'eau, le feuillage dans les bois, les gorges en montagne, les bâtiments et murs qui occultent les signaux ou donnent par réflexion, une localisation erronée. En condition de vol normal l'instrument est juste et très fiable.

13- Vous venez de changer de sellette. Sur quoi portez-vous votre attention en termes de réglages ? En quoi la sellette peut-elle vous aider à optimiser le pilotage ?

Sommaire des éléments de réponse :

a) Introduction
b) Réglages, points à respecter,
c) Réglages sur portique.

a- Introduction :

La sellette est à la fois le cockpit et un moyen de pilotage. Elle transmet au pilote des indications importantes sur le comportement de la

voile. J'opte pour le réglage de ventrale indiqué sur le sticker de labellisation de la voile, qui me permet d'avoir la latitude du travail à la sellette, et d'être dans le réglage de la labellisation.

b- Réglages, points à respecter :

- taille de la sellette,
- réglage des sangles dorsales : pilotage droit (dos droit) ou pilotage couché dos, voire intermédiaire,
- réglage des différentes sangles équivalentes pour :
  - ventrale serrée, j'augmente la sécurité passive, car le risque de tomber dans la sellette est moindre, j'augmente le risque de twist.
  - ventrale desserrée, j'augmente les possibilités du pilotage sellette, les sensations informations-voile, l'instabilité en roulis.

Optimisation du pilotage : il faut éviter dans tous les cas une ventrale bloquée, qui inhiberait complètement le pilotage à la sellette et les corrections en cas d'incident de vol.

Respecter les points suivants :

- apprendre à sentir sa voile et savoir utiliser les réglages permettant d'affiner celle-ci,
- apprendre à la régler en vol si sa conception le permet,
- être parfaitement installé dans la sellette.

J'ajuste si besoin, la largeur de la planchette à ma morphologie pour être bien calé dans la sellette :
au rabot : sellette en bois, à la meule : sellette en carbone.

c- Les réglages, sur portique :

- **Sangles d'épaules, étant** debout, régler de manière à avoir le bord du plateau juste au-dessus du niveau du genou (dépend de la longueur de la sellette).
- C**uissardes,** sont fixées en premier, réglage tension en position debout, une main à plat sur la cuisse doit passer. Il est normal qu'en vol elles soient détendues.
- **Sangle ventrale** : réglage neutre, par exemple sellette M : 43cm entre maillons.
- **Sangle lombaires** (profondeur) **:** à ajuster selon morphologie.

En l'air, il arrive que les sensations changent complètement.

- si instable en roulis, resserrer la ventrale,
- si on se sent glisser vers l'avant, relâcher les sangles lombaires,
- si à l'inverse on fait travailler les 'abdos', resserrer les sangles lombaires.

Bonus Q13 : Eléments de choix de la sellette. **(Chapitre Suppléments)**

14- Comment expliquez-vous la mise en virage d'un parapente ?

Sommaire des éléments de réponse :

a) Introduction :
b) Augmentation de la portance du côté « freiné » qui crée un moment de roulis,
c) Augmentation de la trainée qui crée le moment de lacet,
d) Tangage créé par l'action de la commande, voire la commande opposée lors de fortes inclinaisons.

a- Introduction :

Pour que le parapente tourne, il faut engager trois mouvements autour des 3 axes : roulis, tangage et lacet.

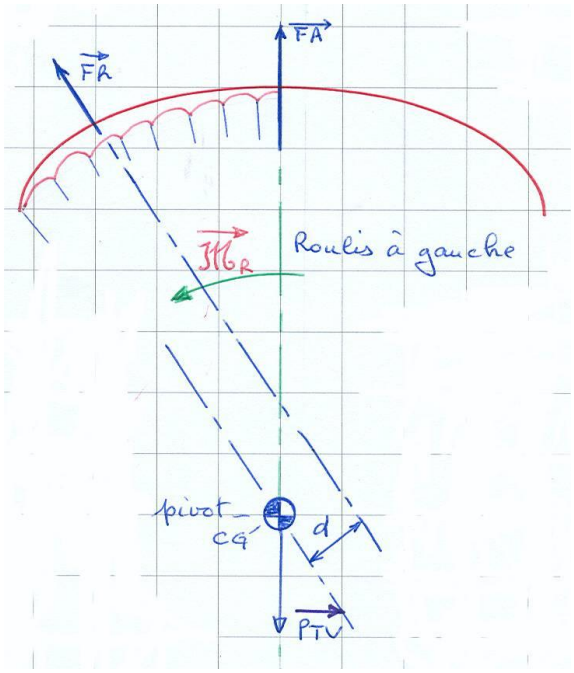
b) Augmentation de la portance du côté « freiné » qui crée un moment de roulis,

Supposons une mise en virage à gauche.

Engageons le roulis par action sur la commande gauche. L'abaissement du bord de fuite génère une portance $\overrightarrow{Fr}$ supplémentaire sur la moitié gauche de l'aile. Un moment $\overrightarrow{M}_R$ (= $\overrightarrow{Fr} * d$) s'applique au centre de gravité (CG) sur l'axe des roulis, inclinant l'aile à gauche.

Le cintrage du profil, résultant de l'action sur la commande et du suspentage de l'aile représentée, admet un roulis du même côté de la commande car la ligne d'action de $\overrightarrow{Fr}$ est au-dessus du pivot.

NB : ce n'était pas le cas avec les ailes moins voûtées (cintrées) ou plates.



c) Augmentation de la trainée qui crée le moment de lacet.

Sous l'action de la commande, l'aile gauche présente une trainée supérieure à l'aile droite. Le parapente soumis à un nouveau moment $\overrightarrow{M}_L$ va engager autour de l'axe de lacet.

d) Tangage créé par l'action de la commande, voire même de la commande opposée lors de fortes inclinaisons.

L'aile étant inclinée, une légère action sur la commande intérieure provoque aussi le tangage essentiel au bon déroulement du virage. Parfois une légère action sur la commande extérieure sera utile (le cadencement) pour obtenir un virage coordonné.

En effet, en actionnant la commande, la voile est ralentie tandis que par inertie, le pilote devance la voile, un moment de cabré est appliqué à l'aile sur l'axe de tangage.

1- Lors de vos prochaines vacances en France, vous vous rendez sur un site nouveau, avec pour objectif de faire du vol de distance. Comment prenez-vous connaissance de l'information aéronautique ?

- Je consulte des informations sur les panneaux de site.
- Je consulte des cartes aéronautiques à jour.
- Je prends connaissance de l'état d'activation de zones réglementées s'il y en a.
- Je prends connaissance d'éventuels NOTAMs signalant une activité particulière.
- Je rends éventuellement visite au Bureau d'Information Aéronautique (BIA) ou au Bureau de Piste (BDP) de l'aérodrome le plus proche pour m'informer sur les NOTAMs, protocoles et procédures particulières.

- Je peux également consulter les informations 'SUP AIP' disponibles sur le site Internet du Service de l'Information Aéronautique (SIA) où se trouve toute l'information réglementaire.

- Je m'informe auprès d'un pilote local ou d'un moniteur connaissant bien le site et ses environs.

- Je peux téléphoner aussi à l'aérodrome proche du site pour demander l'autorisation de vol aux abords ou dans la CTR et aussi les limitations, par exemple : Octeville-Le Havre.

- Si le parcours traverse des espaces aériens autorisés ou autres zones particulières, je procède à la lecture des contraintes, retrace les volumes pour déterminer les passages « possibles » et aussi les entrer dans mon alti-vario GPS.

2- Quelles sont les cartes aéronautiques utiles à la pratique du Vol Libre en France ? Quelles sont leurs caractéristiques ?

- Carte IGN OACI 1/500000ème pour le quart concerné (SE, SO, NO, NE) conçue pour le vol à vue, couvrant l'espace du sol à 5000 ft AMSL ou 2000 ft ASFC.

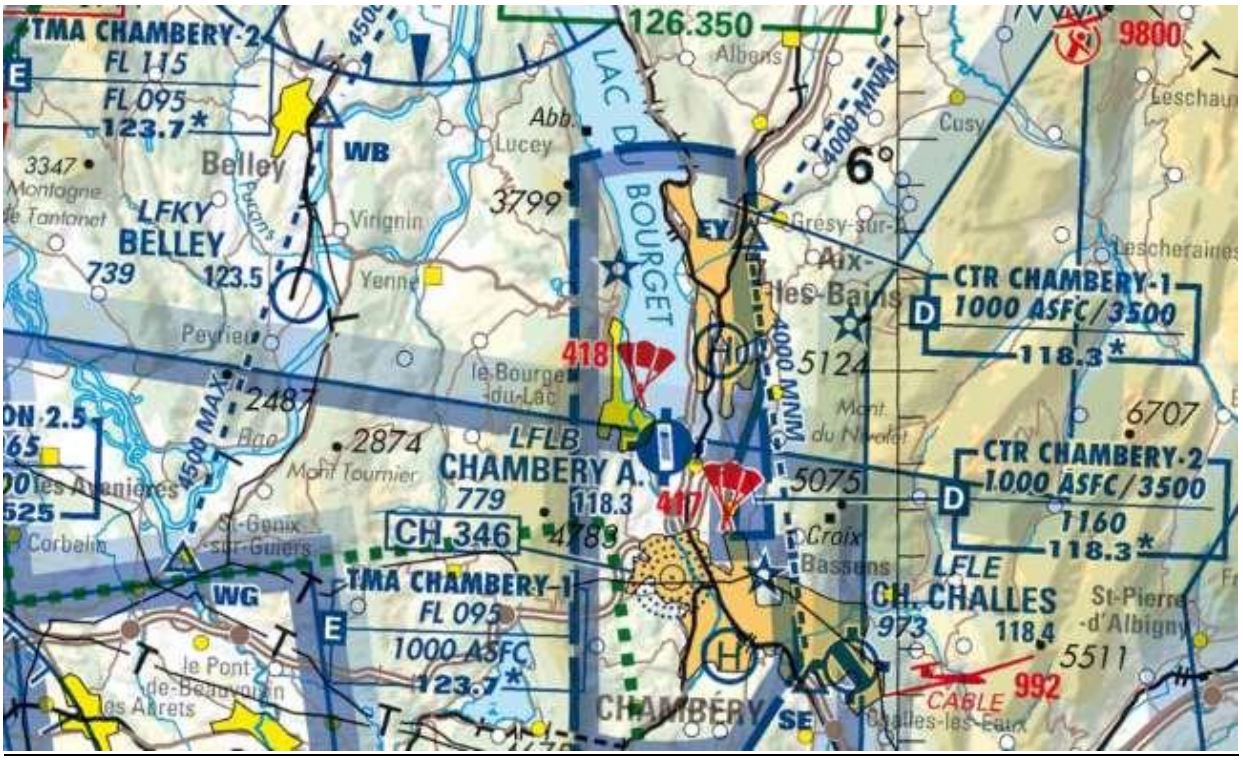
- Un format plus européen et harmonisant les cartes au 500000ème, couvrant l'espace **jusqu'au niveau FL 115,** est disponible**.**

- Cartes SIA (Service Information Aéronautique) France, aux règles VFR (Visual Flight Rule) 1/1000000ème, couvrant l'espace aérien inférieur de 0 à FL195 soit de 0 à 5850 m :
  On y trouve le RTBA (Réseau Très Basse Altitude), un guide complémentaire à la carte est fourni.

- Cartes VAC (Visual Approach Chart) pour les environs d'un aérodrome donné :
  Ex : LFLU Valence Chabeuil, descriptif 10 km autour de l'aérodrome + renseignements détaillés.
- Cartes produites par d'autres éditeurs : Aviasport, carte papier ou numérique (smartphone), ou carte spécifique Vol à Voile au 1/250000ème (disponible uniquement pour les Alpes).

- Toutes ces cartes ont une date d'édition et une période de validité de six mois maximum.

3- Sur l'extrait de carte aéronautique ci-dessous, il y a des sites de Vol libre à droite des espaces aériens contrôlés décrits, proches du mont Nivolet. Quelle lecture faites-vous des éléments de cette carte datant de 2017 ? Quelle serait votre mise en application pratique lors d'un vol dans ce secteur ?



Sommaire des éléments de réponse :

a) Identification des espaces et zones,
b) Elaboration du Plan de Vol,
c) Sigles et unités.

a- Identification des espaces et zones :

- Il s'agit des espaces aériens contrôlés associés à l'aérodrome de Chambéry, au sud du Lac du Bourget, c'est un aérodrome contrôlé. Pendant les horaires du service de contrôle, il est exclu de s'approcher de la piste et des trajectoires associées (circuit de piste).
- Les CTR CHAMBERY_1 et CTR CHAMBERY_2 sont des espaces classés D, leur pénétration est strictement interdite.

Le volume de la CTR1 part du sol <u>jusqu'au plus haut entre</u> 300 m (1 000') au-dessus du sol et 1 050 m (3 500') d'altitude.

Le volume de la CTR2 part de l'altitude 350 m (1160') jusqu'au <u>plus haut entre</u> 300 m (1 000') au-dessus du sol et 1 050 m (3 500') d'altitude.

- La TMA CHAMBERY_2 part de FL95 à FL115, elle est classée E, elle est donc utilisable sous réserve d'y respecter les minimas applicables au vol à vue :

Visibilité = 5 km mini ; distance mini nuages = 300 m en vertical et 1500 m en horizontal

Cette TMA couvre l'espace concerné.

- La carte signale la possibilité d'une activité parachutisme.

Dans la pratique, le SIA propose 2 mises à jour annuelles des cartes et de leur guide complémentaire.

b- Elaboration du Plan de Vol :

On peut voler dans le secteur à l'Est des CTR ; théoriquement on pourrait même passer au-dessus, dans la TMA classée E, mais on s'en abstiendra, car le risque de descendre dans cette zone ne peut pas être pris au Sud car il y a l'aérodrome de Challes-les-Eaux où sont treuillés des planeurs ~~et au Sud-Est un axe de voltige~~.

Le Mont Nivolet est un site d'altitude 1 547 m (~5 075') qui est en bordure des CTR, on y vole en restant au-dessus du relief, sans s'avancer en plaine, pour ne pas entrer dans l'espace D, interdit.

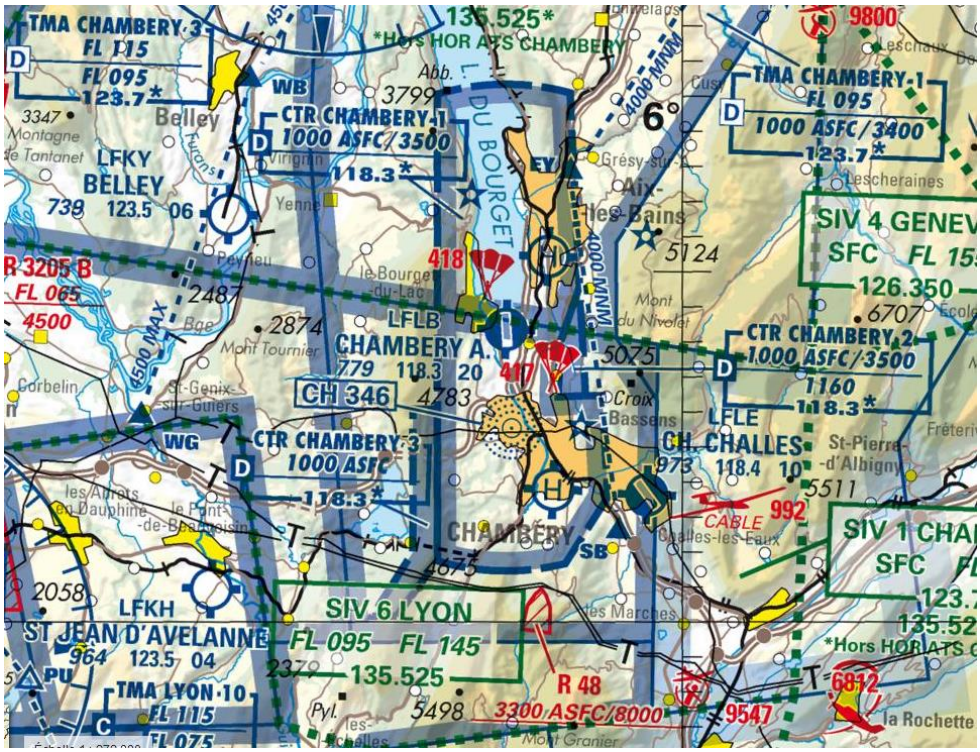
c- Sigles et unités :

CTR : **C**on**TR**ol area, c'est l'espace environnant l'aérodrome, où se trouve la tour du **C**ontrôle **L**ocal d'**A**érodrome (**CLA**).

TMA : **T**erminal **M**anoeuvring **A**rea, volume contrôlé d'approche, voire d'attente des avions (orbit-radius). C'est un espace intermédiaire entre les Airways AWY qui sont des couloirs du trafic aérien et les CTR.

Rappel : les cartes aéronautiques sont destinées à un usage international, les hauteurs sont en pieds.
Le pied (feet) est noté ft ou **'**, les niveaux FL en centaines de pieds.
La valeur du pied : 1 ft ≈ 0,30 m →1000' ≈ 300 m FL115 = 11 500' ≈ 3 500 m

Note au lecteur : la carte aéronautique 2020, plus élargie, montre des évolutions de l'espace, et en particuliers des TMA et CTR supplémentaires.



La réponse attendue se limite à discuter sur l'espace proposé, le but étant de montrer qu'on sait lire une carte aéronautique pour préparer un vol. Quand on connait le secteur, il n'échappe pas qu'au **S-E** de Challes, à La Rochette, on fait de la voltige-avion, mais on ne vous le demande pas…

4- Que représente la figure suivante ? Quelles informations pratiques un pilote de Vol Libre peut-il déduire ?

- Il s'agit d'une étiquette de zone telle que l'on peut en trouver sur une carte aéronautique.
- La zone décrite est une TMA (Terminal Manoeuvring Area) ou zone d'approche terminale qui s'interpose entre les voies de navigation AWY (AirWaY) et la zone aéroportuaire CTR ; cet espace est un volume d'attente, d'approche et d'accès aux voies aériennes.
- Le nom de la zone décrite est LYON 6.
- La classe de l'Espace associée est E, la zone est accessible au Vol Libre avec respect des règles de vol à vue.
  - Visibilité = 5 km mini si alt < 3000 m et 8 km mini si alt > 3000 m,
  - Distance-mini des nuages : 300 m en vertical et 1500 m en horizontal.

- La zone a sa limite basse à 1000 pieds ASFC, (300 m) au-dessus du sol.
- La zone a sa limite haute égale au niveau de vol 11500'.
- 135.525 MHz est la fréquence radio de l'organisme de contrôle associé, cette information est inutile aux libéristes.

Du sol à 1000' nous sommes en espace libre non contrôlé G, avec respect des règles du vol à vue.

5- Quelles sont les différentes références altimétriques utilisées sur les cartes aéronautiques ? Comment les convertissez-vous pour votre utilisation pratique ?

Les cartes aéronautiques ont une vocation internationale, elles utilisent les notations anglaises : les hauteurs s'expriment en pieds, c'est un héritage historique.

- Le pied (feet) : 1 feet = 12 pouces, et 1 pouce = 25,4mm,
  1 pied = 25,4 mm * 12 = 0,3048 m ≈ 0,30 m → 1000 ft ≈ 300 m
- Niveaux de vol FL (Flight Level) FL : unité = 100 pieds
  FL65 par exemple = 6500 ft ≈ 1.950 m au-dessus de la surface isobare 1 013,25 hPa.

Références sol : AGL, ASFC, indiquent des hauteurs,
- AGL : Above Ground Level au-dessus du sol survolé.
- ASFC : Above SurFaCe au-dessus de la surface (eau ou sol).

- Références FL, AMSL indiquent des altitudes
- AMSL : Above Mean Sea Level au-dessus du niveau moyen de la mer.
- FL : Flight Level est exprimé en centaines de pieds,
  avec calage altimétrique standard à 1013,25 hPa, (niveau mer en atmosphère standard).

6- Que représente la figure suivante ?
Comment un pilote de Vol Libre peut-il en déduire les informations pratiques ?

Le cadre tireté de la zone est rouge, il s'agit d'un espace militaire règlementé.

- L'identificateur de la zone est R46 Sud.

- C'est un zone « R » règlementée, dont la pénétration est soumise à certaines conditions (contact radio, clairance) spécifiées dans le livret "Complément aux cartes aéronautiques.**

Pour avoir la description précise de la zone, connaître le plafond et les conditions d'activation :

- il faut se reporter au guide complémentaire, associé à la carte, et connaitre les contraintes liées à cette zone, que l'on a dans la pochette du SIA ou directement sur la carte RTBA récente,
- ou appeler un quelconque centre d'information aéronautique, comme la tour d'un aérodrome proche,
- consulter les NOTAMS, ou autres points pouvant contenir le renseignement que l'on peut aussi trouver par internet,
- ou se renseigner sur l'activité prévue dans ces zones en consultant le site du **S.I.A.** qui tient à jour toutes les informations dont nous avons besoin.

Pour savoir si la zone est active aujourd'hui ou demain, il existe un répondeur téléphonique disponible en permanence qui énumère, à chaque jour, les heures d'activation des zones. " tel vert 0800 24 54 66 (n° à vérifier quand c'est nécessaire)"

- Si la zone est active, les libéristes ne peuvent pas y pénétrer.

- Si la zone est inactive, c'est comme si elle n'existait pas (on retrouve un espace G). Parfois les zones peuvent être inactives mais restrictives quant à leur pénétration.
D'autres fois elles peuvent rester actives mais autorisées si le contrôle aérien nous en donne l'autorisation.

Ces zones militaires du RTBA sont généralement désactivées le week-end et les jours fériés

NB : Ceci n'est pas à écrire, car pas demandé dans la question, sauf si vous avez sous la main une carte aéronautique et le livret "complément aux cartes aéronautiques", associé.
En l'occurrence, il s'agit d'un couloir de vol tactique du RTBA, Réseau Très Basse Altitude [entre Toulouse et Carcassonne]. Ce couloir est emprunté par des engins militaires évoluant à très grande vitesse et à très basse altitude sans assurer la prévention des abordages.

7- Demain, les prévisions météorologiques sont favorables au vol de distance. Comment préparez-vous concrètement le vol pour respecter la réglementation aérienne ?

Tracer sa route dans le respect des règles aéronautiques :

Il est nécessaire de préparer au mieux les vols possibles et de se donner les moyens de naviguer hors des zones interdites.

Concrètement, l'analyse de la carte doit permettre d'identifier les zones d'interdiction, les points de passage possibles, les limitations d'altitude et de survol sur tout le secteur.

La préparation d'une carte simplifiée embarquée en vol et la programmation de points-balises sur le GPS sont les moyens concrets qui permettront une navigation correcte. La reconnaissance visuelle de points caractéristiques préalablement repérés sur une carte sera aussi une aide précieuse à la navigation.

- Aller sur le site « FFVL / CFD / préparer un vol »,
- Prendre connaissance de l'information aéronautique : cartes aériennes, Guide complémentaire. NOTAM, état d'activation des éventuelles zones réglementées (Rxx)

NB : L'utilisation de la radio ne doit être envisagée qu'en ultime moyen à la disposition d'un pilote égaré, et non pas pour aller aux renseignements…alors que les diverses informations sont à disposition !

8- Espaces de classe G et espaces de classe E, quelles sont les différences ? Quelles mesures concrètes prenez-vous dans votre pratique du Vol Libre ?

Sommaire des éléments de réponse

a) Classes autorisées,
b) L'espace G,
c) L'espace E, et ses réserves

a- Classes autorisées : Les espaces E et G, sont deux classes d'espace autorisées à la pratique du Vol Libre.

b- L'espace de classe G : est appelé « espace libre », le service de contrôle du trafic aérien n'y est pas rendu, les règles du Vol à Vue doivent être suivies par tous les usagers.
Il faut respecter des règles de visibilité et de distance qui sont différentes selon que l'on est au-dessus ou en dessous de (plus haut entre 3000' AMSL ou 1000'ASFC) :

- En dessous : visibilité = 1,5km mini ; hors nuages ; en vue du sol
- Au-dessus : visibilité = 5km mini si alt < 3 000 m et 8 km mini si alt > 3 000 m ;
- Distance-mini nuages = 300 m en vertical et 1500 m en horizontal.

c- L'espace de classe E : est non contrôlé pour le vol en VFR et contrôlé pour le vol en IFR, on peut donc y rencontrer du trafic aérien IFR qui traverse les nuages. Les règles de vol à vue applicables pour les libéristes évoluant en classe E sont :

- Visibilité = 5 km mini si alt < 3000 m et 8 km mini si alt > 3000 m,
- Distance mini nuages = 300 m en vertical et 1500 m en horizontal.

La classe E est utilisée principalement pour protéger les routes aériennes (Airways ou AWY) et les espaces d'approche terminales (TMA).

La pratique du Vol Libre en espace de classe E doit donc faire l'objet d'une vigilance accrue pour prévenir le risque d'abordage, de plus, on essaiera dans la mesure du possible de ne faire que des transitions dans cet espace, afin d'y séjourner le moins longtemps possible.

On ne survolera pas le Sapenay à plus de 300 m à cause de la proximité de la CTR Chambéry :

[TMA – Chambéry 1 E : $\frac{\text{FL 095}}{\text{1000 ASFC}}$], on évite d'y rentrer.

Notes personnelles : …….

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

Seconde partie

Préparation à l'écrit / Annexes

Rappels

Compléments pour remise à jour des connaissances :

Mécanique du vol
Météorologie
Réglementation / espace aérien

Suppléments aux réponses proposées :

Mécanique du vol
Météorologie
Pilotage

Notes personnelles : …….

……..

……..

……..

Notations et quelques rappels pour la MÉCAVOL

Sommaire :

1. Symboles et notation,
2. Rappel de définitions,
3. Eléments sur vecteurs,
4. Moments,
5. Inertie,
6. Force centripète,
7. Force centrifuge,
8. Foyer aérodynamique, point de Calage,
9. Centre de poussée,
10. Axes fondamentaux,
11. Angle de plané,
12. Les champs de pressions à différentes incidences,
13. Contribution à la sustentation,
14. Fermetures,
15. Origines du décrochage,
16. Décrochage,
17. Assiette,
18. Repères aérodynamiques d'un profil d'aile en vol rectiligne équilibré,
19. Roulis.

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 notation :

$\hat{\imath}$	angle d'incidence
$\hat{a}$	assiette
$\hat{p}$	angle de plané
K	rapport d'homothétie
n	facteur de charge
$\hat{\imath}_F$	incidence de fermeture
$\hat{\imath}_D$	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
$\overrightarrow{Fcp}$	force centripète
$\overrightarrow{Fc}$	force centrifuge
$\overrightarrow{\mathcal{M}}$	moment d'une force
$\approx$	sensiblement égal à
<<	très inférieur à

<u>Repérage des angles</u> : dans les textes et schémas l'angle est accentué d'un chapeau (circonflexe) **: â, î,**

<u>Repérage des vecteurs</u> : les vecteurs sont coiffés de la flèche : $\overrightarrow{F1}$

.

2- Rappel de définitions

Bord d'attaque : section courbe à l'avant du profil, face au flux d'air.

Bord de fuite : partie arrière du profil, amincie pour réduire la trainée aérodynamique.

Intrados : surface inférieure de l'aile.

Extrados : surface supérieure de l'aile, du côté de la dépression du profil.

Corde : c'est une droite reliant les deux points les plus éloignés d'un profil, du bord de fuite au bord d'attaque. Sa longueur est la distance entre ses deux extrémités.

La corde centrale est celle du caisson le plus grand au milieu de la voile.

Incidence ($\hat{\imath}$) : 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 ('sharknose') voient le jour, repoussant les limites angulaires (seuil de fermeture et décrochage), 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 (â) : angle compris entre l'horizontale et la corde le l'aile.

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

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

Point d'arrêt : point du bord d'attaque du profil que le flux aérodynamique frappe perpendiculairement. Point où les filets d'air se séparent pour contourner le profil : la pression y est maximale.

Surface projetée : surface de l'aile projetée au sol :

➔ $\underline{\text{Charge alaire}} = \dfrac{\text{PTV}}{\text{surface projetée}}$ (kg / m^2)

Envergure projetée : envergure de l'aile projetée au sol, souvent utilisée dans le calcul de l'allongement

Cône de projection : 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 ($\overrightarrow{FA}$) : c'est l'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 peut être transitoirement orientée vers le bas, lors de figures comme le looping (g>0) ou le tumbling (g<0), où l'on tourne selon de l'axe de tangage.

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.

Le gradient :. au sens général, c'est la variation d'une grandeur par rapport à une autre grandeur

Charge alaire : rapport entre PTV et surface de l'aile (kg /m^2) ou surface projetée selon l'intérêt.

Allongement : rapport entre envergure^2 et surface de l'aile, parfois on dira entre envergure et corde moyenne.

3- Eléments sur vecteurs :

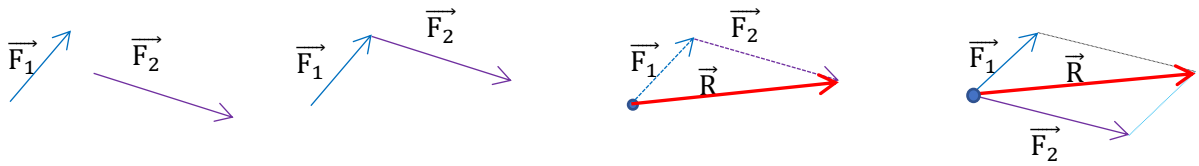
Dans notre propos, les vecteurs représentent les forces, ils sont dans un même plan.
L'addition vectorielle est un outil simple pour raisonner sur les forces en présence.
Leurs conséquences sur le vent relatif, changement d'incidence que l'on rencontre en mécanique du vol.
.
Un vecteur $\vec{a}$ est défini par son point d'application, son intensité, sa direction et son sens

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

- Point d'application : Cp le Centre de Poussée,
- Intensité (ou module) : grandeur de la force égale au PTV,
- Direction : la verticale,
- Sens : vers le haut.

<u>Somme de vecteurs :</u> 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.

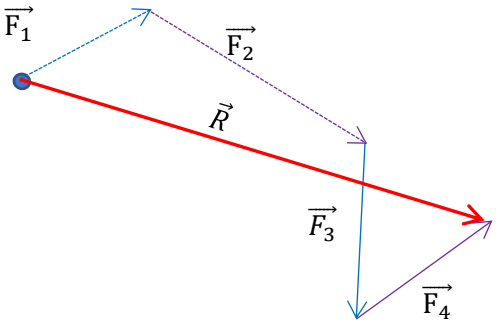
De même, la résultante de deux vecteurs pourra être la diagonale du parallélogramme obtenu en translatant origine sur origine.



Somme de vecteurs-force : $\vec{R} = \overrightarrow{F1} + \overrightarrow{F2}$

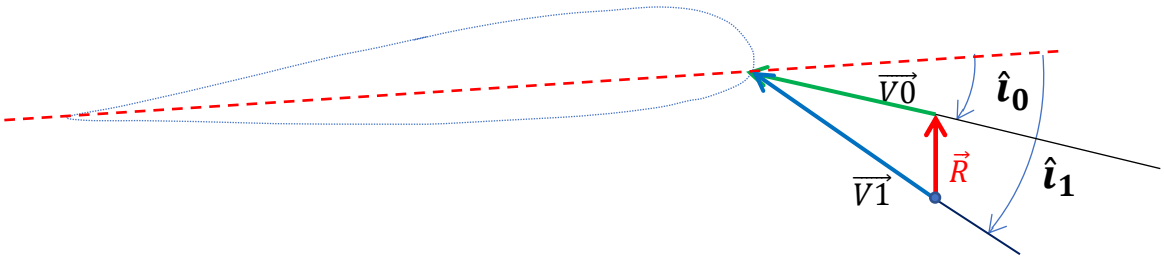
Somme de 2 vecteurs $\overrightarrow{FA} = \vec{P} + \vec{T}$

signe du vecteur : O ⟶ A $\overrightarrow{OA} = -\overrightarrow{AO}$



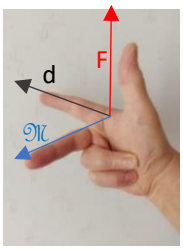
<u>Exemple d'application sur une rafale montante</u> R

Le vent relatif V_0 devient V1, avec une nouvelle incidence $\hat{i}_1$: $\overrightarrow{V1} = \overrightarrow{V0} + \vec{R}$



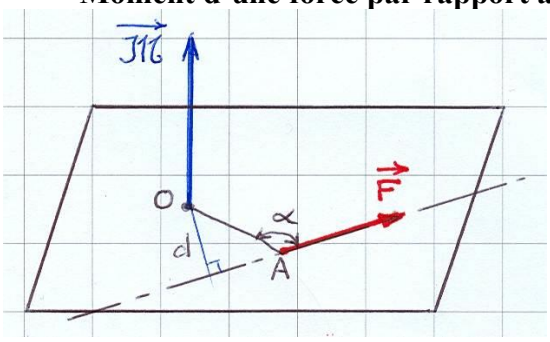
→ 4- Les Moments :

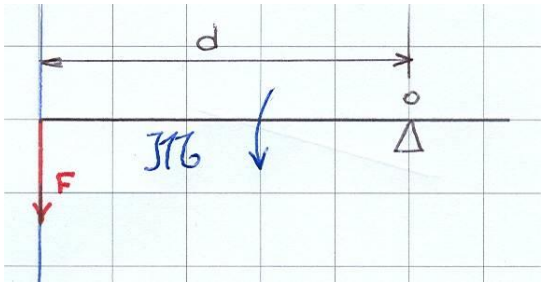
Le Moment $(\overrightarrow{\mathcal{M}} = \vec{F} * d)$ est une grandeur vectorielle qui exprime l'aptitude d'une force ou d'un ensemble de forces à faire tourner un système autour d'un point ou d'un axe.



L'unité est le Newton-mètre Nm.
Le sens du vecteur moment suit la règle des 3 doigts de la main droite

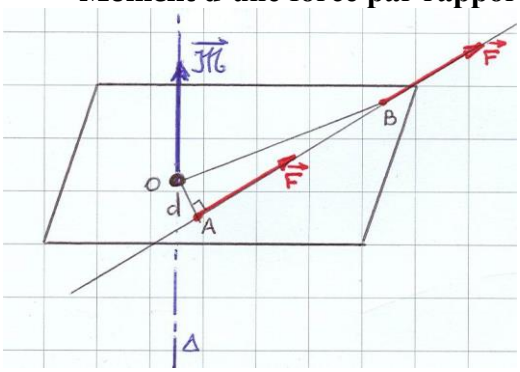
Moment d'une force par rapport à un point :





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

Moment d'une force par rapport à un axe



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

5- L'inertie :

Ainsi définie par la 1ère 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. »*

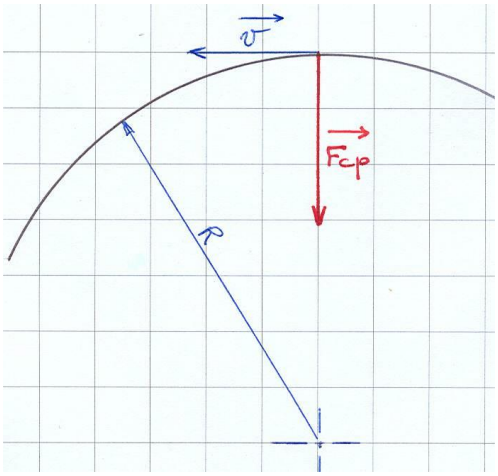
L'inertie est la propriété qu'a un corps de s'opposer au changement d'état de mouvement. A moins d'une force extérieure, le corps en repos reste en repos, le corps en mouvement rectiligne uniforme reste dans ce mouvement. L'inertie est fonction de la masse et de la vitesse du corps.

- 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 : $\overrightarrow{Fcp}$

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

Son expression est : $\overrightarrow{Fcp}$ = m * accélération centripète ; $\overrightarrow{Fcp} = m\,\frac{\vec{V}^2}{R}$.



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

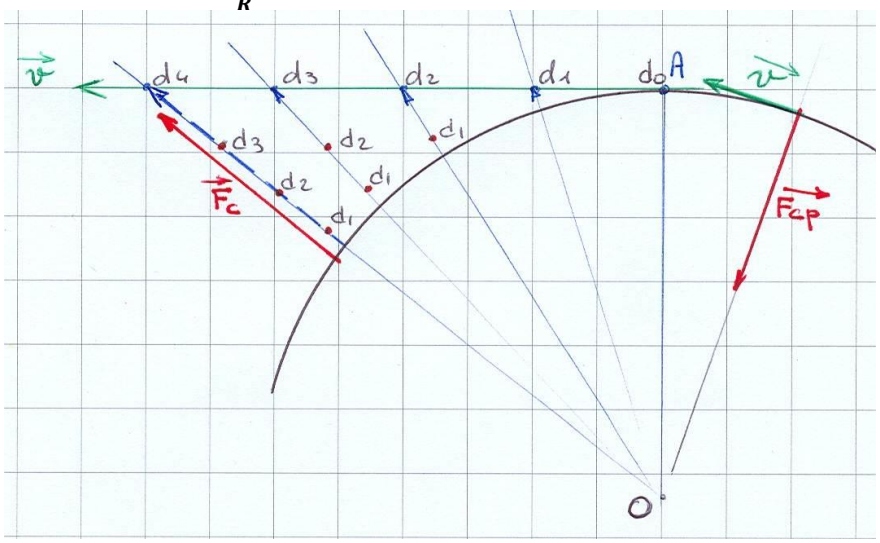
La force centripète est une force réelle : en vol libre elle est d'origine aérodynamique.

7- La force Centrifuge : $\overrightarrow{Fc}$

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 : $\overrightarrow{Fc} = m\,\frac{\vec{V}^2}{R}$.



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 qui maintenant l'objet en rotation est : $\overrightarrow{Fcp}$ = m* $\vec{a}_{cp}$.

En A faisons disparaitre la force centripète $\overrightarrow{Fcp}$:

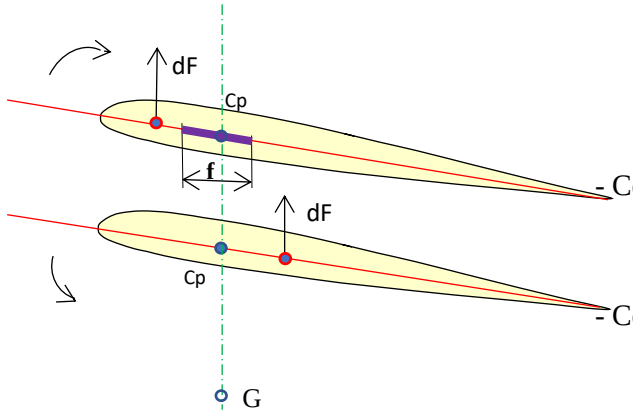
- l'observateur hors du cercle (repère Galiléen) et placé en A voit l'éloignement de l'objet à vitesse $\vec{V}$ sur une trajectoire rectiligne tangente en A.
- l'observateur placé en **O**, centre du cercle (repère non-Galiléen) et tournant face à l'objet, voit l'objet s'éloignant de d0, d1, d2, d3, d4, comme mu par une force radiale dirigée vers l'extérieur.
  C'est la force centrifuge $\overrightarrow{Fc}$, force d'inertie.

<u>Remarque</u> : pour la compréhension, dans les schémas on oppose les vecteurs $\overrightarrow{Fcp}$ et $\overrightarrow{Fc}$, bien qu'ils s'expriment dans des repères différents.

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

Le Foyer aérodynamique **f** : c'est le lieu de déplacement du centre de poussée **Cp** sur la corde du profil, dans un vol normal. **f** est un petit segment de droite à environ ¼ du bord d'attaque. 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 se déplace avec l'incidence.

Sur delta, Cp se déplace de l'incidence î de portance nulle à celle de décrochage.
Sur parapente, Cp se déplace, de l'incidence î de fermeture à celle de décrochage.
La position du Centre de Poussée par rapport au Foyer Aérodynamique 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**.

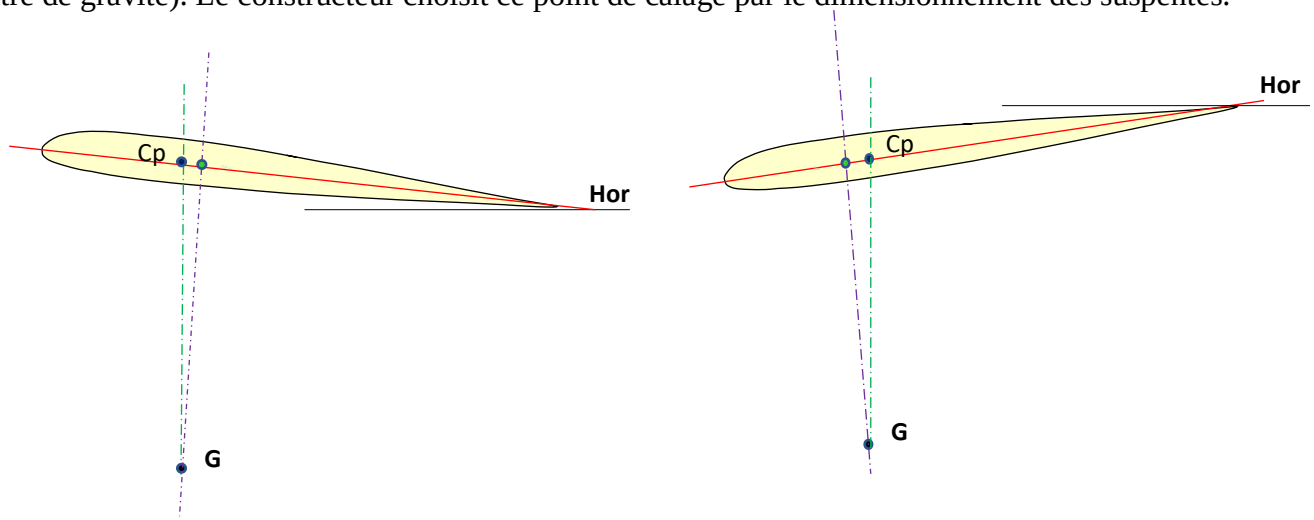


Sensibilité aux variations : $\mathcal{M}_{(G)}\,\overrightarrow{dF}$

- Centrage arrière : tendance à cabrer, instabilité longitudinale,

- Centrage avant : tendance à piquer, stabilité longitudinale, meilleure pénétration, meilleure finesse,

Le point de Calage **c** : est à l'intersection de la corde et la perpendiculaire issue de la position G (centre de gravité). 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.

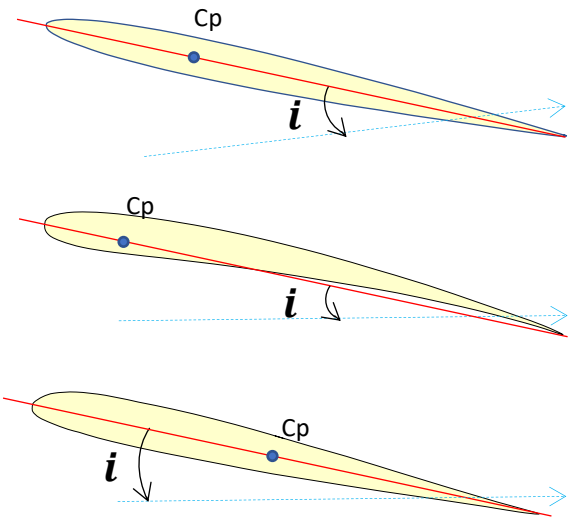
9- Le centre de poussée : Cp

Le centre de poussée Cp est le point d'application la force aérodynamique $\overrightarrow{FA}$. Cp 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 aérodynamique d'un profil). C'est ce qui fait un des critères de choix d'un profil !».

Migration du Centre de poussée sur parapente :

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



Aile symétrique, profil neutre : Cp garde sa position dans la fourchette : 5° < $\hat{\imath}$ < 10°.

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

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

Cas de l'instabilité :

Si î augmente l'aile cabre : Cp avance. Si Cp avance, tendance à cabrer et î augmente….
Si î diminue, l'aile pique : Cp recule. Si Cp recule, tendance à piquer et î diminue….
Cette récursivité n'est pas stabilisatrice car elle accentue l'écart initial.

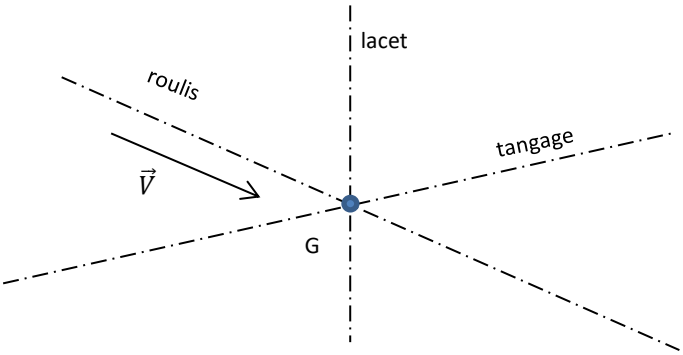
Cas de la stabilité *: Sur avion, où l'aérodynamique est plus complexe, ailes, empennage et fuselage contribuent à la portance et à la stabilité ; à partir d'une incidence voisinant les 12 à 14° le Cp recule, contrant la tendance au décrochage. Nous trouvons cette vertu dans l'aile biconvexe dissymétrique.*

Le centre de poussée ne migre que très peu entre î = 5° et 10°.

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

10- Les axes fondamentaux de l'aéronef

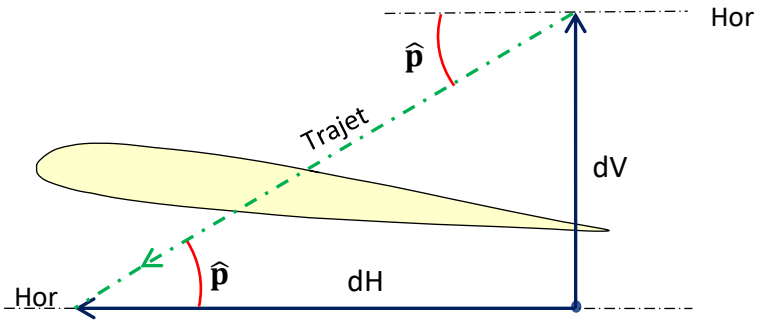
Le centre de gravité G du système, pilote + matériel est le pivot des 3 axes.



11- L'angle de plané (évolution des voiles) :

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

la finesse f = dh/dv ainsi : tan p̂ = dv/dh = 1/f



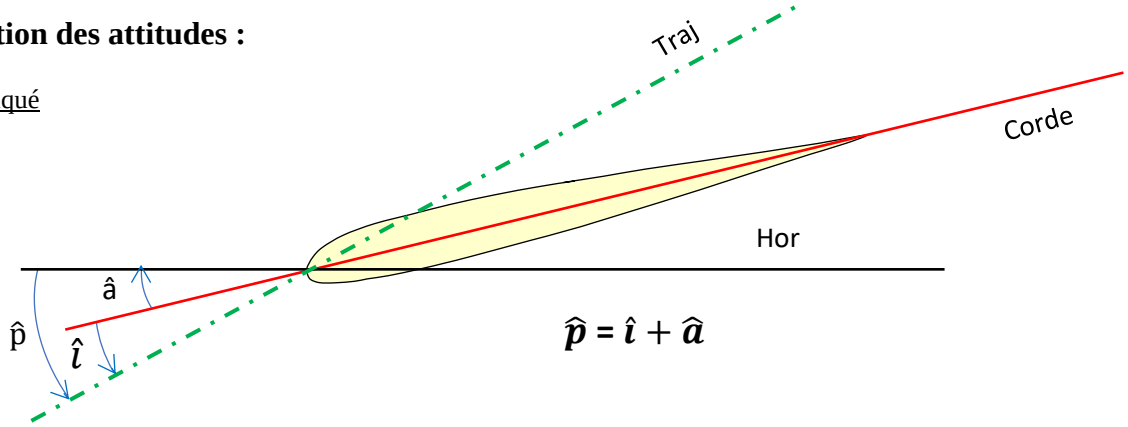
tan p̂ = 1/f avec p̂ = î - â (voir page suivante paragraphe 'plané cabré')

Evaluons **p̂** pour différentes valeurs de finesse max (on choisit une incidence de 9° [entre 8 et 10°])

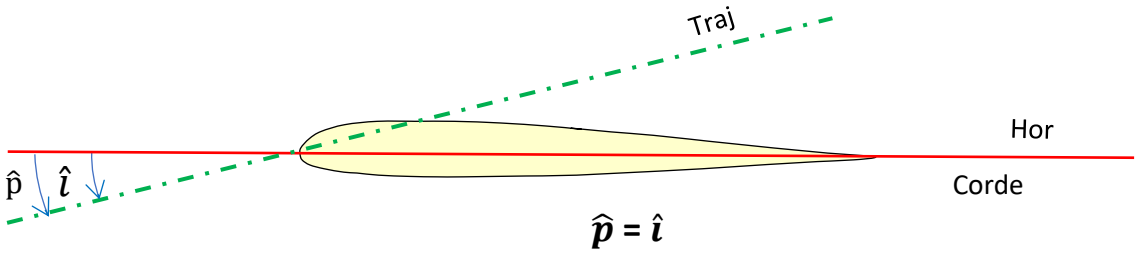
Année	Aile	Finesse	Angle de plané $\hat{p}$	Assiette â = 9°- $\hat{p}$	attitude
1990	ITV vega	4	14°	-5°	piqué
1994	Gypaile	5,5	10°	-1°	piqué
		6,3	9°	0	neutre
2007	Gin Boléro III	7,5	7,5°	1,5°	cabré
2010	moyenne	8	7,2°	1,8°	cabré
	cross	9	6,3°	2,7°	cabré
	Perf	10	5,7°	3,3°	cabré
2016…	Perf +	14	4,0°	5,0°	cabré

Représentation des attitudes :

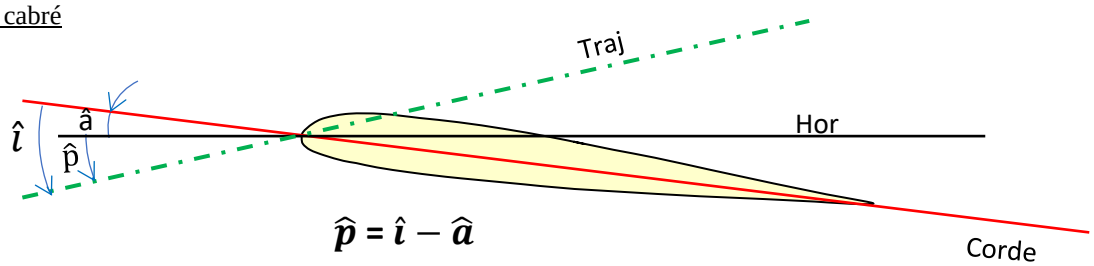
plané piqué



plané neutre



Plané cabré



Depuis quelques années l'assiette **â** de l'aile a progressivement changé de signe. En vol rectiligne équilibré, l'assiette est un cabré (positif) : "l'assiette est un cabré".

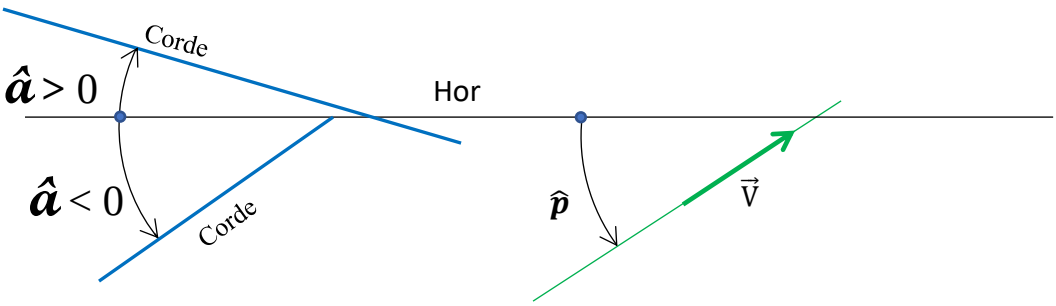
L'expression $\hat{p} = \hat{a} + \hat{\imath}$ largement diffusée est maintenant trop restrictive. Pour exprimer $\hat{p}$, dans la généralité des cas, il serait nécessaire d'opérer sur des arcs orientés, qui ont un signe.

$\hat{p}$, $\hat{a}$ et $\hat{\imath}$ sont positifs ou négatifs selon leurs orientations ; les ailes actuelles imposent un choix.

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

L'incidence **î** : angle compris entre la corde de l'aile et la direction du vent relatif (trajectoire).

L'angle d'assiette **â** : angle compris entre l'horizontale et la corde le 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 → $\boxed{\hat{p} = \arctan 1/\mathbf{f}}$

« $\hat{p}$ 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 est la finesse propre de l'aile.

12- Contribution à la sustentation :

Daniel BERNOULLI (1700/1782) médecin physicien mathématicien suisse,

a mis en évidence les champs de pressions s'exerçant dans un milieu parcouru par un fluide.

La force de portance peut principalement être expliquée en utilisant la seule loi de Bernoulli.

" ***la pression d'un fluide diminue quand sa vitesse augmente*** "

$$\frac{v^2}{2} + \frac{p}{\rho} + z.g = cte$$ avec :

p Pression en un point (en Pa), g Accélération de la pesanteur (m/s²),
v Vitesse du fluide en un point (en m/s), ρ Masse volumique en un point (en kg/m³),
z Altitude (en m).

Si v augmente, il faut que p diminue pour que l'équation soit respectée.

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

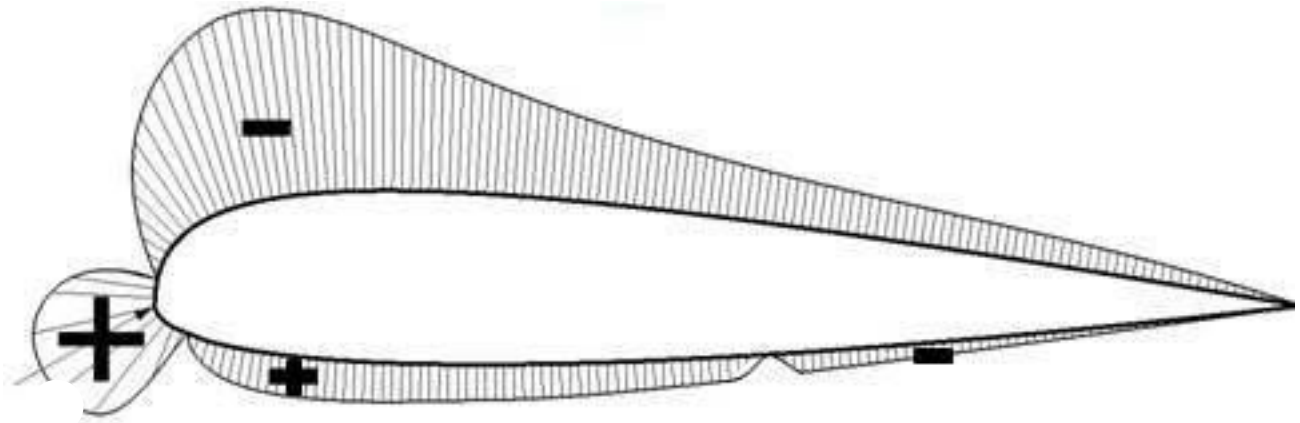
La viscosité : l'air est un fluide et présente une viscosité qui se définit par sa résistance à l'écoulement sans turbulence. La viscosité de l'air participe au phénomène de décrochage.

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, mais 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, l'état de surface du profil…

Application du théorème de Bernoulli : …

Quand le fluide accélère, sa pression diminue ; quand 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 et 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.



Sur l'extrados, la dépression est prédominante.

La Force Aérodynamique $\overrightarrow{\mathbf{FA}}$ 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.

Les aérodynamiciens auront déterminé le profil, en prenant en compte les différentes forces contribuant à la $\boldsymbol{FA}$ 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,
- l'épaisseur relative du profil, 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 hPa selon la vitesse relative soit environ 1/1 000ème 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 2,8 m, une tension de l'ordre de 70 kN 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 pression d'intrados et la succion sur l'extrados auront pour effet d'entretenir 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.

Le milieu aéronautique : l'air

L'air est principalement constitué de molécules de diazote N2 et dioxygène O2. Ces molécules se déplacent linéairement à près de 350 m/s et entrent en collision, elles sont déviées des milliards de fois par seconde. L'intensité de cette agitation est liée à la température du milieu.

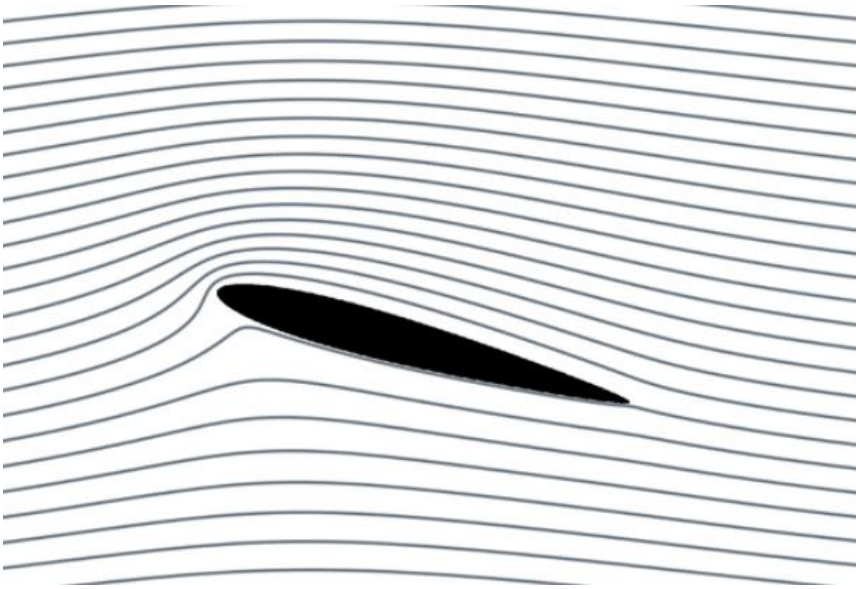
Soumis à un vent relatif, l'intrados recevra plus d'air, donc plus de molécules alors que l'extrados en recevra moins. Il y aura sous l'aile un nombre d'impacts supérieur à la surface du dessus, ce différentiel de collisions se traduit par une différence de pression qui, ramenée sur toute la surface de l'aile, donne à une force orientée vers le haut : la Force Aérodynamique donnant la Portance.

Les équations qui régissent la mécanique d'un fluide comme l'air, sont bien connues.

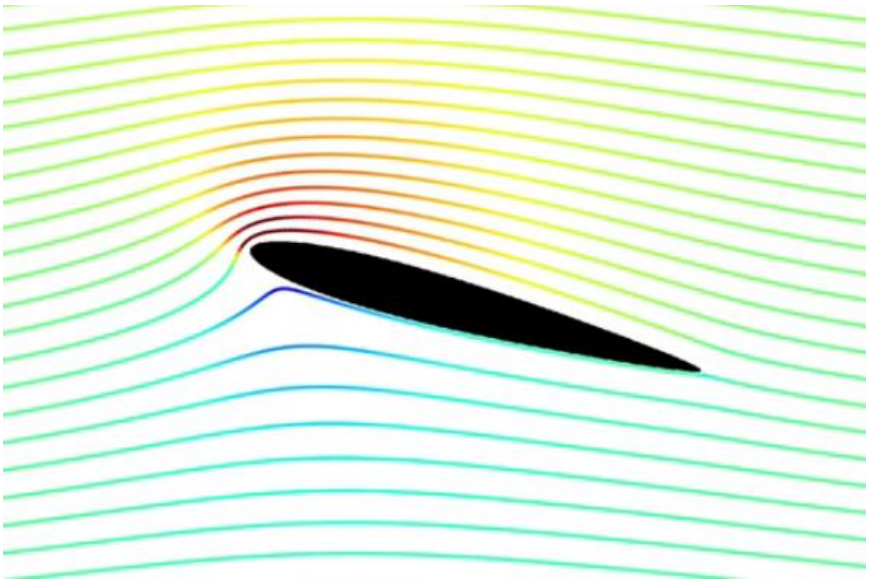
13- Visualisation de l'écoulement de l'air autour d'un profil d'aile :

- En soufflerie + fumée,
- En simulation sur calculateurs puissants et selon l'importance des effets visqueux :
  - application des équations d'**Euler** quand les effets visqueux sont négligeables,
  - application des équations de **Navier-Stokes** quand les effets sont non négligeables.

Observons en simulation ce qui se passe le long **du chemin des lignes de flux** d'air pour un profil et angle d'attaque donné



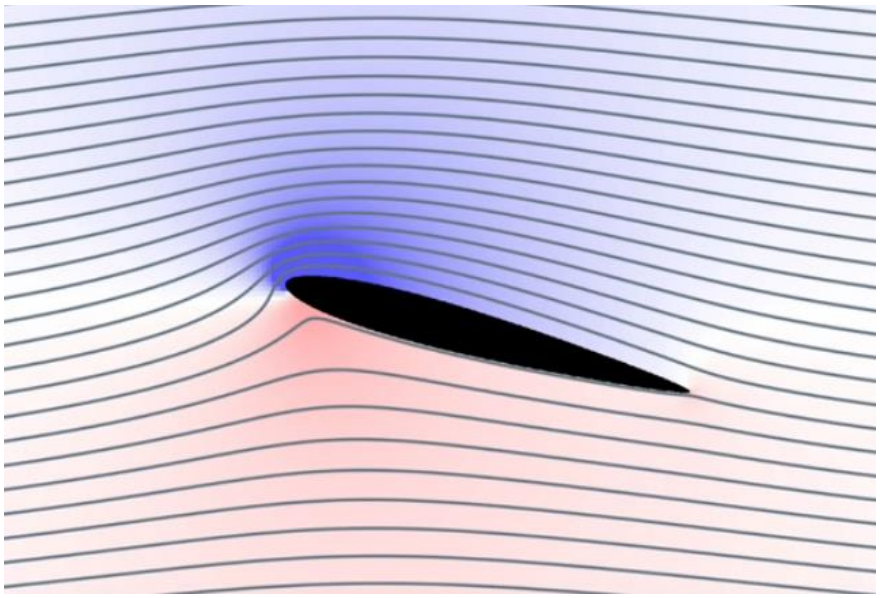
La vitesse du flux d'air autour du profil



La vitesse de l'air varie aux différents endroits de la surface de l'aile.
En rouge les vitesses plus élevées, correspondant aux zones de faible pression, en bleu les vitesses les plus faibles correspondant aux zones de haute pression.

Le lien entre **v**itesse et **p**ression est énoncé dans le principe de Bernoulli :
« le long d'une ligne de flux d'air il y a une relation $\frac{1}{2} \rho \mathbf{v}^2 + \mathbf{P} = \text{cte}$ ».

La pression autour de l'aile



Densité de l'air : blanc normal, rouge/rosé plus dense, bleu plus faible. L'extrados subit moins de chocs que l'intrados il y a moins de pression, alors que l'intrados sera à une pression plus grande, cette différence crée la Force Aérodynamique, d'où la Portance.

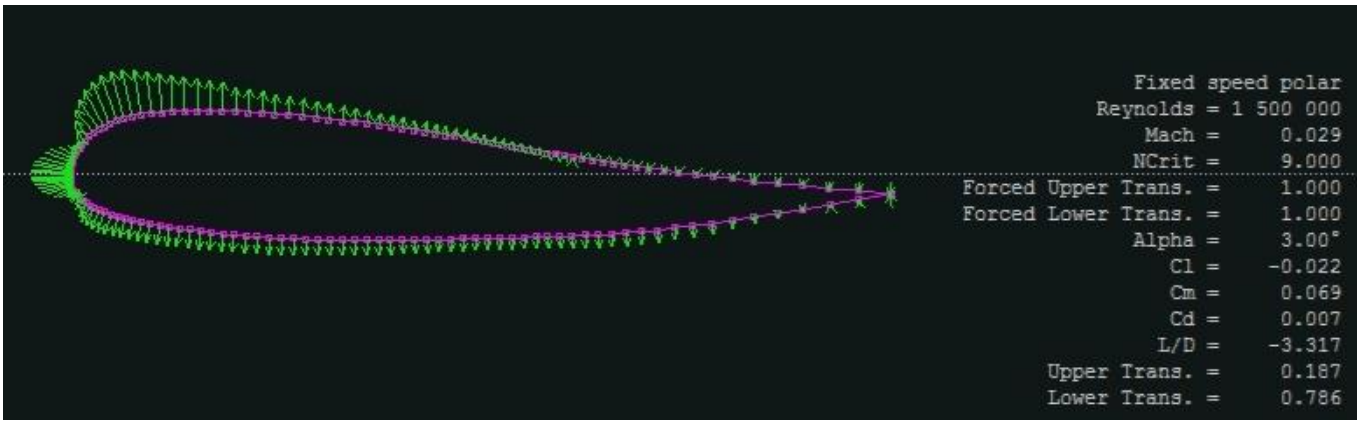
14- Les champs de pressions à différentes incidences :

Observation d'un profil biconvexe dissymétrique 'reflex' dans une application de simulation, et soumis à des incidences variant de -1° à + 15°. 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 montrons des clichés aux incidences suivantes : -1°, +3°, +10°, +15°, et enfin un comportement du profil ‘reflex’ lors d'une forte déformation du profil.

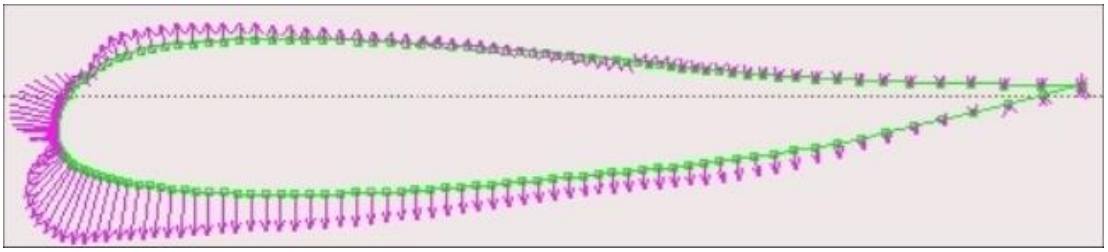
Le vent relatif est parallèle à la ligne pointillée horizontale.

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'intensité de la mesure.

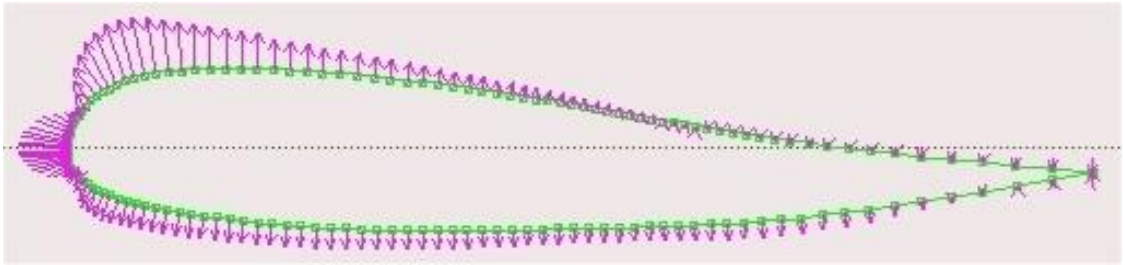


le tableau à droite donne l'angle d'attaque de l'aile ; Alpha (α) = 3.00° c' est à dire l'angle d'incidence à î = 3° .

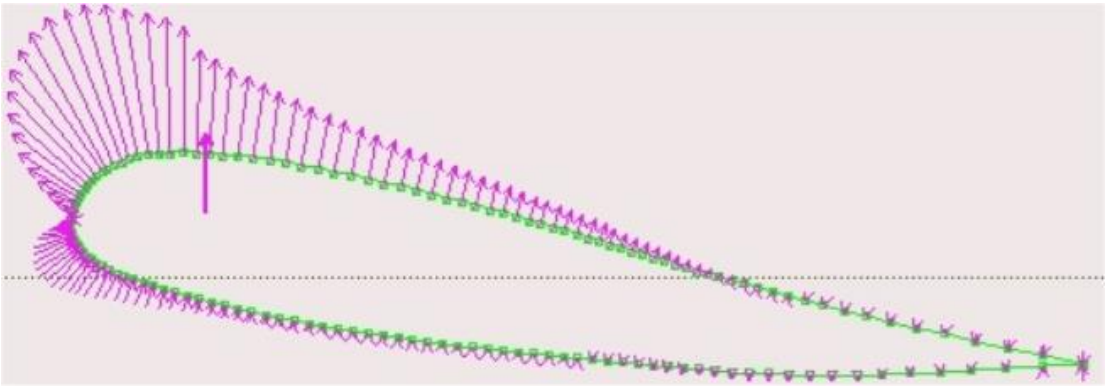
-1°



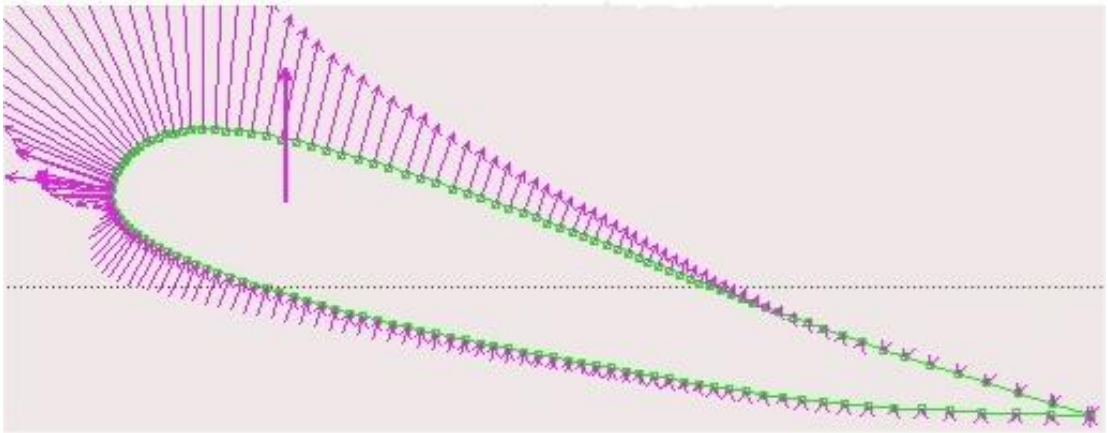
3°



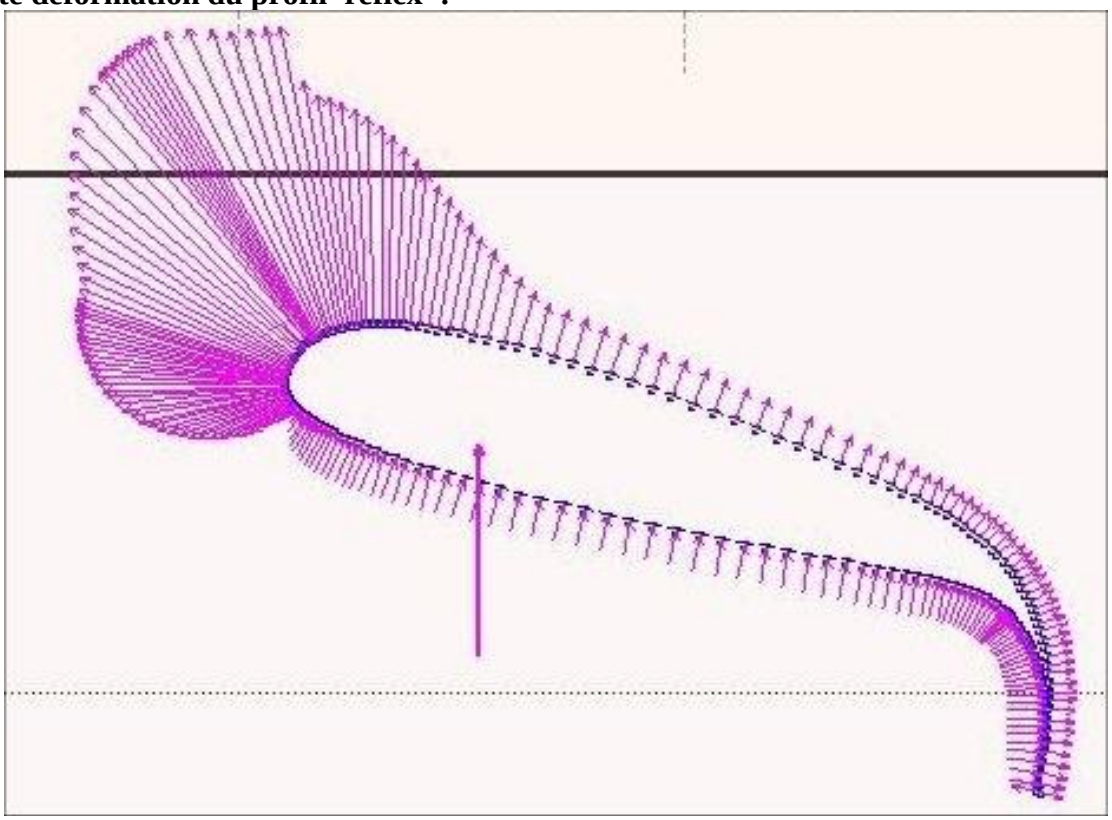
10°



15°

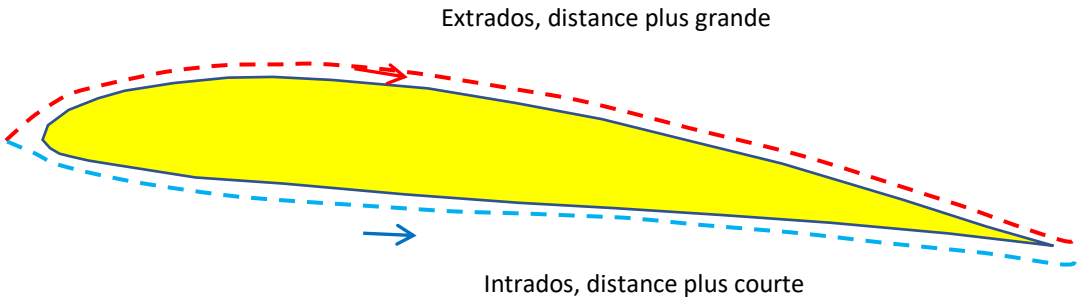


Forte déformation du profil 'reflex' :



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

15- A propos du temps de transit



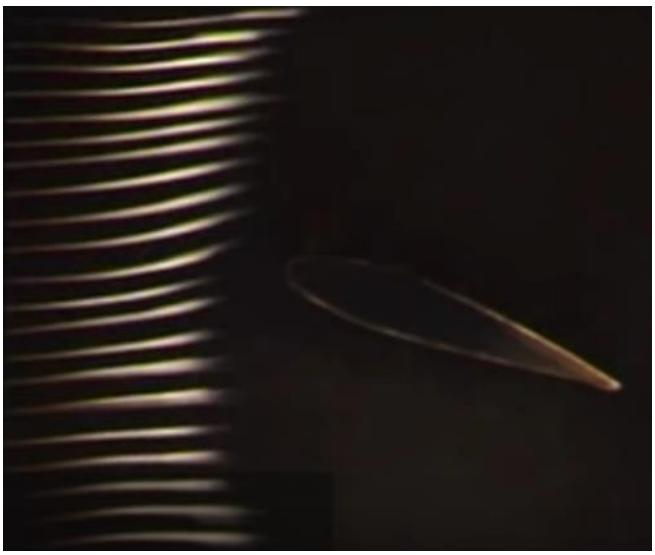
Encore récemment, pour mieux expliquer la Portance et justifier l'implication de la loi de Bernoulli " ***la pression d'un fluide diminue quand sa vitesse augmente*** ", on s'appuyait sur le postulat suivant : « pour un vent relatif donné, le temps de transit de l'air du bord d'attaque au bord de fuite, est le même sur l'extrados ou l'intrados »

Comme l'extrados est plus long, la vitesse d'écoulement sera plus grande que sous l'intrados donc en application de la loi de Bernoulli il existera une différence de pression qui engendrera la portance orientée du bas vers le haut.

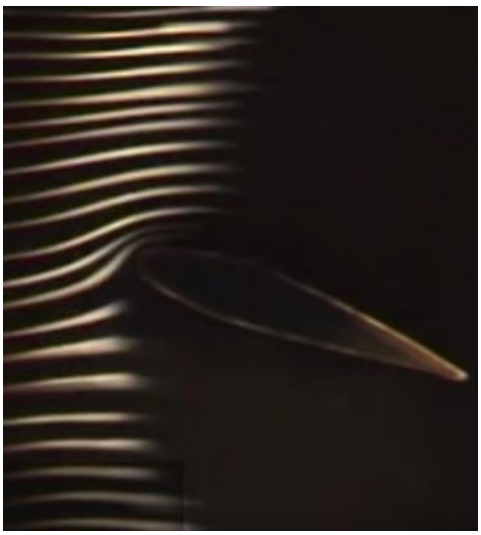
Les essais en soufflerie ou simulations actuellement permises par la puissance de calcul montrent l'obsolescence de ce postulat, bien que cela n'enlève en rien l'exactitude et la portée de la loi de Daniel Bernoulli sur les calculs de portance.

Démonstation

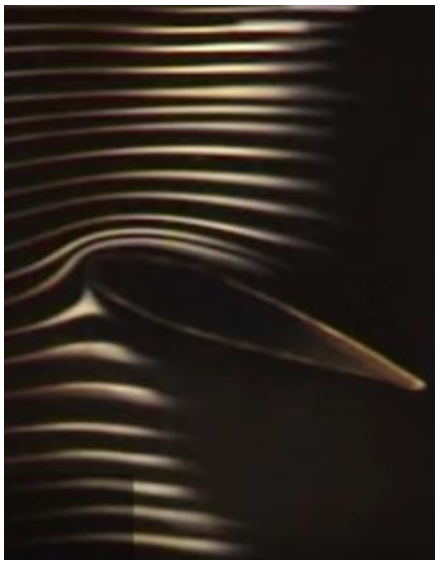
En **soufflerie** sur un profil solide, on injecte par courtes impulsions de la fumée afin de visualiser la propagation de part et d'autre de l'aile (Dept of engineering Univ. of Cambridge)



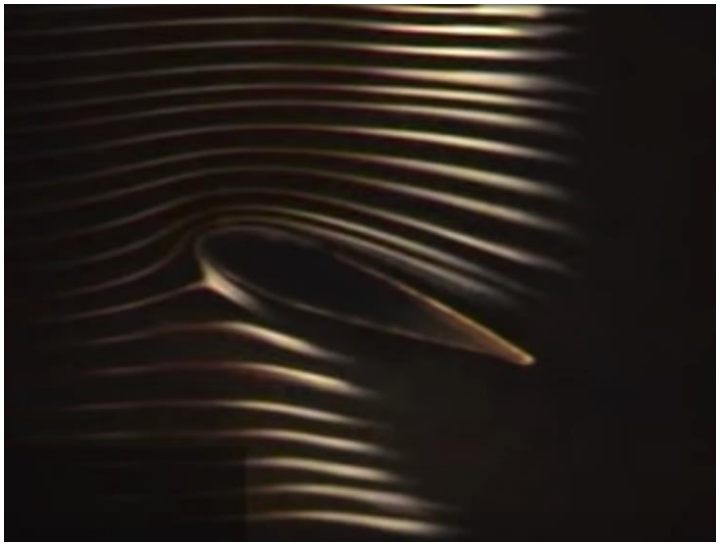
T0



T1

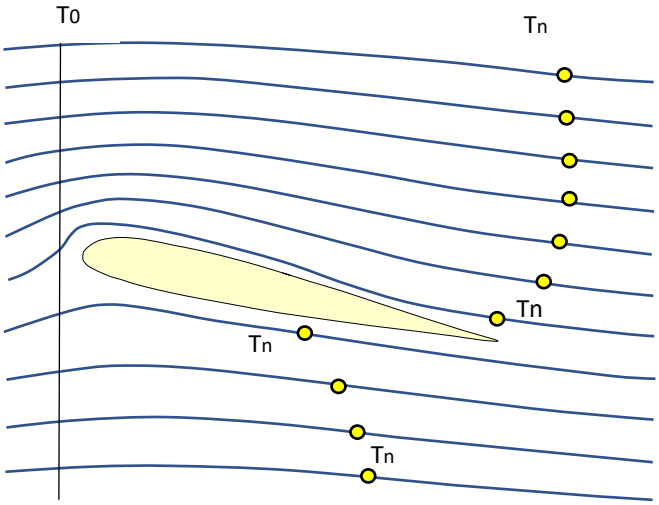


T2



Tn

Simulation : mise en œuvre des équations de Navier-Stokes sur ordinateur puissant :
Sur le cliché, les points démarrent à T0 et sont observés à Tn



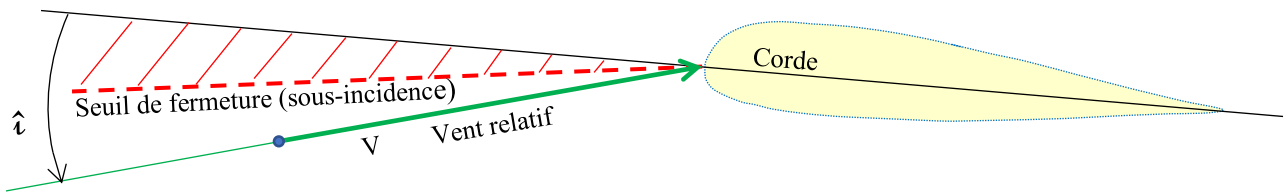
Les outils, de soufflerie et simulation modernes et performants, montrent l'inégalité du temps de transit.

16- Fermeture :

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 î (passage au seuil de fermeture : sous-incidence, voire en valeur négative).
On dira volontiers :
" l'angle d'incidence trop grand, l'aile décroche ! " et "l'angle d'incidence trop faible, l'aile ferme !".



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.

<u>Qu'en est-il pour l'aile delta</u> ? 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 sangle principale 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 entrainer 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, des empennages, ou des câbles de rappel pour les deltas avec mât. Ces artifices techniques tendent à contrer le mouvement de tangage.

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

1) Le parapente et le delta (dans une moindre mesure), sont des systèmes pendulaires.
   Dès lors, l'inertie inhérente au couple piqueur qui peut entrainer le tumbling sera contrée par ce rappel pendulaire. Ce dernier peut être maximisé par une action 'à-pousser' sur la barre de contrôle.
2) 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 M 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 :

En évitant de voler trop lentement dans une zone de cisaillement (le vecteur-vitesse n'est plus à-même de minimiser l'effet de rafale), et éviter d'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).

<u>Implication des Rafales dans une fermeture</u> : (voir la rose des rafales)

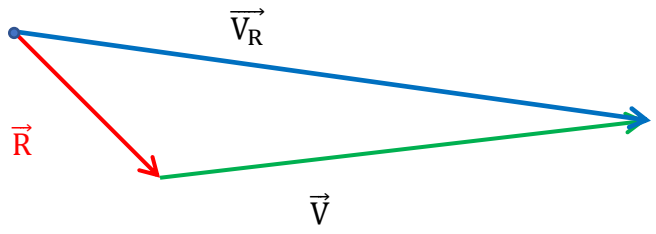
La structure gonflable (donc dégonflable) et les faibles vitesses de vol des parapentes, les rendent très vulnérables à la turbulence

Nous savons que les rafales, conjuguées à la faible vitesse du PUL, sont les causes principales de la variation de l'angle d'incidence, avec parfois un risque de dépassement du seuil de fermeture.

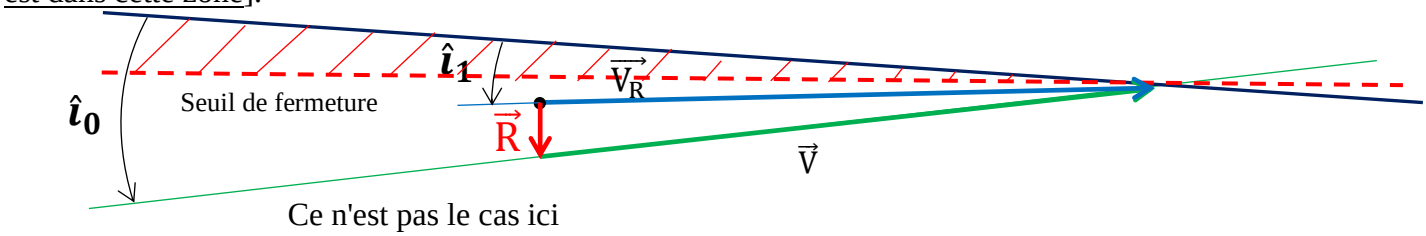
La rafale qui provoque le franchissement du seuil de fermeture est dite rafale efficace.

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

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

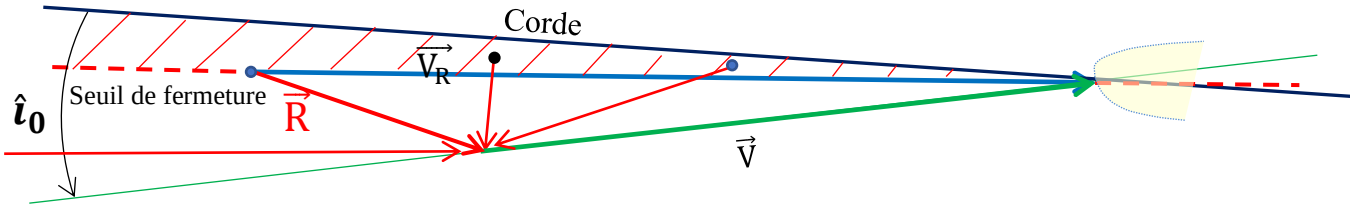


Cette méthode de construction géométrique, vraie quelle que soit l'orientation de la rafale $\vec{R}$, montre en lecture directe, si le vecteur résultant $\overrightarrow{V_R}$ est dans la zone de fermeture [ce sera vrai si l'origine de $\vec{R}$ est dans cette zone].



Pour provoquer une fermeture, la rafale R devra venir du dessus de la direction du vent relatif V et avoir 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 $\vec{V}$ donne le vecteur $\overrightarrow{V_R}$ avec une nouvelle incidence de vol au seuil de la sous-incidence.



On parlera de :

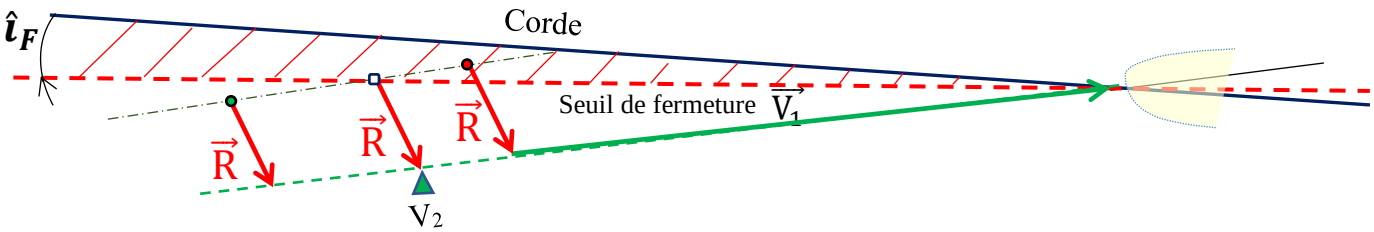
- rafale de face,
- rafale de face plongeante,
- rafale descendante ou de-dessus,
- rafale arrière descendante,
- rafale arrière.

Valeurs remarquables de l'angle d'incidence î.

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

Une plus grande vitesse nous écarte du risque de fermeture :



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

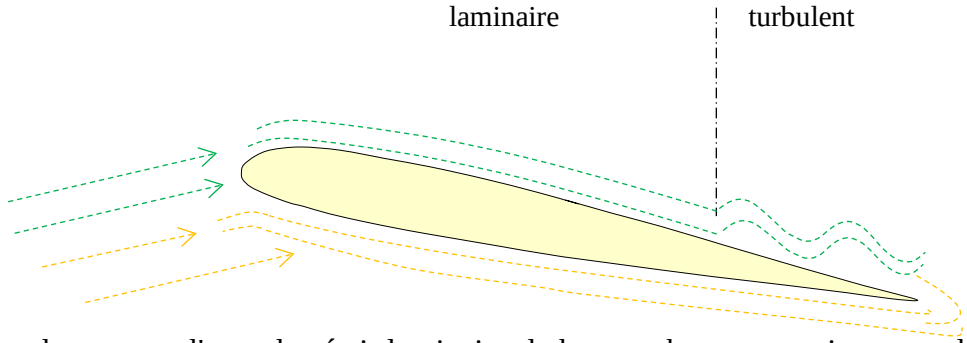
Avec une vitesse supérieure à $\overrightarrow{V_2}$, la même rafale ne nous conduira pas à la fermeture.

17- 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 décrochage 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.

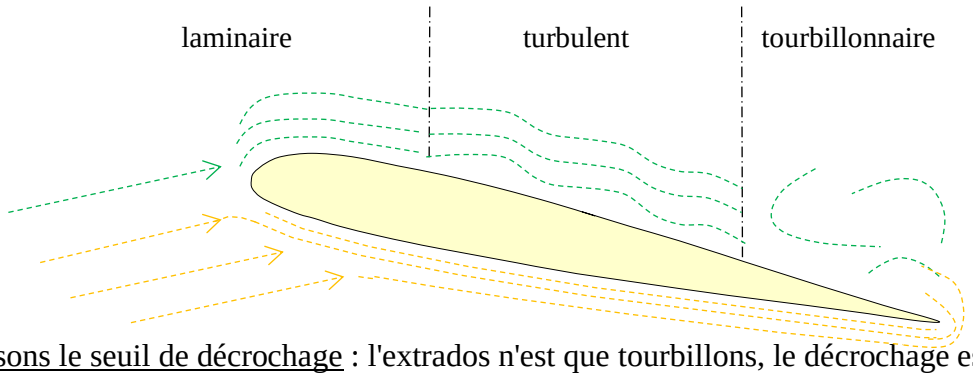
Dépassons légèrement l'incidence 15° **:**



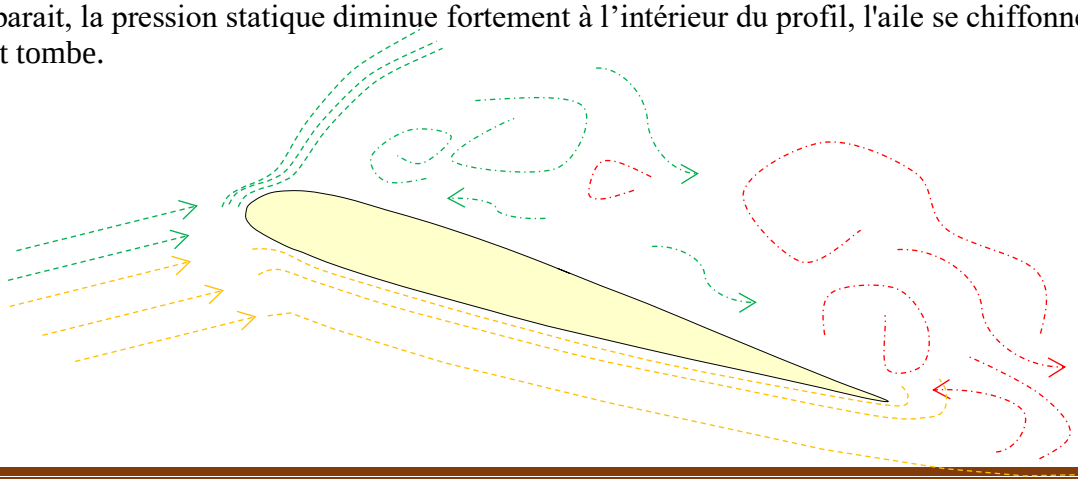
Alors que l'écoulement sur l'extrados était laminaire de bout en bout, apparaissent quelques turbulences vers le bord de fuite. L'air se déplace encore dans le bon sens.

Approchons du seuil de décrochage $\hat{\imath}_D$

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 avec le profil.

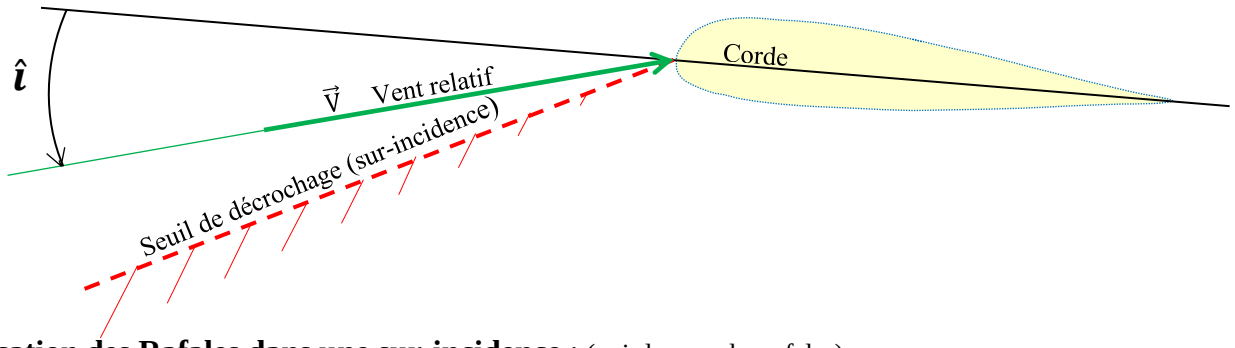


Franchissons le seuil de décrochage : l'extrados n'est que tourbillons, le décrochage est brutal, la portance disparait, la pression statique diminue fortement à l'intérieur du profil, l'aile se chiffonne, n'avance plus et tombe.



18- 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.

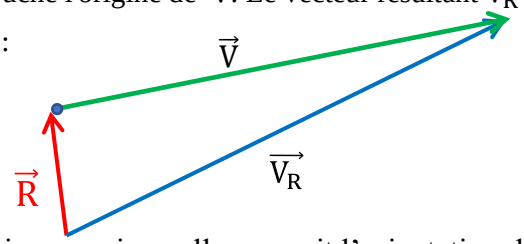


<u>Implication des Rafales dans une sur-incidence</u> : (voir la rose des rafales)

Nous savons que les rafales, conjuguées à la faible vitesse du PUL, sont une cause très importante de la variation de l'angle d'incidence avec parfois un risque de dépassement du seuil de décrochage ou de fermeture. La rafale qui provoque le franchissement du seuil est dite rafale efficace.

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

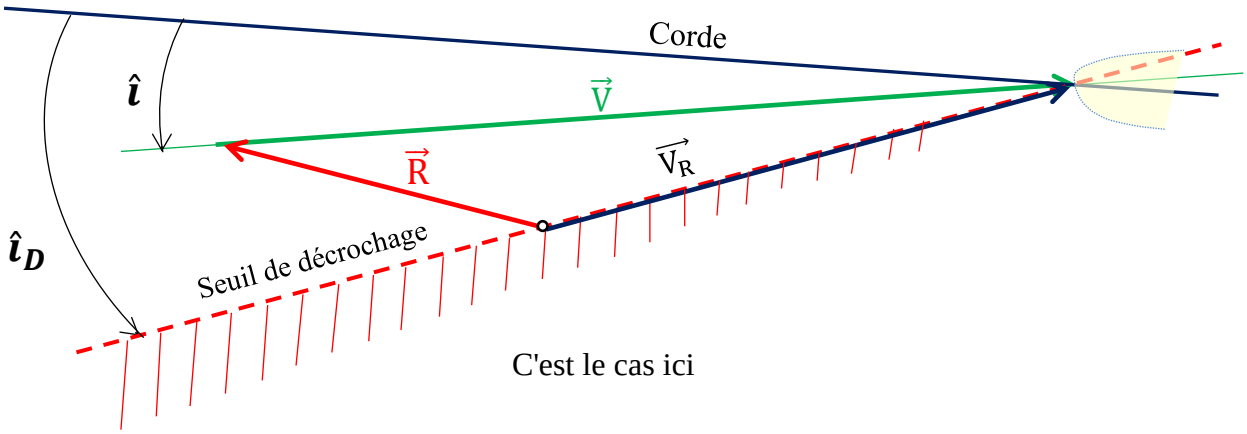
On place $\vec{R}$ de sorte que son extrémité touche l'origine de $\vec{V}$. Le vecteur résultant $\overrightarrow{V_R}$ a son origine sur l'origine de $\vec{R}$ et son extrémité sur l'extrémité de $\vec{V}$:



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

La construction du vecteur résultant $\overrightarrow{V_R}$ montre qu'il sera dans la zone de décrochage si l'origine de $\vec{R}$ est dans cette zone. Notons l'incidence de décrochage $\hat{\imath}_D$.

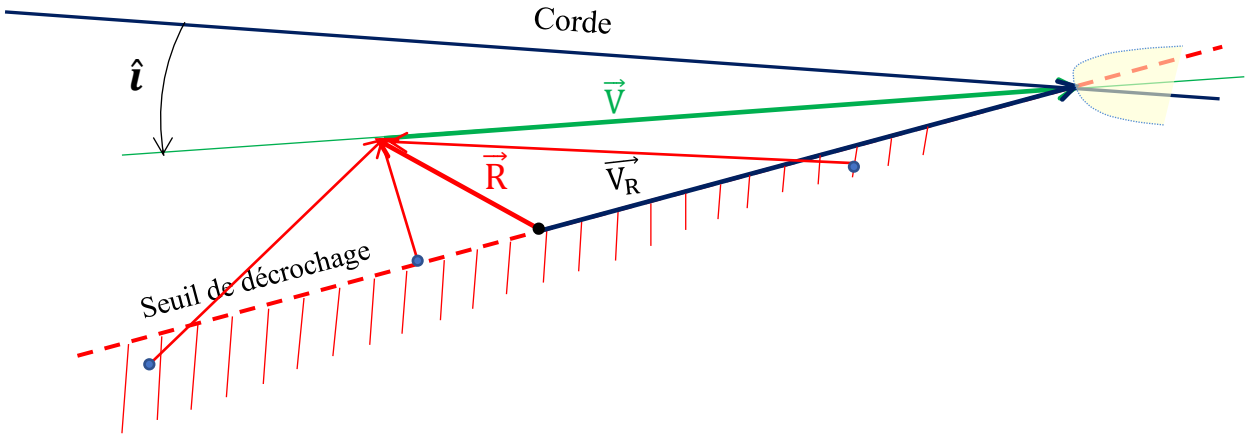
Soit **V** un vent relatif pour une incidence $\hat{\imath}$: vient alors une rafale $\vec{R}$, quel va être le nouveau vent relatif résultant $\overrightarrow{V_R}$ et entre-t-il en zone de décrochage ?



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 $\vec{R}$ 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.

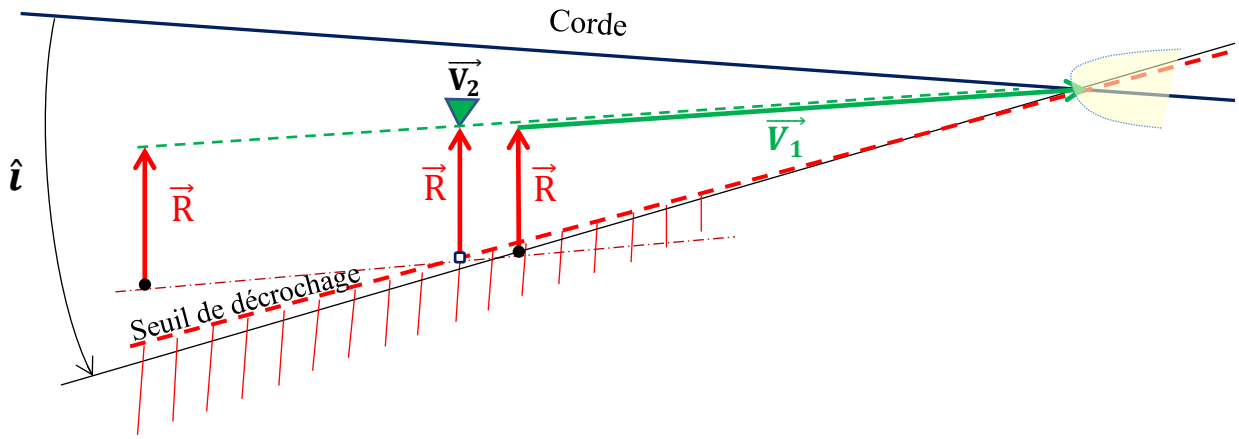
Pour l'exemple, voici différentes rafales susceptibles de provoquer le décrochage. $\vec{R}$ (à 4h) combinée avec $\vec{V}$ donne le vecteur $\vec{V_R}$ avec une nouvelle incidence de vol, au seuil de la sur-incidence.



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 :

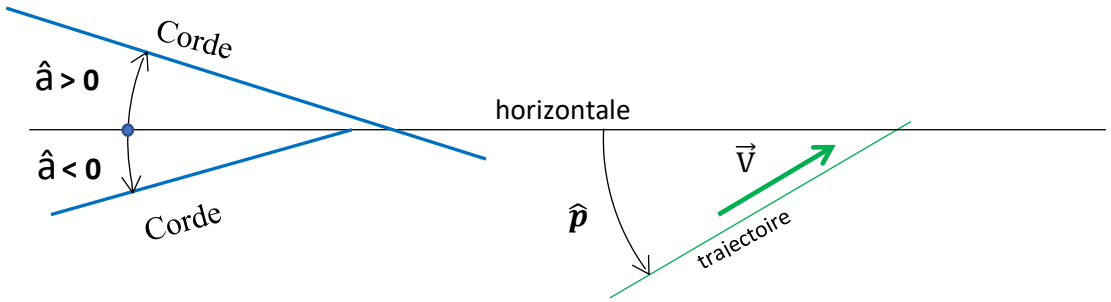


Avec $\vec{V_1}$, nous risquons le décrochage pour une rafale montante de force $\vec{R}$ donnant une incidence dépassant le seuil de sur-incidence.

Avec une vitesse supérieure à $\vec{V_2}$, la même rafale ne nous conduira pas au dépassement.

19- L'Assiette â :

L'assiette est l'attitude de la voile ou du delta par rapport à l'horizon.
C'est l'angle **â** entre l'horizontale et le plan de l'aile (corde pour le parapente le delta ou tout aéronef).
â est >0 si la corde est au-dessus de l'horizontale,
â 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'incidence en manœuvrant sa barre de contrôle. Le pilote conjugue vitesse et incidence pour obtenir différentes assiettes.

L'incidence :

L'incidence est l'angle formé par la trajectoire/air (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 (entre deux phases de vol équilibré).

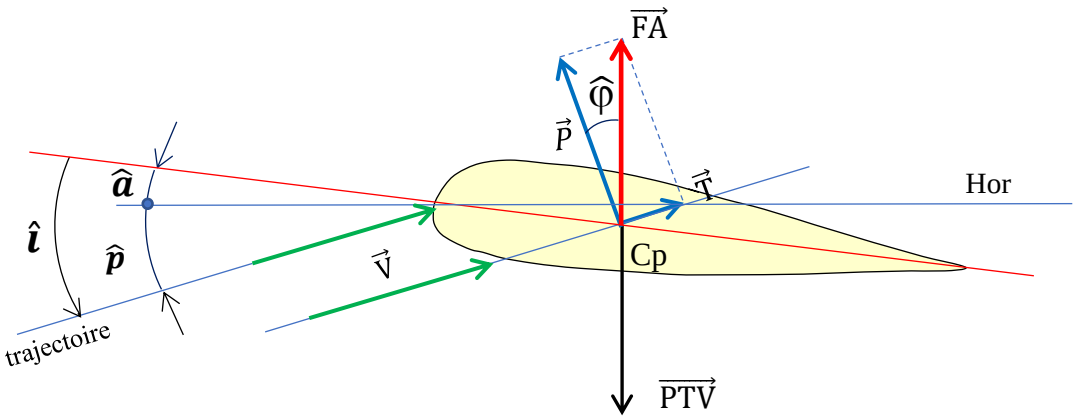
20- Les repères aérodynamiques d'un profil d'aile en vol rectiligne équilibré :

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 Cp au 1er tiers sur la corde,
  - le vent relatif $\vec{V}$, l'horizontale.

- Les angles incidence $\hat{\imath}$ l'assiette $\hat{a}$ et plané $\hat{p}$.
- Les vecteurs forces en présence, en vol rectiligne équilibré :
  - 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 Cp au vent relatif (et à $\vec{T}$) orientée vers le haut.
  -

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



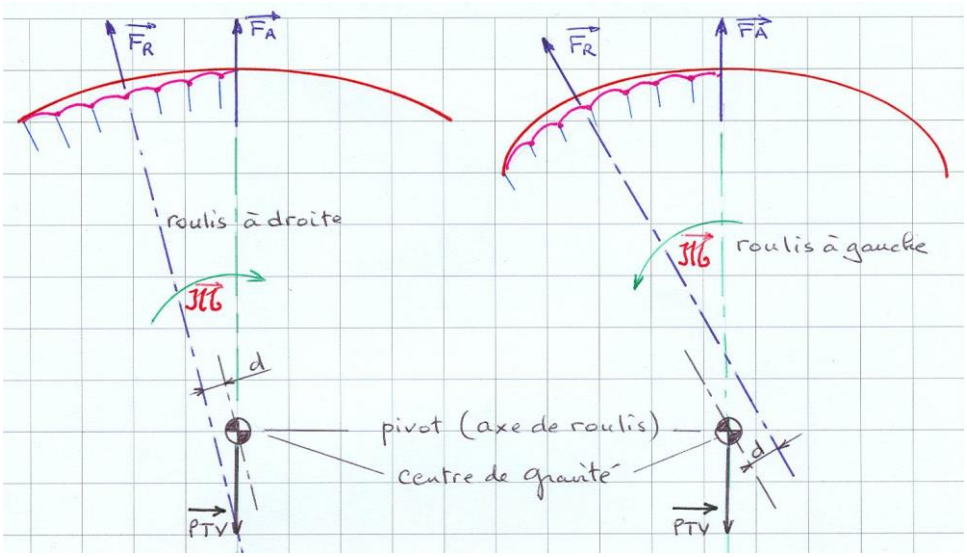
Repérons les angles de vol : $\hat{p}$ angle de plané, $\hat{\imath}$ incidence et l'assiette $\hat{a}$

21- 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, j'actionne 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 voûtée !



En situation initiale la force aérodynamique $\vec{FA}$ et le $\vec{PTV}$ s'équilibrent. En actionnant la commande à gauche, une portance supplémentaire $\vec{F_R}$ est créée. En s'appliquant à gauche du Centre de Gravité pivot (axe de roulis), $\vec{F_R}$ crée un moment de roulis $\vec{\mathcal{M}}$ à droite, à l'inverse de l'effet recherché. C'est le roulis inverse.

Le roulis normal : à droite nous avons une aile présentant un bon compromis entre voûte et longueur de suspentage. La voûte est plus marquée. La droite d'action de $\vec{F_R}$ s'applique à droite et à distance d du Centre de Gravité pivot (axe de roulis), et crée un moment de roulis $\vec{\mathcal{M}}$ à gauche [$\vec{\mathcal{M}} = \vec{Fr} * d$].
L'aile pivote autour de l'axe de roulis, c'est le roulis attendu. L'appui sellette du pilote permet de renforcer le roulis sans augmenter la trainée de l'aile.

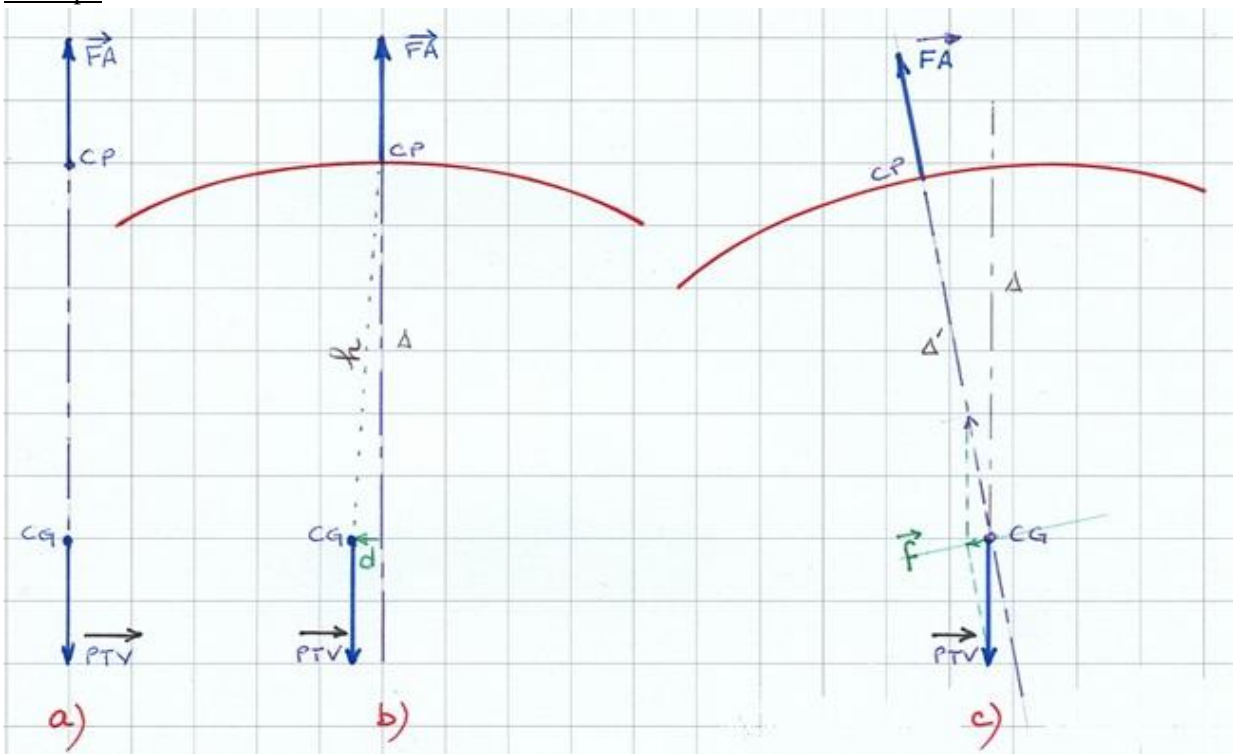
Virage équilibré : pour que l'aile vole normalement dans un virage, elle doit engager trois mouvements de rotation autour des trois axes (Roulis, Lacet et Tangage).

- L'augmentation de portance, liée à la commande, provoque un moment de roulis dans le bon sens.
- La trainée augmente du même côté, induisant du lacet dans le bon sens (vers la gauche).
- L'aile étant inclinée, la commande provoque aussi du tangage essentiel au bon déroulement de notre virage. En effet, la trainée créée par action à la commande, ralentit la voile, tandis que le pilote, par inertie, conserve sa vitesse. Par effet- pendulaire il se retrouve sensiblement devant la voile ; un moment à cabré est appliqué au parapente c'est le cadencement.

Autre possibilité pour virer, l'appui sellette :

L'appui sellette à gauche déplace le Centre de Gravité à gauche et crée un moment positif à gauche $\overrightarrow{\mathcal{M}} = \overrightarrow{FA} * d$ dans le bon sens. Le rendement dépendra de la distance d, c'est-à-dire, plus ou moins d'appui sellette ; 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.

a) Vol rectiligne : $\overrightarrow{FA}$ et $\overrightarrow{PTV}$ sont verticalement alignés, le système est équilibré.
b) Engagement à la sellette : le pilote porte son poids du côté où il veut tourner, à gauche : CG n'est plus verticalement aligné avec le centre de poussée CP.
$\overrightarrow{FA}$ exerce un moment $\overrightarrow{\mathcal{M}} = \overrightarrow{FA} * d$ 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 $\overrightarrow{\mathcal{M}}$ de PTV est nul).
Cette rotation a remis $\overrightarrow{FA}$ en alignement avec CG, il n'y a plus de moment : $\overrightarrow{\mathcal{M}} = \overrightarrow{0}$.

c) Virage stabilisé : le système parapente-pilote a effectué une rotation autour de l'axe de roulis.

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

Nouvelle trajectoire du vecteur vitesse :

L'inclinaison du système autour de l'axe de roulis donne naissance à une force $\vec{f}$ à effet centripète qui va imposer au système une altération régulière de la trajectoire. La nouvelle trajectoire du point d'application de v, donc du système, est un cercle dont le rayon R dépendra de la vitesse v (vitesse propre), ainsi que de la composante horizontale $\overrightarrow{Fcp}$ de la force $\vec{f}$ origine de l'accélération radiale.

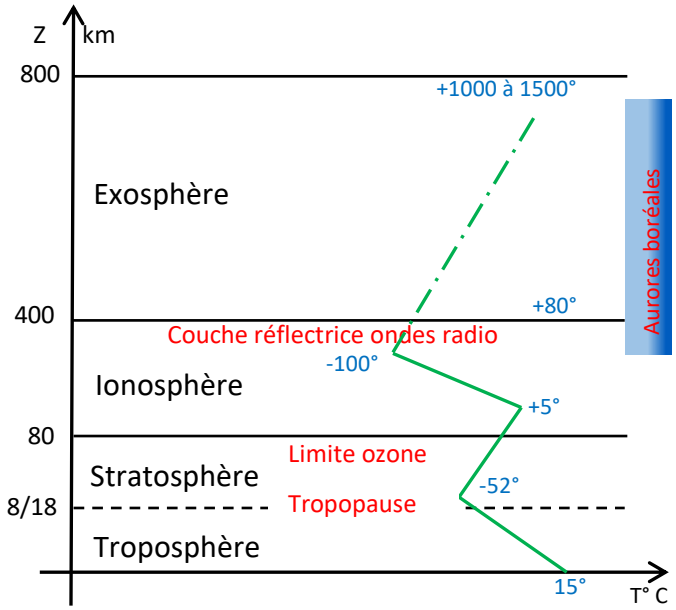
Compléments de MÉTÉOROLOGIE

Sommaire :

1- Les couches de l'atmosphère,
2- La pression atmosphérique,
3- Caractéristiques de l'air,
4- Application de la loi des gaz parfaits,
5- Les adiabatiques,
6- Représentation du gradient adiabatique
7- Emagrammes,
8- Diagramme des changements d'états,
9- Directions du vent. .

1. Les couches de l'atmosphère :

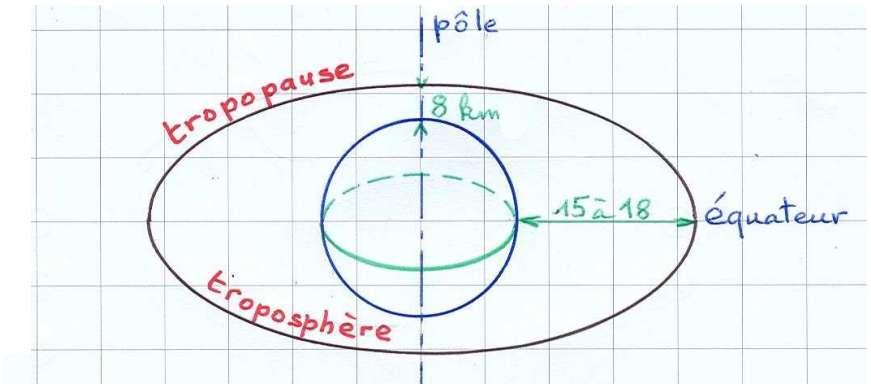
L'atmosphère entoure la Terre sur une épaisseur de 800 km, plusieurs couches la composent.



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

La stratosphère mitoyenne, est enceinte d'une couche d'ozone, protectrice.

La troposphère : est la première couche de l'Atmosphère. Elle est aplatie sur les pôles, en raison de la force centrifuge exercée sur l'air par la rotation de la Terre, et d'épaisseur croissante du pôle vers l'équateur. Sa limite, la tropopause, est à environ 8 km des pôles et 15 à 18 km de l'équateur. La troposphère contient environ 80% de la masse d'air de l'Atmosphère et + de 99% de sa vapeur d'eau.

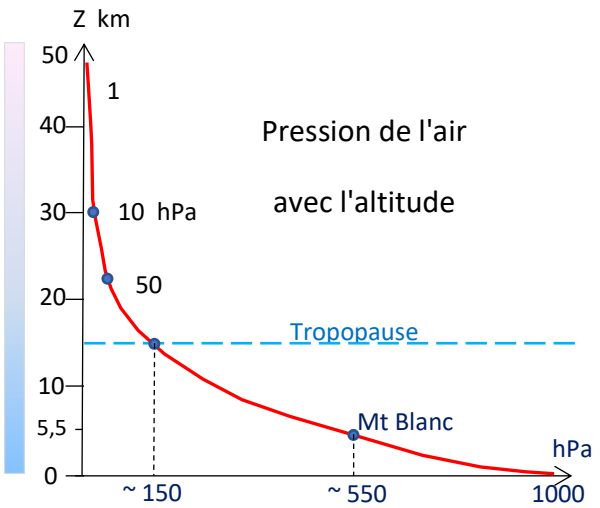


L'air est une composition de gaz et vapeur d'eau : 78% d'azote (N_2), 21%d'oxygène (O_2), des gaz rares, du dioxyde de carbone (CO_2) et d'eau (OH_2).

2. La pression atmosphérique : Cet air est pesant (gravitation), sa masse volumique est d'environ 1,293kg/m^3 au niveau de la mer. Plus on va s'élever et moins l'air sera dense. Ce poids est une force qui, ramenée à l'unité de surface, donne la pression atmosphérique.

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 (**h**ecto**Pa**scal) soit ~1kgf /cm^2 soit ~ 1 Bar.

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 5500 m ~ 500 hPa, la quantité d'oxygène suit dans le même rapport, attention à l'hypoxie.
- au niveau de la Tropopause, ~150 hPa …
- à 160 km Pression atmosphérique ~ 1Pascal,

  100 000 fois plus petit qu'au niveau 0.

Action du soleil 15% du rayonnement solaire est absorbé par l'ozone de la stratosphère, 45% du flux réchauffe la surface terrestre tandis que 40% est réfléchi dans l'espace.

Variation de l'effet du Soleil :

- Inclinaison Terre / Soleil → saisons,
- Eruptions et taches solaires,
- Nuages et pollution de l'air.

3. 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°** et à sa pression **p.** L'humidité relative est le rapport entre le contenu en vapeur d'eau de l'air et sa capacité maximale à en contenir dans les mêmes conditions de pression et de température ; au-delà il y a condensation.

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

Sahara, région centrale : Hr= 4 à 20%
Aux Tropiques : T~35°C, Hr=100% → 40g de vapeur d'eau /m^3.

Quantité max de vapeur d'eau en fonction de la température (g/m^3) à pression standard

T°C	-10°	-5°	0°	5°	10°	15°	20°	30°	40
Q max	2	3	4,5	6,5	9,5	13	17	30	50

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

4. 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 avec le doigt, l'orifice de la pompe et que l'on enfonce le piston, on ressent en effet, un échauffement qui est dû à l'augmentation de la pression. C'est ce qui arrive à une masse d'air quand elle s'affaisse sur elle-même.

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

Réciproquement on constate, quand on appuie sur la valve de la chambre à air et que le pneu se dégonfle, une sensation de froid qui est due à la détente de l'air.

Ce sont des principes de la Thermodynamique, dont il convient de rappeler au moins une de ses lois. Par exemple, celle du gradient adiabatique qui lie pression et température atmosphérique dans la troposphère **:**

$$\frac{P_z}{P_0} = \left[\frac{T_z}{T_0}\right]^{\frac{R}{Cp}}$$

Où P_0 et T_0 : sont la pression et température de référence,

P_z, T_z : un point de mesure à une altitude z,

R : constante des gaz parfaits, Cp : capacité thermique de l'air.

En atmosphère standard $\frac{R}{Cp} = 5{,}255$

Cette formule (résultant des lois de Gay-Lussac, Avogadro, Charles et Mariotte), nous montre cette relation entre P et T, et va permettre le tracé des réseaux d'adiabatiques sèches et humides indispensables à la construction des ***émagrammes***.

Une fois admise cette relation entre Pression et Température, tout va s'enchainer dans la compréhension de la formation des nuages.

5. Les adiabatiques :

L'air atmosphérique contient de l'eau et l'air est un isolant, par conséquent, tout changement d'état de l'eau (vapeur, liquide, solide) contenue dans une masse d'air, s'effectue sans échange de chaleur avec l'extérieur : nous parlons alors de <u>transformation adiabatique</u>.
Le passage de l'état vapeur à l'état liquide s'appelle la condensation et produit de la chaleur,
Le passage de l'état liquide à l'état vapeur s'appelle l'évaporation et absorbe la chaleur,

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

L'adiabatique sèche (**dite 'adiabatique'**) : lorsque l'air (non saturé), subit une modification de pression, par un changement d'altitude Z par exemple, sa température subit une variation de même sens dont le gradient est constant à 9,75 °C/ km dans toute la troposphère. On le fixe à 10 °C/km.

⇨ ***Gradient de l'adiabatique sèche*** : **-10 °C/1 000 m soit -1 °C/100 m d'élévation**

L'adiabatique saturée (adiabatique **humide** ou **pseudo**-adiabatique) lorsque l'Humidité relative est à 100% : dès lors

si **T**↘ la vapeur d'eau poursuit sa condensation,
si **T**↗ la gouttelette excédentaire se vaporise.

Quand Z↗ il y a détente, alors **p**↘ et **T**↘. En s'élevant, la parcelle d'air saturé subit une détente adiabatique, le passage de l'état vapeur à l'état liquide (condensation) est source de chaleur, réduisant ainsi l'intensité du refroidissement de la particule. La vapeur d'eau et la chaleur latente qu'elle contient jouent en modérateur.

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

Les valeurs extrêmes du gradient saturé Tps : ~ 2,5 °C $_{(+40°C)}$ < T_{ps} < 9,78 °C $_{(-40°C)}$ par 1 000 m.

La valeur moyenne communément admise est 6,5°C /1000m soit 0,65°C / 100m.

Variation du Tps selon la pression

- à 1 000 hPa (z=0) : de −3,15 °C/ km (+40 °C) à −9,78 °C/ km (-40 °C).
- à 500 hPa (z= 5500 m) : de −2,55 °C/ km (+40 °C) à −9,54 °C/ km (-40 °C).

⇨ ***Gradient adiabatique saturée standard :*** **-6,5 °C /1 000 m soit -0,65 °C par 100 m d'élévation**

Cette valeur f(T°, P) est un standard ISO qui tient compte des latitudes et niveaux d'évolution.

Conséquence des transformations adiabatiques :
en vertu de la loi générale sur les gaz parfaits,

quand Z↗ : la pression **p**↘ il y a détente, et la température **T**↘

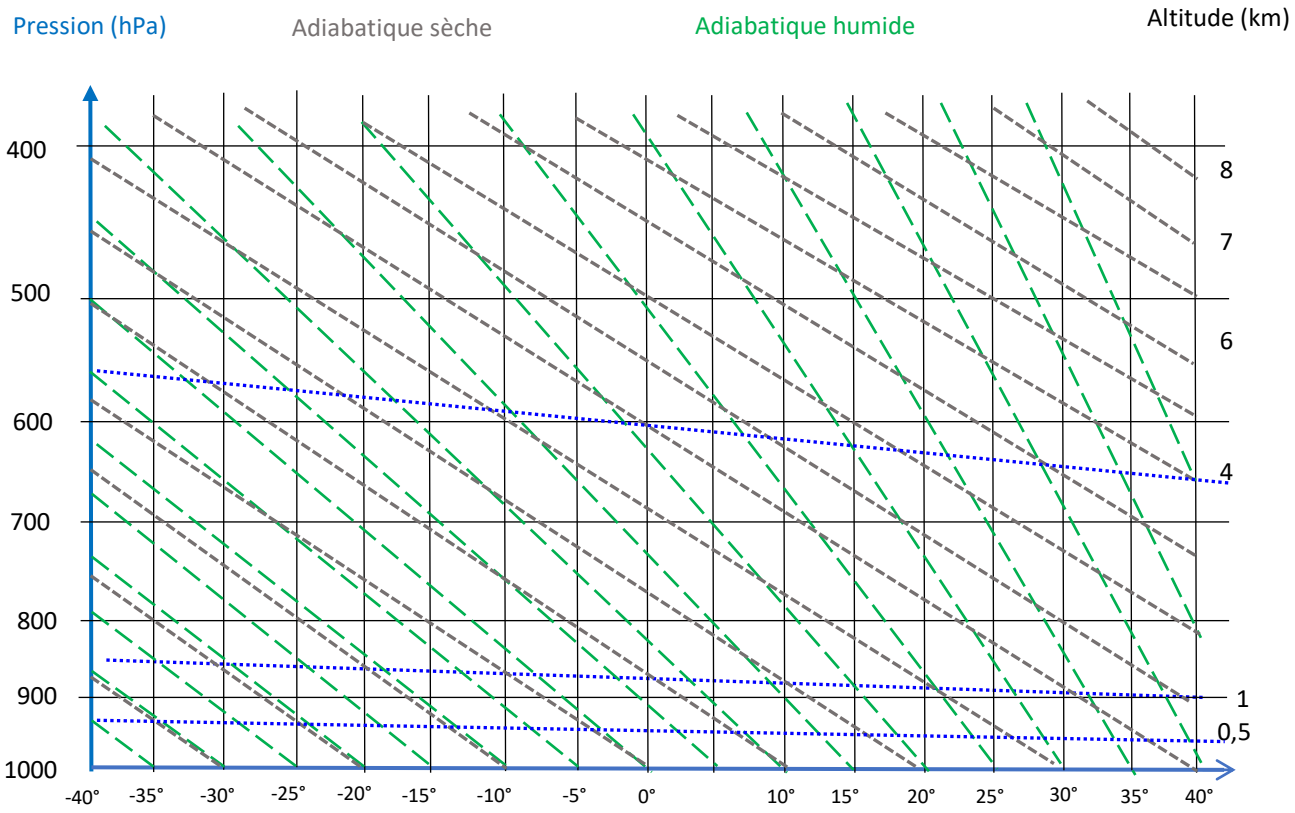
quand Z↘ : il y a compression, **p**↗ et **T**↗ : en descendant, la parcelle d'air saturé subit une compression adiabatique, et des gouttelettes vont se vaporiser (ou se sublimer) ; ce changement d'état va consommer de la chaleur, donc produire du froid, et va modérer l'élévation de température due à 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.

6. Représentation graphique du gradient des adiabatiques sèches et humides.

Le gradient : au sens général, c'est la variation d'une grandeur par rapport à une autre grandeur.

Gradient de température : variation de la température en fonction de l'altitude.

Aux très basses températures, la valeur du gradient de l'adiabatique humide tend vers celui de l'adiabatique sèche (voir les valeurs dans le paragraphe précédent
La pression p diminue quand l'altitude z augmente… L'échelle des pressions est logarithmique.

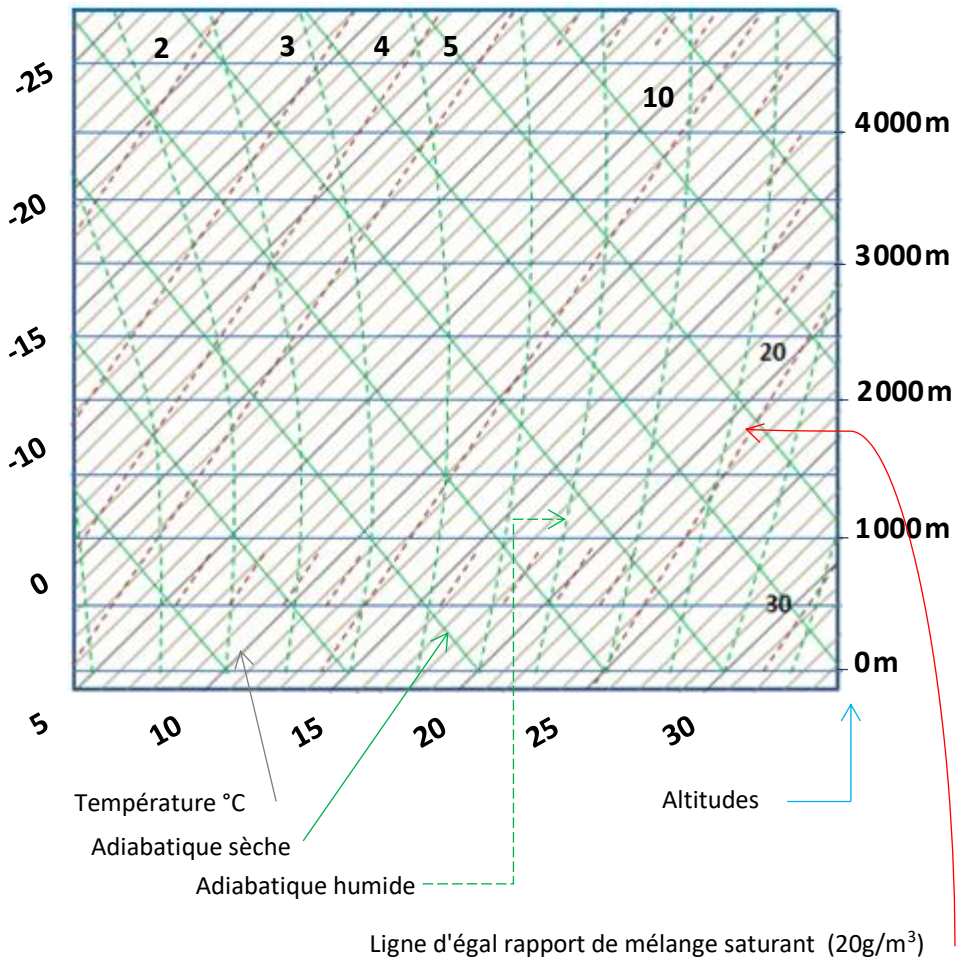


Dans sa représentation graphique l'adiabatique sèche est toujours plus inclinée à gauche que l'adiabatique humide (puisque le gradient de température est plus fort).

Remarque sur l'échelle des altitudes.
On sait que l'altitude est liée à la pression et à la température.
Dans le modèle d'émagramme ci-dessus, les altitudes sont effectivement calculées et donnent des lignes ····· montantes vers les basses températures (vers la gauche du diagramme), par exemple : 0,5 1 et 4 km.

L'émagramme type 761, couramment utilisé par Météo France présente à sa droite une échelle d'altitude calculée selon le standard (T_0 = 15 °C, P_0 = 1013,25 hPa).

7. Émagramme 45°



Les météorologues ont imaginé une représentation d'émagramme avec les températures orientées à 45° vers la droite. Compte-tenu des gradients élevés, cela permet une présentation verticale des courbes de température, d'humidité, et de points de rosée, plus en conformité avec la notion d'altitude. Des ballons-sondes prennent régulièrement Température, Humidité et Pression de l'air ambiant.

Rappels et définitions utiles à l'exploitation de l'émagramme :

Courbe d'état :
La courbe d'état est la trace des mesures du couple température-pression en fonction de l'altitude (z).

Point de condensation :
Une particule d'air atteint son point de condensation lorsque les conditions de température et pression sont réunie pour qu'elle commence à saturer. Une part de l'humidité contenue sous forme de vapeur devient liquide.

Point de rosée : (**d**ew **p**oint, **courbe Td**)
À pression P constante, l'abaissement de la température d'une particule d'air conduit à sa saturation :
c'est le point de rosée. L'hygromètre électronique calcule le point de rosée Td.

Rapport de mélange : **r**
C'est le rapport de la masse de vapeur d'eau à la masse d'air sec qui la contient. Il est exprimé en g/Kg.

Température de condensation : **Tc**
La particule se refroidissant (selon l'adiabatique sèche) par élévation, va saturer quand elle aura atteint une température et une pression correspondantes à la valeur saturante de son rapport de mélange **r**. Sur l'émagramme, ce point se trouve à l'intersection de l'adiabatique qui s'élève depuis la température de la particule d'air mesurée au sol, avec la ligne d'égal rapport de mélange de cette même particule d'air.

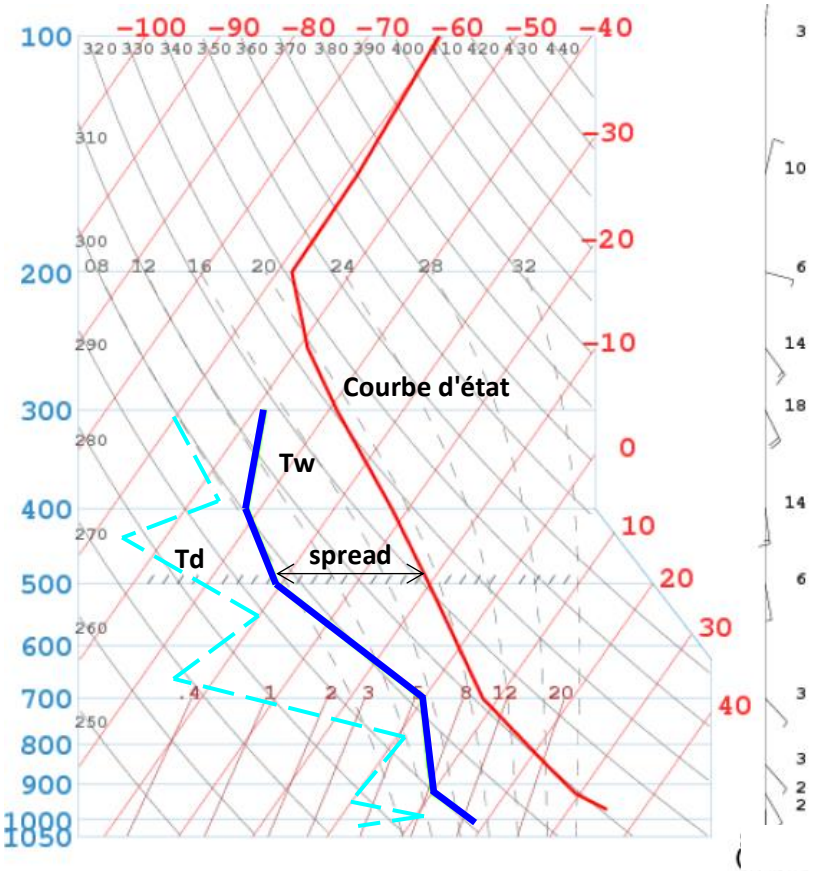
Mesure de l'humidité de l'air :
Le psychromètre : associe un thermomètre mouillé et un thermomètre normal.
Le thermomètre mouillé (gaze mouillée sur le bulbe) fournit **Tw** (**w**et). Cette température mesure la quantité de chaleur nécessaire pour évaporer l'eau de la mousseline qui est empruntée à l'air circulant autour du thermomètre mouillé :

- En air humide, peu d'évaporation, peu de refroidissement : ➔ Tw ≈ T
- En air sec, beaucoup d'évaporation, donc de refroidissement : ➔ Tw << T

Courbe d'humidité **Tw** :
La courbe Tw indique l'humidité de l'atmosphère en fonction de l'altitude.

Elle est toujours à gauche ou superposée à la courbe d'état.
Pour une altitude (ou pression) donnée, l'écart (spread) avec la courbe d'état indique le niveau d'humidité.

spread :
0° condensation (brouillard, nuage)
2 – 3° humidité forte
7 – 8° humidité moyenne
15° humidité faible, air sec



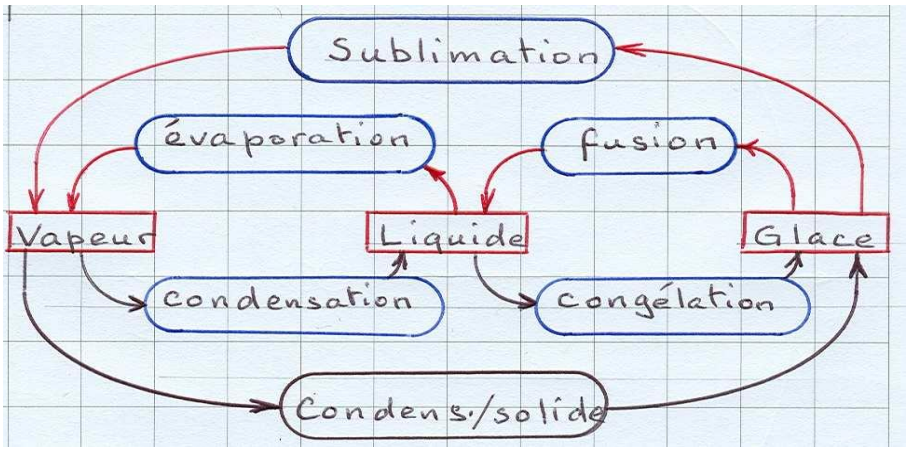
À propos de la couleur des courbes :
Il n'y a aucune règle de couleur, chaque représentation (émagramme 761, NOAA, skewT, TEMP, diagramme de Struve..) a la sienne.

A propos de la forme des nuages :
en couche : ... Strat... ,
accumulation : … Cumul…

En l'air, on évolue dans un milieu invisible. **Les courants sont matérialisés par la forme des nuages**. La tropopause est la limite supérieure car y débute l'inversion de température de la stratosphère, bloquant les particules, qui alors s'étalent faute de pouvoir monter, à l'image de la tête empanachée ou en forme d'enclume du cumulonimbus.

8. Diagramme des changements d'état :

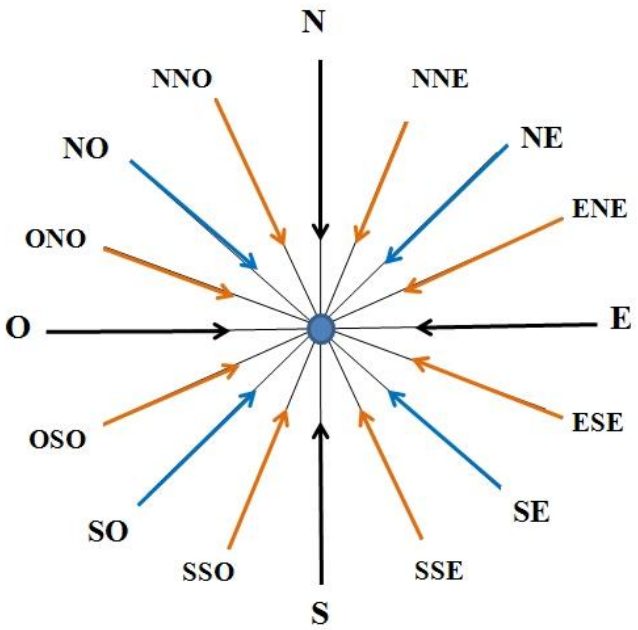
Vapeur, liquide et solide.



9. Directions du vent :

Le vent est nommé par la direction d'où il vient. Le vent du Nord vient du Nord.

La rose des vents peut aussi être graduée en dizaines de degrés dans le sens horaire. Ainsi le vent d'Est sera un vent du 09, celui d'ouest, du 27 , cette méthode est particulièrement utilisée sur aérodrome pour donner l'orientation des pistes (Cognac LFBG) : la 05/23, la 08/26



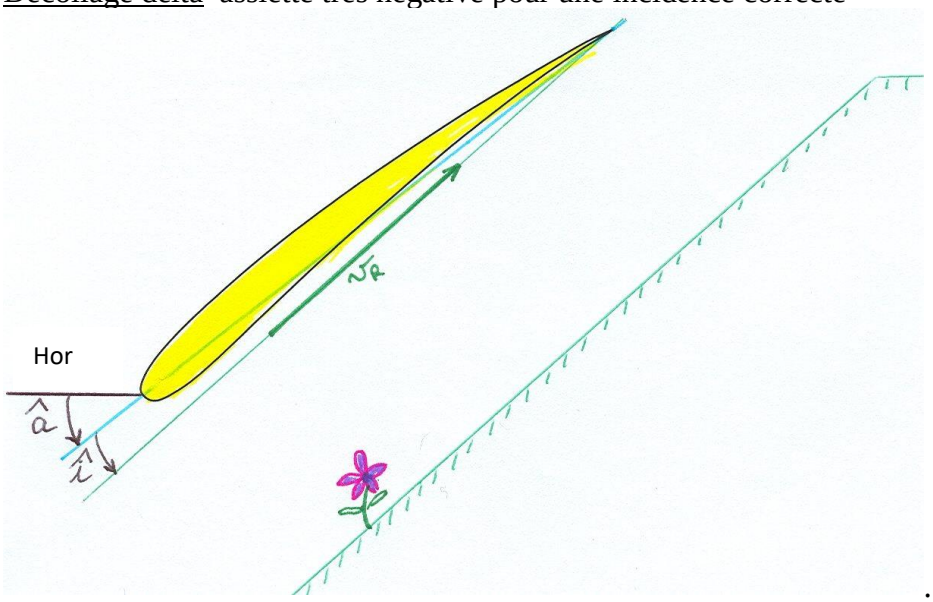
Compléments de PILOTAGE

Sommaire :

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

1. Décollage en pente très forte

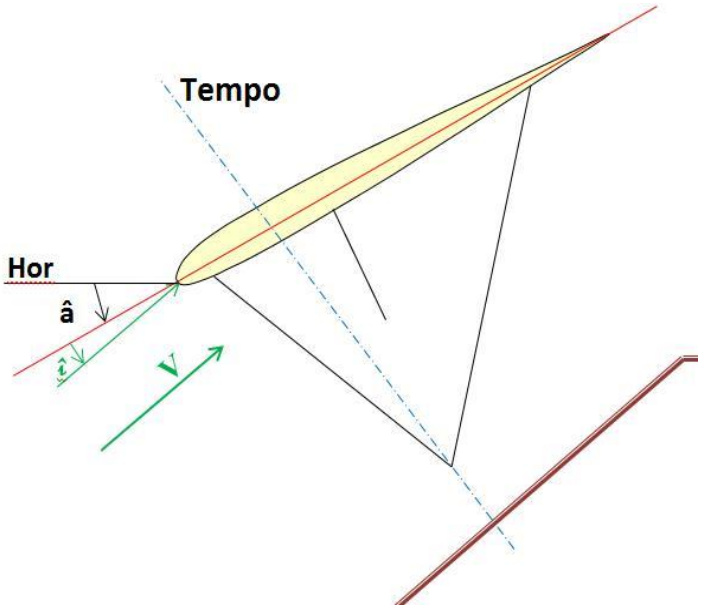
Décollage delta assiette très négative pour une incidence correcte



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 : l'effet girouette (dont la sensibilité dépend de la conception de l'aéronef) 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 côté 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 côté à virer,
   - relâcher un peu la commande extérieure une fois le virage stabilisé.

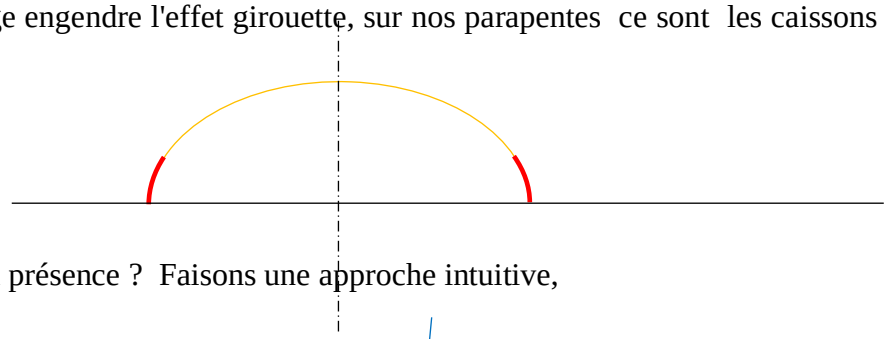
- En ascendance faible mais étendue, le virage sellette seul peut être adopté pour limiter le taux de chute Vz.

- En thermique soutenu, l'appui sellette permet de ne pas risquer :
  - d'approcher le seuil de décrochage sur rafale arrière ou montante,
  - d'enrayer un départ en autorotation,
  …

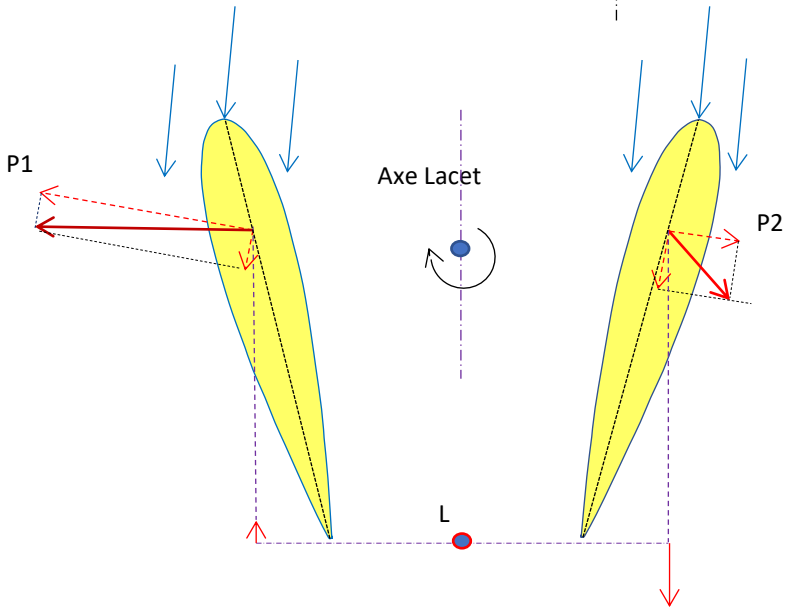
4. L'effet Girouette

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. Grâce à sa forme cintrée, l'aile corrige et se réaligne dans le lit du vent, en pivotant autour de l'axe de lacet, lui donnant ainsi une stabilité de route.

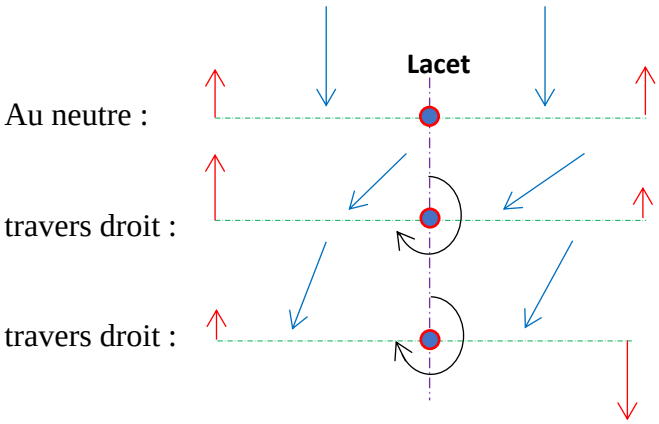
Sur un avion, l'empennage engendre l'effet girouette, sur nos parapentes ce sont les caissons latéraux, qui le permettent.



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



En règle générale, l'orientation du vent crée des variations d'incidence. Dans le schéma précédent, cet équilibre 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 flux aérodynamique (le vent relatif).



Notes personnelles : ……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

Compléments de RÈGLEMENTATION / ESPACE AÉRIEN

L'ESPACE AÉRIEN Ouvertures aux cross.

Sommaire :

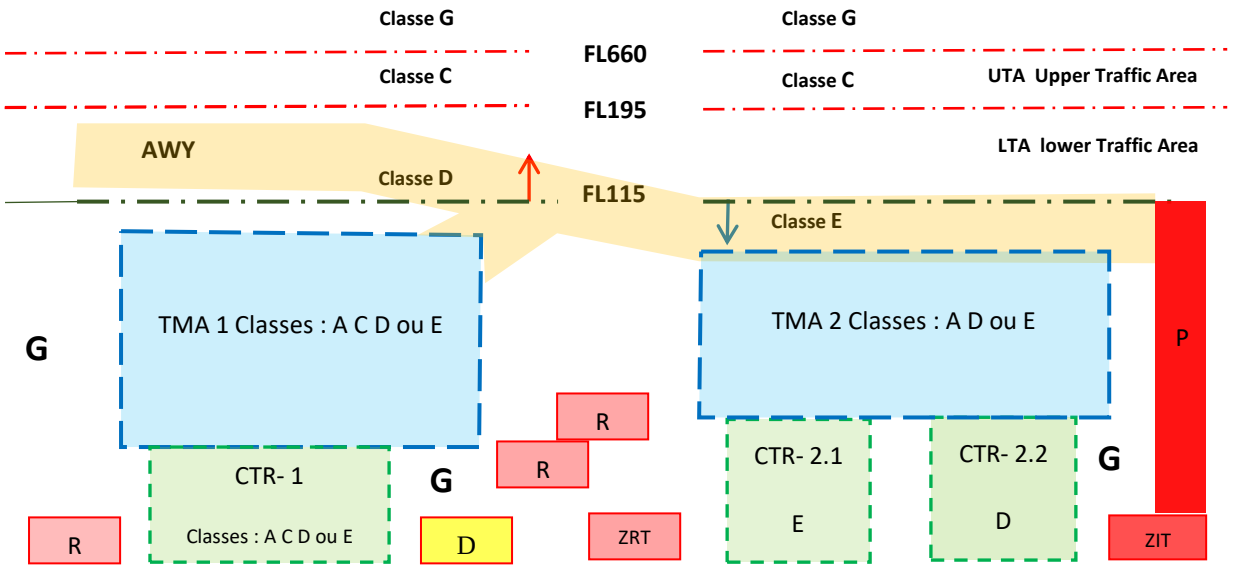
Division de l'espace aérien,
1. Zones à statuts particuliers,
2. NOTAM,
3. Cartes : interprétations des limites planchers et plafonds,
4. Tracé du volume, autour aérodrome Valence-Chabeuil,
5. Les parcs nationaux et régionaux

1. **Division de l'espace aérien** : la division de l'espace aérien est une nécessité pour assurer la sécurité des différents types de trafics, 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 (3450m), niveau limite pour la navigation en VFR (Visual Flight Rules ou règles de vol à vue), sauf dans les Alpes et les Pyrénées.
   - FL30 (900m), ce niveau appelé autrefois Surface **S****, délimite deux conditions **VMC*****
   - On peut retenir aussi FL195 (5850m), mais ce niveau ne nous concerne pratiquement pas.

   * le niveau de vol **FL** (Flight Level) est relatif à la surface isobare 1.013,25 hPa.
   ** appellation supprimée depuis 2007 mais les conditions restent en vigueur.
   *** Visual Meteorological Conditions : conditions météo de vol à vue.

Coupe simplifiée de l'espace aérien :



La Classe d'espace B n'est pas utilisée en France.

La Classe C utilisée en protection des aérodromes importants : Bordeaux, Toulouse, Marseille, Nice et Lyon

La Classe A couvre : les aérodromes à très fort trafic : Orly, Charles de Gaulle,
ainsi que Villacoublay hypersensible (transports gouvernementaux).

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

largeur 10 Nm (~16 km) 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, tant que l'on reste en-dessous du niveau 3450 m (FL115) et en condition VMC obligatoire.

* IFR : Instrument Flight Rules, vol aux instruments.

** VFR : Visual Flight Rules, règles de vol à vue.

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** : 900 m / mer(AMSL) ou 300 m / sol (ASFC)	8 km au-dessus de 3000 m (FL100) 5 km au-dessous de 3000 m (FL100)	1500 m horizontalement 300 m verticalement
En Classe G **sous** : 900 m / mer (AMSL) ou 300 m/ sol (ASFC)	1500 m	Hors des nuages et en vue du sol

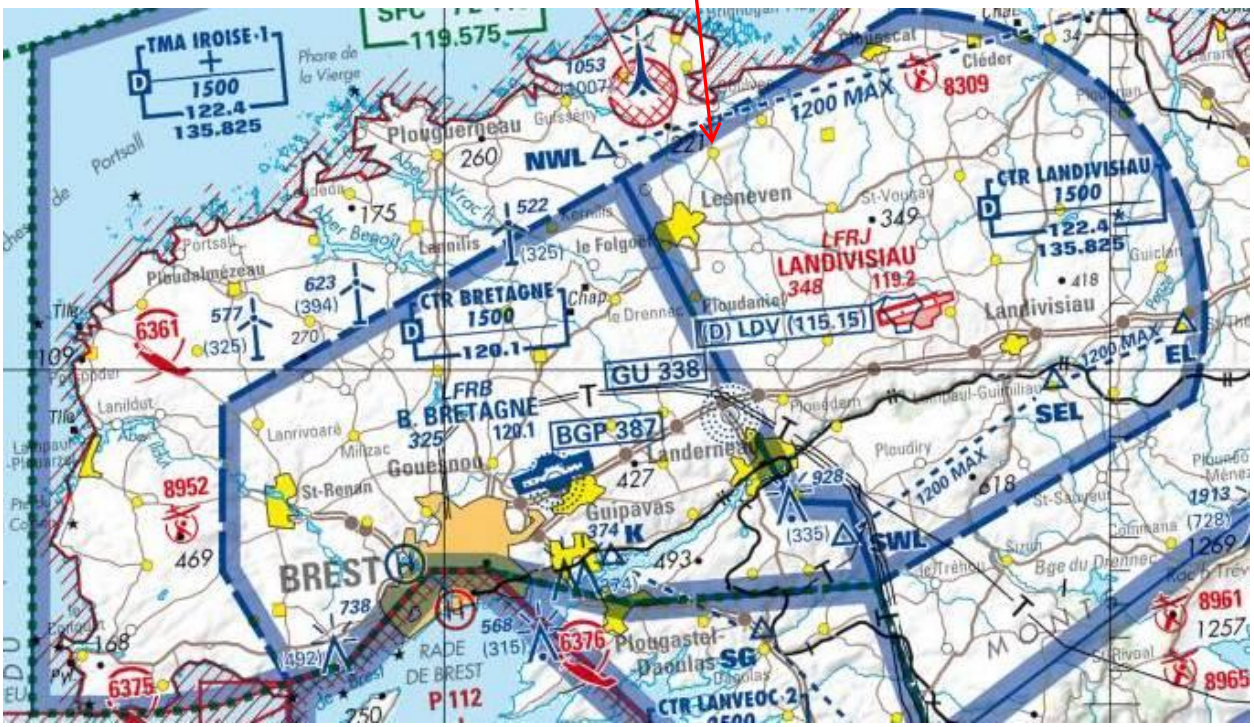
TerMinal control Area (TMA) : volumes d'espace contrôlé, couvrant un ou plusieurs CTR ou aérodromes : la TMA protège le transit, trajectoires IFR d'attente, d'arrivée, de départ. En France, les classes sont C, D ou E …
Tout Paris, qui est à très fort trafic, est classe A (IFR obligatoire).

Attention, la carte aéronautique 1/500 000ème n'est renseignée que jusqu'à 5 000 ft AMSL ou 2 000 ft 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. Une CTR peut desservir plusieurs aéroports. Espaces généralement classés D.

Leurs volumes sont définis sur les cartes aéronautiques (1/1 000 000ème ou 1/500 000ème) et VAC (Visual Approach Chart) de l'aérodrome.



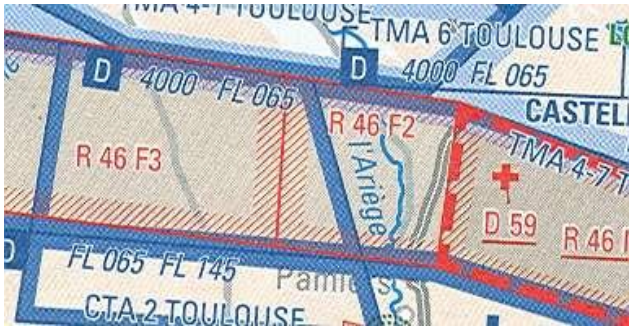
La CTR Landivisiau contrôle l'espace de la B.A.N. **LFRJ** de Landivisiau,
la CTR Bretagne contrôle l'espace aérien de l'aéroport **LFRB** de Brest,
ces CTR sont couverts par la **TMA Iroise.1**.

Les CTR de Valence, Rochefort, Angoulême … ont été supprimées, les espaces correspondants sont passés E. L'espace aérien français évolue, les cartes aéronautiques évoluent.

1. 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).

LF R 46 F3	Plafond / *Upper limit* 3300ft AMSL Plancher / *Lower limit* 800ft ASFC
Activité / *Activity*	Entrainement 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* FL195 Plancher / *Lower limit* SFC
Activité / *Activity*	Rayonnement laser pouvant entraîner des lésions occulaires
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

(Haute Normandie)

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

- Les Zone Réglementées Temporaires (ZRT), ce sont des espaces aériens réservés à des usages 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 MONTELIMAR FIR MARSEILLE Voir ENR 5.1-0 paragraphe 1.3	

- <u>Les zones de ségrégation temporaires (TSA) et zones transfrontalières (CBA)</u> 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.

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

On consulte aussi le 'complément aux cartes aéronautiques', fourni avec les cartes, et les Notam.

Les noms et les limites horizontales et verticales de ces zones figurent sur les cartes aéronautiques au 1/500000ème et 1/1000000ème. 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 règlementation.

  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 parait difficile de lister pour tous les parcs, les droits et obligations, d'autant plus 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 est interdit pour la tranquillité de la faune sauvage, à cela s'ajoute des périodes annuelles, d'interdiction totale. Voire quelques possibilités, en cross, à distance minimum de 300m du relief.

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

2. NOTAM :

L'activation ou activité réelle de certaines zones est annoncée par NOTAM (NOTice to AirMen) qui signifie 'Avis (message) aux Navigants'.

Nombre de NOTAM : 2

LFLU VALENCE CHABEUIL

LFFA-R3063/16
Q) LFMM/QRTTT/IV/ BO/AW/000/025/4453N00458E007
A) LFLU VALENCE CHABEUIL
B) 2017 Jan 01 00:00 C) 2017 Jan 14 23:59
E) NOTAM TRIGGER - SUP AIP 254/16 EN VIGUEUR DU 01 JANVIER AU 30 JUIN 2017 : CIRCULATION AD ET ACTIVITE IFR NECESSITANT LA CREATION D'UNE ZONE REGLEMENTEE TEMPORAIRE.
F) SFC
G) 2500FT AMSL

LFFA-R3064/16
Q) LFMM/QRTCA/IV/ BO/AW/000/025/4453N00458E007
A) LFLU VALENCE CHABEUIL
B) 2017 Jan 01 00:00 C) 2017 Jun 30 23:59
E) CIRCULATION AD ET ACTIVITE IFR - SUP AIP 254/16 :
OBJET : CREATION D'UNE ZONE REGLEMENTEE TEMPORAIRE.
CE SUP AIP EST DISPONIBLE SUR WWW.SIA.AVIATION-CIVILE.GOUV.FR.
F) SFC
G) 2500FT AMSL

© SIA.

3. Lecture des cartes : interprétation dans les étiquettes, des limites plancher et plafond :

Les cartes ont vocation internationale. Les niveaux sont indiqués en feet : 3450m soit : FL115

Une multitude de manières de présenter les limites : sauf précision les niveaux sont AMSL

Présentation volume	Remarque	Plancher	Plafond
2000	Seul un nombre est écrit : la Surface est implicite	Surface	2000’ AMSL
2500	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
3500 / 2000		2000’ AMSL	3500 AMSL
1000 ASFC 5000		1000’ ASFC	5000’ AMSL
FL115 / 2500/1000 ASFC *		2500’ AMSL ou 1000’ASFC * la plus élevée des 2	FL115
3200/1000 ASFC * / SFC		Surface	3200’ AMSL ou 1000’ ASFC* * la plus élevée des 2
+ / 3500		3500’ AMSL	5000’AMSL ou 2000’ASFC* Carte 1/500000 ème
+ / 3500		3500’ AMSL	FL195 Carte 1/1000 000 ème

- ASFC **A**bove **S**ur**F**a**C**e hauteur : verticale sol-aéronef,
- AMSL **A**bove **M**ean **S**ea **L**evel hauteur par rapport au niveau de la mer, c’est le QNH,
- SFC **S**ur**F**a**C**e le sol en dessous de l’aéronef,

  + prendre le plafond par défaut de la carte

- FL : **F**light **L**evel, hauteur de vol par rapport à la surface isobare 1013,25 hPa (FL est en centaines de pieds).
- QNE : **Q**uery **N**autical **E**levation, indication à l'atterrissage par l'altimètre calé à 1 013,25 hPa.
- QNH : **Q**uery **N**autical **H**eight, calage à la pression sol ramenée au niveau de la mer, donne l'altitude vraie (AMSL).
- QFE : **Q**uery **F**ield **E**levation, pression de calage pour se poser altimètre à zéro, sur le terrain où la mesure de pression a été faite.
  - Réciproquement si au sol on force l'altimètre à 0 m, on peut connaitre la pression réelle du lieu.
  - Calage : mécanique fenêtre de Kollsman ou électronique par touche.

Quand AMSL : on a comme référence, l'altimètre calé au QNH,
Quand ASFC : référence sonde altimétrique,
Quand FL : l'altimètre est référencé à 1 013,25 hPa (niveau isobare standard de la mer), le QFE (pression au sol) ne s'exploite pas ici, il sert pour un atterrissage 0 à l'alti.

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

5. QNH, QFE, QNE, FL surface isobare (1013,25 hPa)

Dans l'atmosphère une surface isobare, champ de même pression, n'est pas une surface plane mais une surface ondulée.

La surface isobare 1 013,25 hPa que l'on prend en référence est donc une surface ondulée. Toutes les surfaces isobares voisines d'égales pressions, aux niveaux supérieurs et inférieurs, suivent sensiblement les mêmes ondulations.

L'altitude topologique des terrains est fixe par rapport à la mer.

L'emploi précis de l'altimètre, pourvu d'un dispositif barométrique, va nécessiter des réglages en fonction des conditions de pression de l'atmosphère du lieu et du jour.

Les quatre codes Q de l'aéronautique qu'il est bon de connaître :

- QNE : (Query Nautical Elevation), indication obtenue sur l'altimètre calé à 1 013,25 hPa, le contrôle local d'aérodrome répond au QNE par l'altitude que l'altimètre indiquera à l'atterrissage.
  Cette altitude dépend donc de la hauteur de la surface isobare de référence.

- FL : (Flight Level), comme le QNE, l'altimètre est calé à la référence 1 013,25 hPa, le niveau de vol FL s'exprime en centaines de pieds.
  FL115= 11 500' au-dessus de la surface isobare de référence.
  Les niveaux de vol (FL) sont des altitudes QNE.

- QNH : (Query Nautical Height), pression locale réduite au niveau mer standard.
  Le calage au QNH permet de lire l'altitude vraie de l'endroit où est l'altimètre (à l'atterrissage, au déco,...).

- QFE : (Query Field Elevation), c'est la pression-sol locale. Le calage au QFE, permet de lire la distance qui nous sépare du sol, utile en acrobatie et 'atterrissage local zéro' à l'alti.

Comment se calcule le QNH :

Le QNH est la pression locale réduite au niveau moyen de la mer (MSL) : selon ce principe

la réduction faite en atmosphère standard est égale à : $P_0 * \left[1 - \left(\frac{T_0 - 0{,}0065 * z}{T_0}\right)^{5{,}255}\right]$

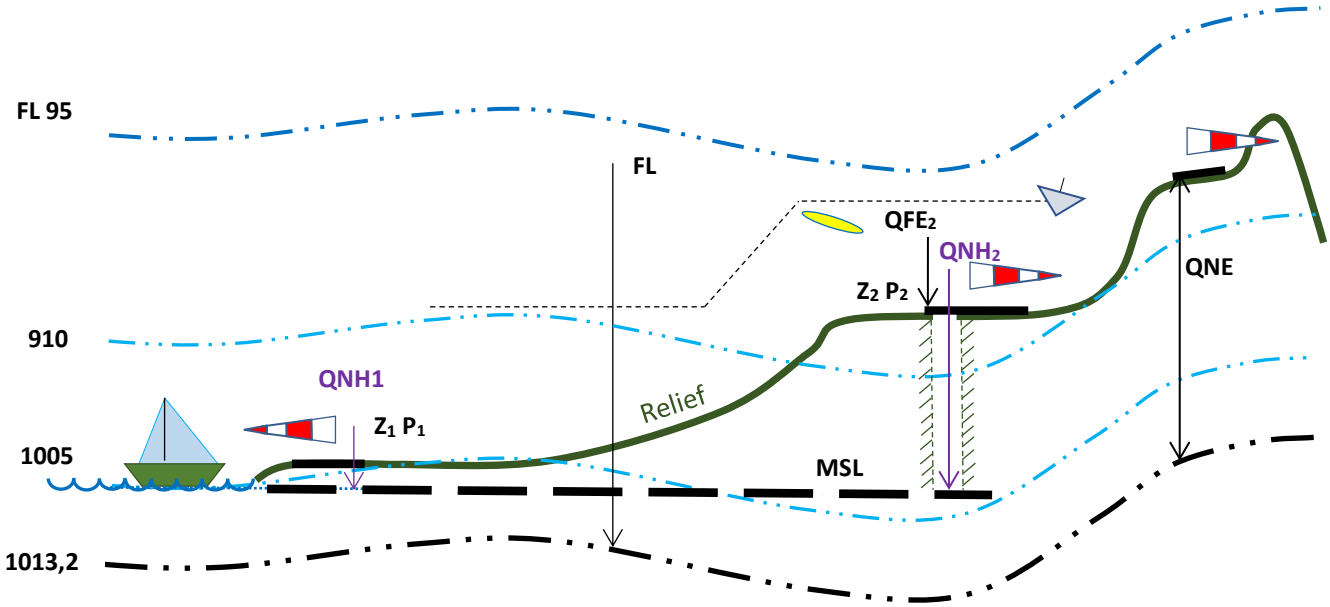
que l'on déduit aisément de la loi du gradient adiabatique qui lie pression et température:

$\frac{P_z}{P_0} = [\frac{T_z}{T_0}]^{5.255}$ où P_0 (1013hPa) et T_0 (288°K) sont les standards OACI,

l'altitude z d'un site est une donnée constante, cette réduction sera donc constante.

QNH = pression locale + pression de la colonne d'air (standard OACI) de hauteur **z**.
En bord de mer, le QNH est la pression atmosphérique mesurée au niveau de la mer.

Le QNH obtenu d'une station, a une validité limitée à près de 100 km autour. Il faut connaitre le QNH suivant quand on prévoit un vol distant.



$QNH_2 = P_2 + 1013{,}25 * \left[1 - \left(\frac{288 - 0{,}0065 * z_2}{288}\right)^{5{,}255}\right]$ $P_2 = QFE_2$ Pression $_{MSL}$: 1013,25 hPa.

Le calcul de compensation se faisant en « atmosphère standard », de plus l'instrument peut être en limite de calage (950 : 1050 hPa) ; pour les altitudes de terrains assez élevés, l'application du QNH ne convient plus : d'où l'utilisation systématique du QNE pour ces hautes altitudes.

Les surfaces isobares et les FL suivent l'ondulation de la surface isobare 1 013,25 hPa.
Il en sera de même pour les aéronefs calés sur cette valeur

QFE = P_2 pression atmosphérique en z_2,

QNH1= P_1+ 1 013,25 * $\left[1 - \left(\frac{288-0,0065*z}{288}\right)^{5,255}\right]$

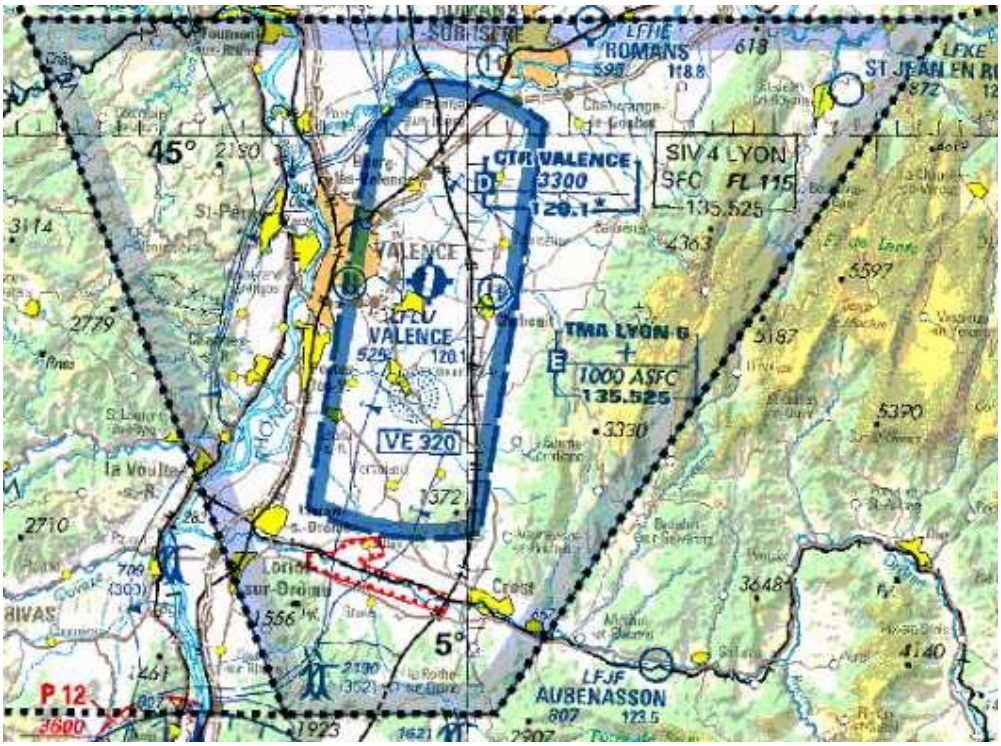
QNE donne la hauteur du lieu quand le calage est sur 1 013,25

Remarque : <u>en météo</u>, dans la présentation en carte des pressions, les isobares font abstraction des reliefs et indiquent des valeurs de pression ramenées au niveau de la mer : ce sont des valeurs QNH.

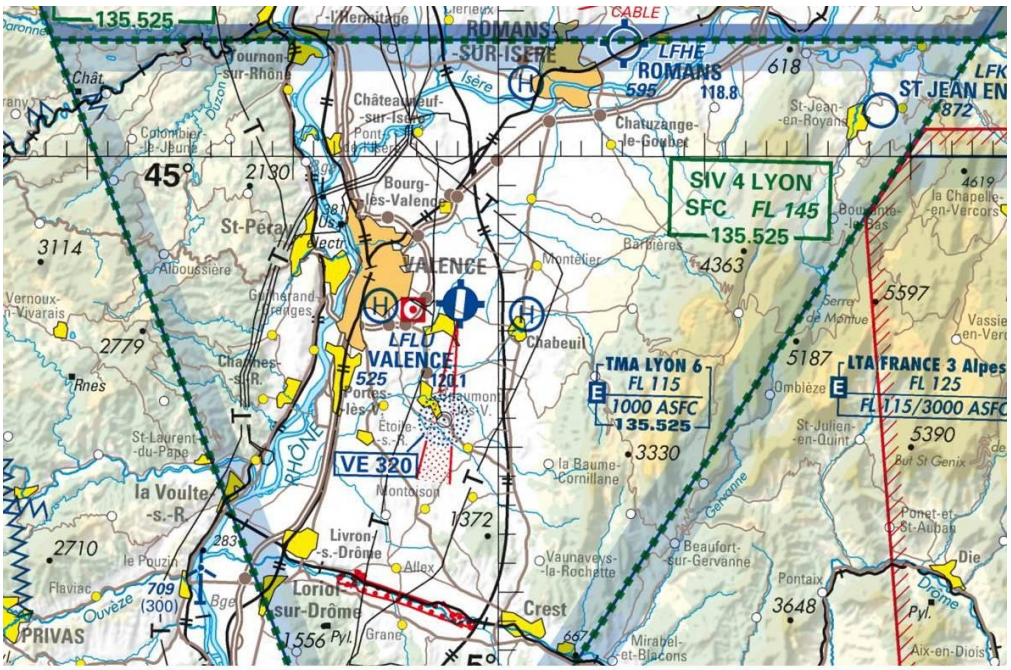
6. Evolutions des espaces aériens :

Nous avons constaté dans les réaménagements récents de l'espace aérien, la disparition des CTR de Valence, Angoulême, Rochefort, Montluçon-Guéret et d'autres, que les espaces D laissaient place à l'espace E des TMA-chapeaux et parfois la mise en place de ZT.

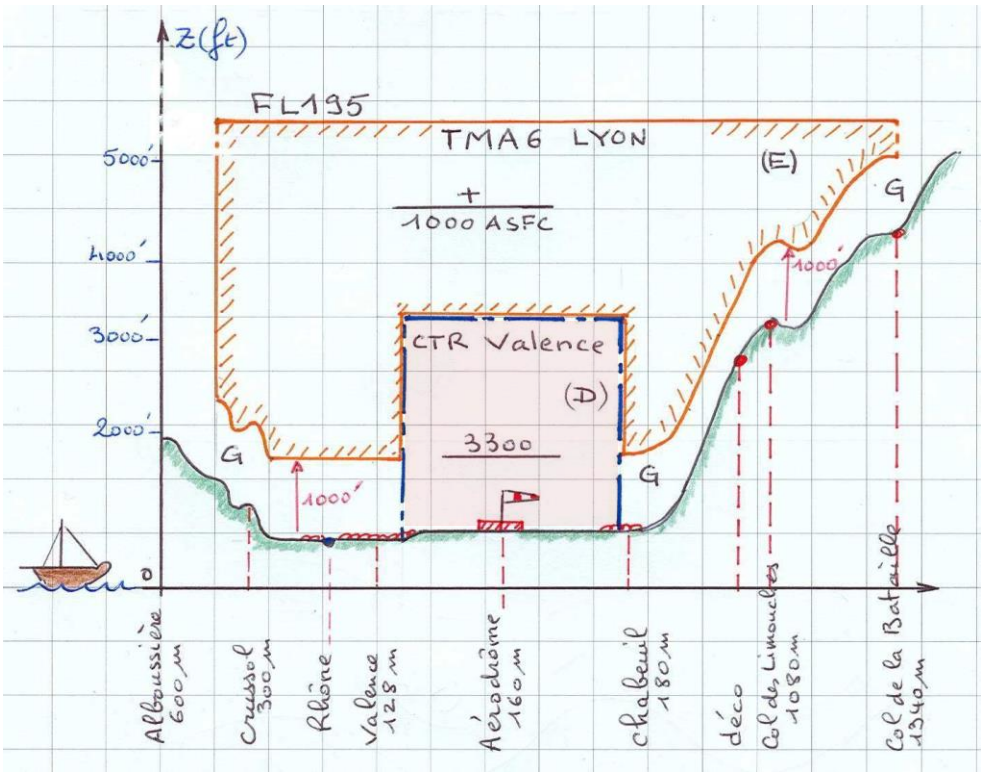
Valence-Chabeuil : le CTR couvert par la TMA-6 Lyon est levé en Nov 2016



La nouvelle offre sur LFLU : plus qu'un espace E, celui de la TMA

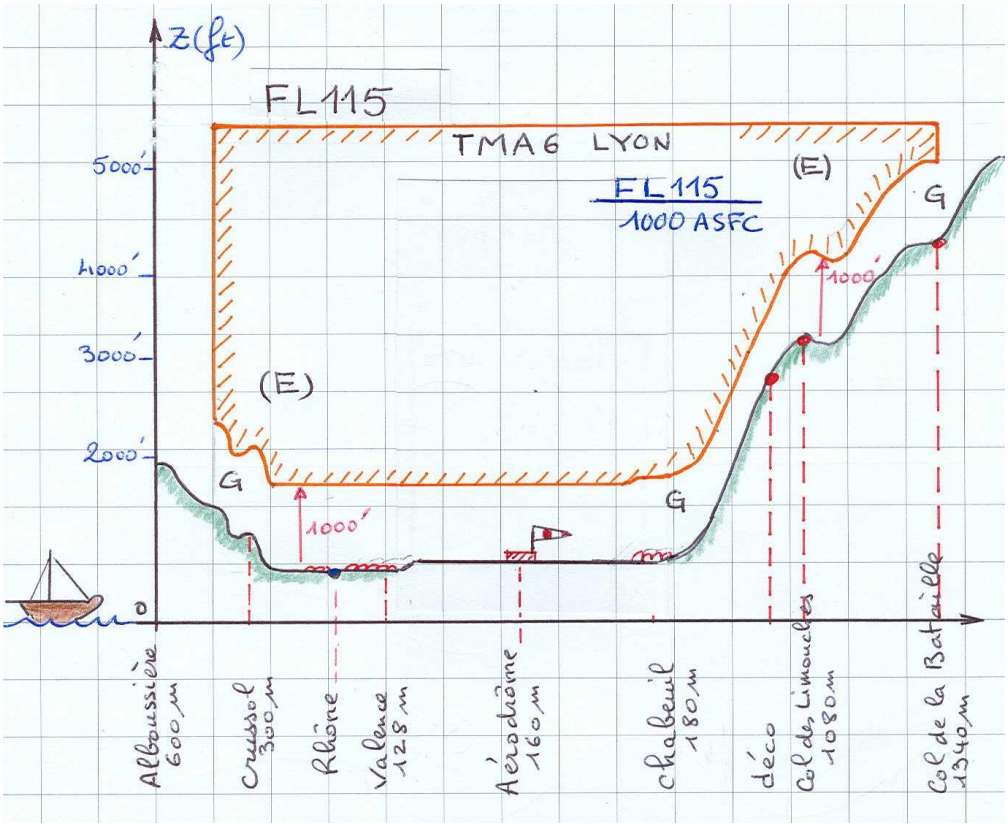


7. **Traçons le Volume autour de l'aéroport de Valence-Chabeuil dont l'espace a évolué :**
Avec sa CTR (avant Nov. 2016). Coupe par un plan vertical Est-Ouest passant sur l'aérodrome.



On voit 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).

Sans la CTR (depuis Nov 2016)



Notes personnelles : …..……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

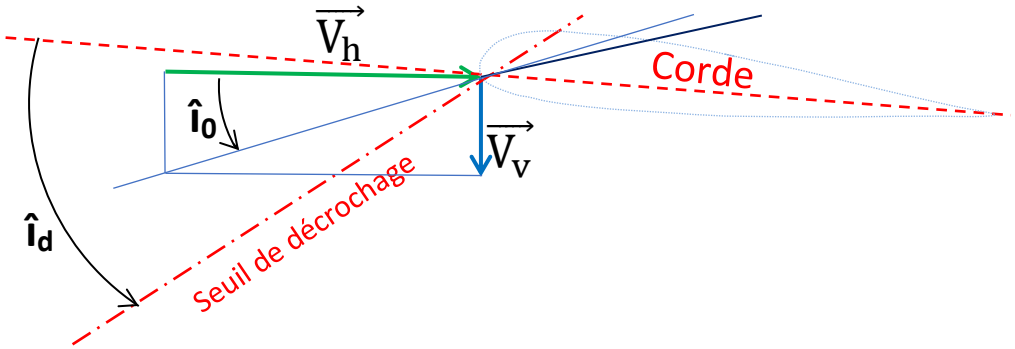
A propos des Bonus : Les réponses affectées d'une info supplémentaire sont repérées par :
Q |n°de la question| dans le thème, Q4 'méca-vol' donnera une info supplémentaire sur la Finesse. Cette information en rapport avec la question, n'est pas à reporter dans la réponse, car hors sujet, il en est de même pour les NB nota bene.

Suppléments pour Mécanique du vol

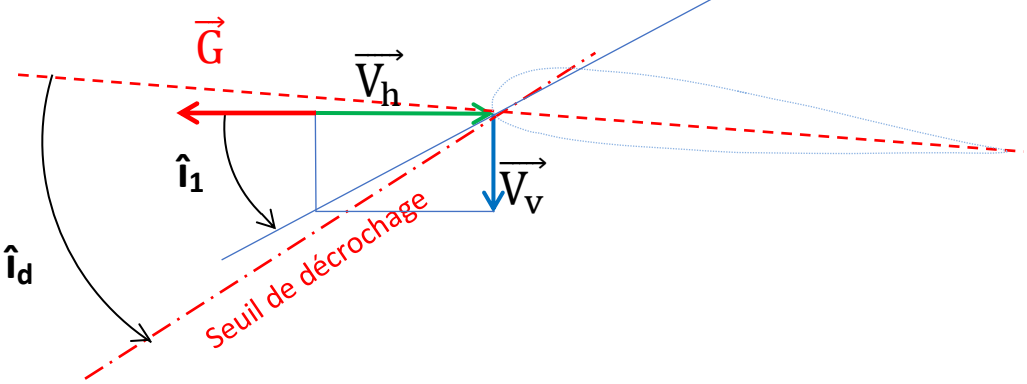
Bonus Q1 : Gradient au sol et risque de décrochage.

Une représentation plus dynamique de l'augmentation de l'angle d'incidence, sur un atterrissage avec gradient.

Sans gradient :

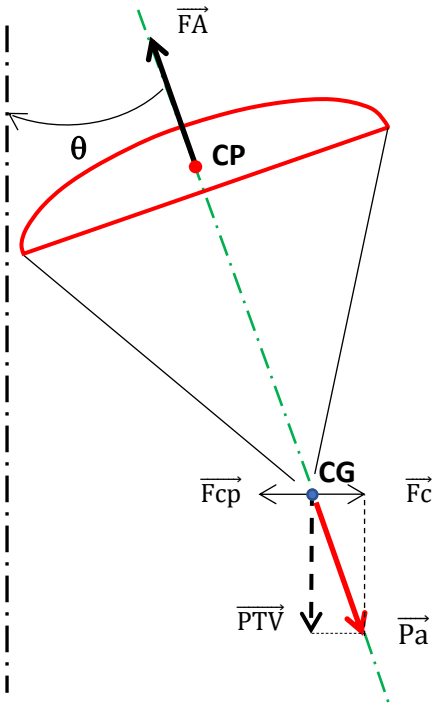


Avec gradient : la vitesse horizontale V_h diminue, alors que la vitesse verticale V_v reste la même.



Sur gradient fort, le décrochage peut être atteint. On pare cela en gardant bras haut le plus longtemps possible.

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



$\overrightarrow{a_{cp}}$ l'accélération centripète = v^2/R

$\overrightarrow{Fcp}$ la force centripète = $m.a_{cp} = mv^2/R$

$\overrightarrow{Fc}$ 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 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 $\overrightarrow{FA}$ 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, θ) : $|Fc| = |Fcp| = mv^2/R$

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

calcul de R = f(v, θ) $Fcp = mv^2/R = Pa.\sin\theta$

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

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

<u>Corollaire</u> : L'inclinaison ne dépend que de la vitesse et du rayon.

Le facteur de charge n et le poids apparent Pa :

La force centrifuge **Fc**, 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 Pa : si θ est l'angle d'inclinaison du virage, alors $\boxed{Pa = PTV / \cos\theta}$

Facteur de charge : $n = \frac{Pa}{PTV}$ → $\boxed{\mathbf{n} = 1 / \cos\theta}$

Vitesse dans le virage : posons $\mathbf{v_0}$ la vitesse en entrée du virage,

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

rapport d'homothétie $\kappa = \sqrt{CA/CA0}$ et aussi, $\kappa = \mathbf{v / v_0}$

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

écrivons : $\kappa = \sqrt{(Pa/P)}$ comme $Pa = P/\cos\theta$ → $\boxed{\kappa = \sqrt{(1/\cos\theta)}}$ → $v = v_0\sqrt{(1/\cos\theta)}$

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

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

Conséquences l'inclinaison dans un virage 'équilibré' :

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

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

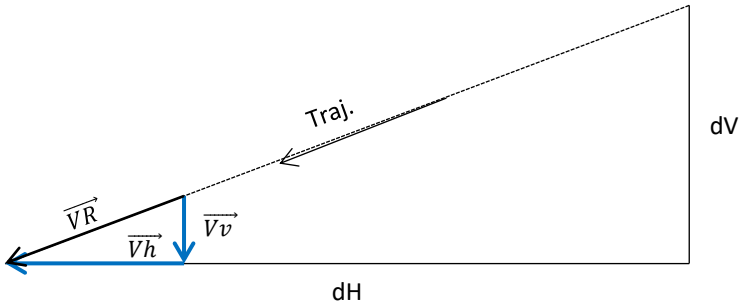
vitesse dans le virage $v = v_0 * (\sqrt{1/\cos\theta})$

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

Inclinaison θ	15°	30°	45°	60°	75°
Facteur de variation vitesse : $\kappa = \sqrt{(1/\cos\theta)}$ = Facteur d'augmentation vitesse de décrochage	1,02	1,08	1,19	1,41	1,96
Vitesse du virage requise (m/s) : $v = v_0 * \kappa$	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 de la distance horizontale parcourue sur la hauteur perdue. Elle s'exprime également par le rapport de la vitesse horizontale sur la vitesse verticale, et enfin de la Portance sur la Trainée.



$$\frac{\text{Portance}}{\text{Trainée}} = \frac{\text{dH}}{\text{dV}} = \boldsymbol{f} \text{ la finesse.}$$

La finesse s'exprime aussi en fonction des vitesses : $\boldsymbol{f} = \frac{\text{dH}}{\text{dV}} = (\overrightarrow{Vh} * t)/(\overrightarrow{Vv} * t) = \frac{\overrightarrow{\text{V h}}}{\overrightarrow{\text{V v}}}$

En précisant les conditions de mesure :

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

Bonus Q5 : Règle et coefficient de proportionnalité.

En vol stabilisé, la $\overrightarrow{FA}$ est d'intensité égale et de sens opposé au $\overrightarrow{PTV}$.

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

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

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

En effet : $P = \frac{1}{2}\rho S v^2 Cz = v^2 (\frac{1}{2}\rho S\, Cz)$ $\quad T = \frac{1}{2}\rho S v^2 Cx = v^2 (\frac{1}{2}\rho S\, Cx)$

ρ, S, Cz et Cx 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)

<u>Calcul du coefficient de proportionnalité κ :</u>

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

$FA^2 = P^2 + T^2 = v^4 (\frac{1}{2}\rho SCz)^2 + v^4 (\frac{1}{2}\rho SCx)^2$

$FA^2 = v^4 * [\text{constante} \ldots]$ 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 ($v = v_2$)

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

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

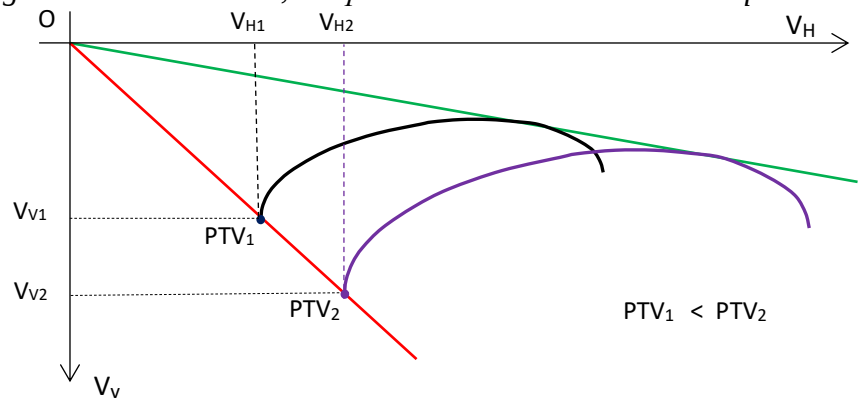
On peut écrire $v_2 = v_1 * \kappa$ où κ représente le coefficient de proportionnalité

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

Quand le PTV ↗ alors $\kappa > 1$: la vitesse ↗ quand le PTV ↘ alors $\kappa < 1$ et donc la vitesse ↘

Les vitesses horizontales et verticales varient dans une proportion κ 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'expanse ou se rétrécit homothétiquement dans un rapport* $\kappa = \sqrt{\frac{PTV_2}{PTV_1}}$.



$PTV_1 < PTV_2$ $\quad \kappa = \frac{V_{H2}}{V_{H1}} = \frac{V_{V2}}{V_{V1}}$

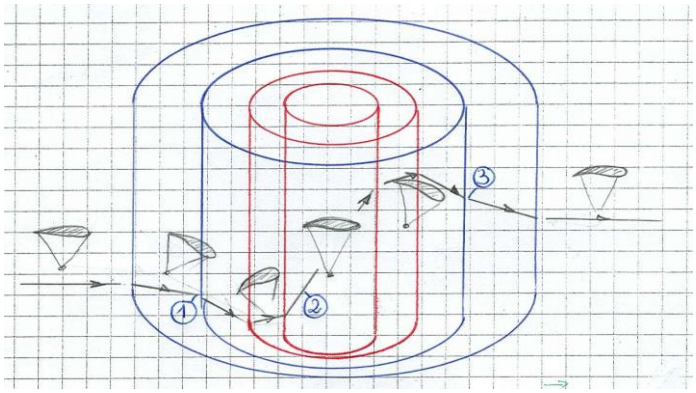
Bonus Q10 : Entrée et sortie d'un thermique.

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.

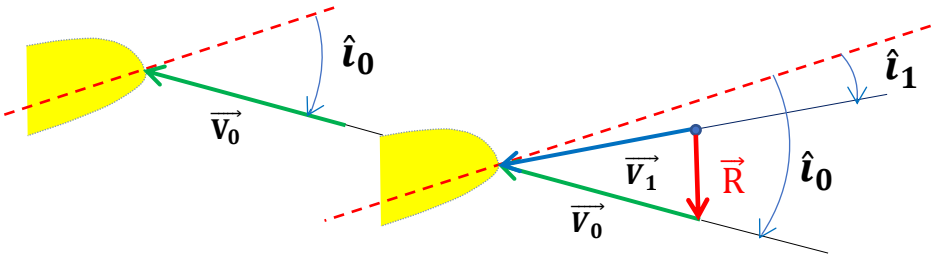
a- Les phases de traversée d'un thermique :

Parfois, l'arrivée dans un thermique s'appréhende par un taux de chute plus fort (zone descendance en périphérie du thermique) léger piqué avant d'entrer et 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 temporise.



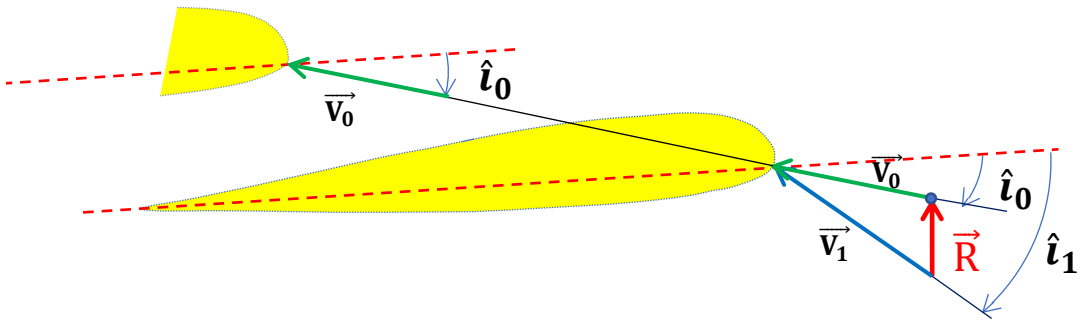
En effet, la rafale descendante $\vec{R}$ va transitoirement induire une nouvelle vitesse :

$\vec{V_1} < \vec{V_0}$ - $\hat{\imath}_0$ diminue et devient $\hat{\imath}_1$,- 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 R va transitoirement induire une nouvelle vitesse $\vec{V_1}$:

$\vec{V_1} > \vec{V_0}$: - $\hat{\imath}_1 > \hat{\imath}_0$ 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.

Virage à plat : au départ du thermique, freiner légèrement sur les deux commandes puis relever le bras extérieur pour engager le virage. Cadencer (léger frein à l'extérieur) 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 est moindre.
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. Selon la violence du tumbling le delta peut se casser en vol.
Pour éviter le tumbling, 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. Quelquefois, cela oblige le pilote à freiner la voile durant la période transitoire qui pourrait l'amener à cette fermeture,
- Eviter 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'.

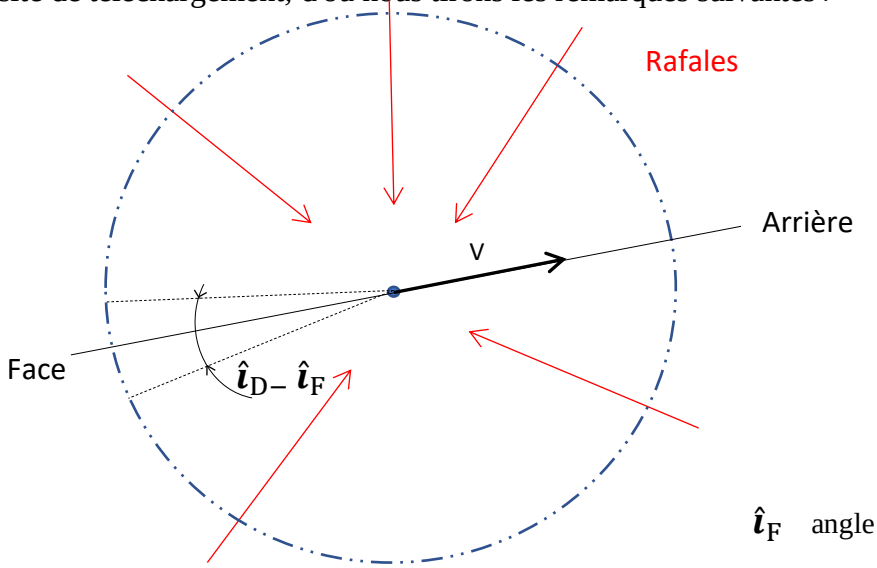
Bonus Q13 : Poids d'une rafale dans le risque de fermeture ou de décrochage.

On se concentre sur les rafales dans le plan du déplacement de la voile, mais pas celles de côté...
(Voir développement dans les notes de calcul sur site de téléchargement).

La rose des rafales :
Dans le domaine aéronautique qui nous intéresse, on parle de rafale dès que le vent dépasse sa valeur moyenne de 10 nœuds (parapente) et 15 nœuds (delta) durant un temps inférieur à 2 mn.

- A proximité des nuages à fortes convergences (Cb) lors d'orages ou par affaissement, se développent des courants aériens descendants de fortes amplitudes. Le flux d'air s'étalant en gerbe sur le sol s'oriente dans toutes les directions, et constitue les rafales qui se composent avec le vent météo.
- En entrée et sortie de thermique les courants ascendants et descendants équivalents, dans la zone de cisaillement, à des rafales, mais orientés dans le sens des flux rencontrés (montant /descendant).

Par le calcul, nous pouvons quantifier l'incidence de la rafale en fonction de sa force et de son orientation par rapport à la trajectoire de l'aile. Le développement en est donné dans les **pages de calcul,** disponibles sur le site de téléchargement, d'où nous tirons les remarques suivantes :



$\hat{\imath}_F$ angle de fermeture de la voile

$\hat{\imath}_D$ angle de décrochage de la voile

On retient :

- Seules les rafales venant du ½ cadran supérieur sont capables de forcer le franchissement du seuil de fermeture.
- Seules les rafales venant du ½ cadran inférieur sont capables de forcer le franchissement du seuil de décrochage.
- Les rafales venues du secteur de face (d'une valeur angulaire de $\hat{\imath}_D - \hat{\imath}_F$), ne ferment ni ne décrochent, mais peuvent accroitre fortement le vent relatif.
- En rafale arrière, on peut théoriquement atteindre les seuils ; or 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.

Bonus Q15 : Rappel sur l'Allongement.

Les utilisateurs d'ailes fines, de cross ou compétition, portent une attention particulière à la définition de l'allongement. On met de l'allongement pour augmenter la finesse. 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,
- plus l'allongement est élevé et plus les fermetures seront violentes et difficiles à récupérer,
- plus l'allongement est élevé et plus le risque de cravate est important.

Allongement aile projetée :

- aile en vol et présentant une voûte, on prend envergure et surface projetées.

Allongement aile à plat :

- aile à plat, étalée au sol : envergure et surface à plat.

La forme générale **est** $\mathbf{A = E^2 / S}$

Quelques repères, allongement à plat :

- débutant : 4,5 à 5
- cross : 5,5 à 6
- compétition : 7 à 8 voile Diva_{ccc} 2 lignes : 12
- voiles_protos : 14 !

"Par habitude, abus ou ignorance des données, on ne parle que de la surface à plat (originellement les ailes étaient plates), 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 ailes projetées."

Historique : les premiers parapentes étaient des voiles peu galbées, pratiquement plates et rectangulaires, On utilisait alors l'expression : allongement $= \frac{Envergure}{corde\ centrale}$

Bonus Q18 : Choix raisonné de la voile en fonction du type de vol :

Les constructeurs préconisent une fourchette de poids qu'il convient d'adapter à sa pratique

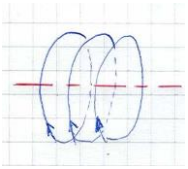
Paralpinisme, voile légère, en haut de fourchette,
Thermique sur site, milieu de fourchette,
Soaring par vent fort, haut de fourchette.

En atmosphère normale, jusqu'à 2000m pour 10kg de lest la vitesse air augmente de 2 à 3 km/h soit près de 10% de la vitesse air de l'aile.

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 horizontaux ou verticaux 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 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 des modes de propagation de la chaleur.

Conduction : transport d'énergie par contact.

Advection : est le transport horizontal de chaleur, dans le 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.

Convection : la convection est le transport vertical de chaleur dans le milieu environnant.

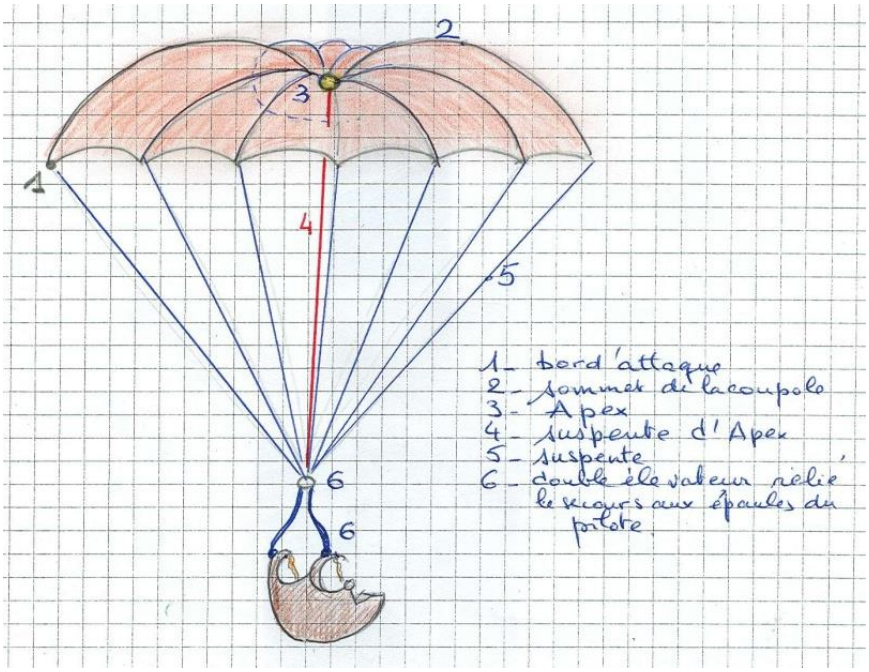
Suppléments pour Pilotage

Bonus Q3 : cas d'un petit thermique

Identifier le côté 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 maitrisant le tangage et la vitesse.

Bonus Q5 : Le parachute de secours, description d'un pull-down Apex.

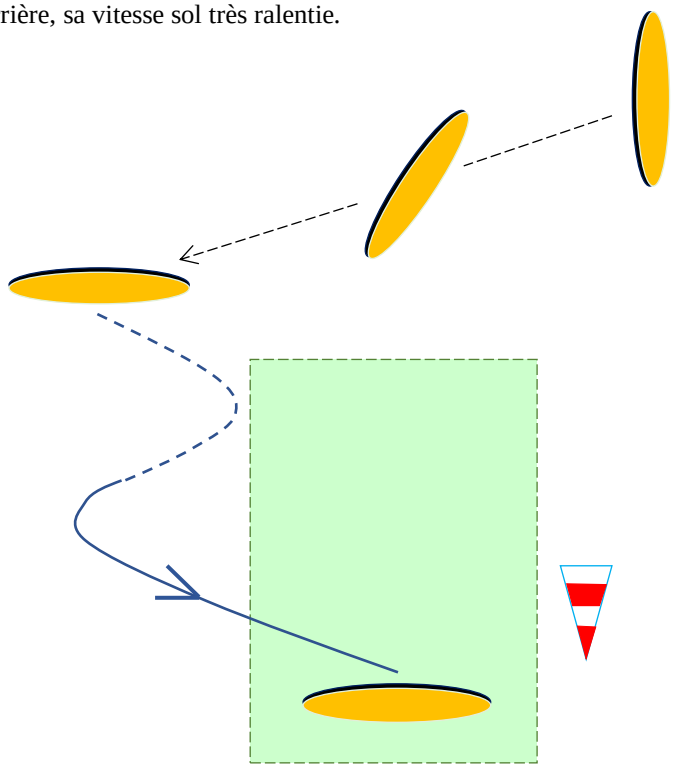


L'Apex où convergent les bords de fuite en une sorte de cheminée, donne au parachute un meilleur profil aérodynamique et accélère l'ouverture rapide.

Bonus Q9 : prise de terrain et atterrissage par vent fort, la PTZ

Par vent fort, supérieur à la vitesse non accélérée de la voile, il convient d'appliquer une prise de terrain peu habituelle mais solutionnant bien des difficultés : la PTZ.

En approche de l'atterrissage, au vent du terrain, le pilote s'oriente face au vent pour la phase d'ajustement : il va reculer en louvoyant, l'œil sur le terrain qui est encore derrière lui. Il va progresser vers l'atterrissage, en crabe marche- arrière, sa vitesse sol très ralentie.



Finale bras haut pour un posé vertical sur place ou en léger recul sans arrondi ou presque.

Bonus Q13 : Eléments de choix de la sellette

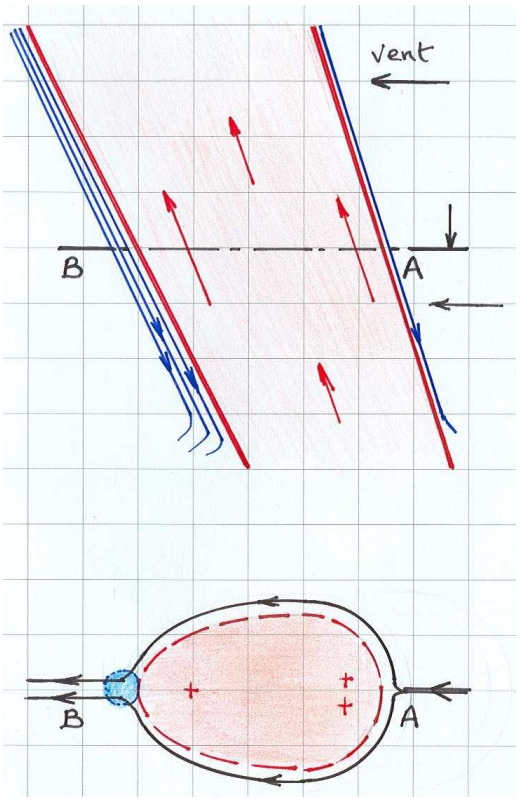
<u>Types de sellettes : standard ou cocon</u>

- 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 en lacet.

Bonus Q11 : Sous le vent du thermique : 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.
Avec 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 est plus abondant côté sous le vent (B) de la colonne, alors que le côté au vent (A) plus lissé, propose 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 la périphérie du thermique.

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

- cisaillements,
- fortes dégueulantes,
- vent de face.

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

Extras

- La distribution des vitesses dans une section de Venturi,
- La « laisse de chien ».

1/ La distribution des vitesses dans une section de Venturi

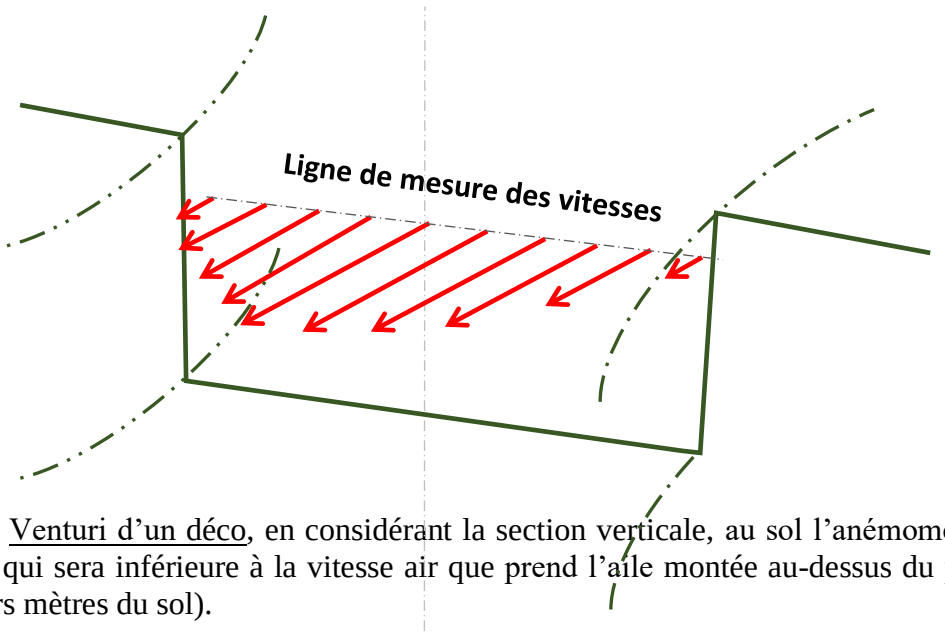
Le principe de Venturi est l'application des équations de Bernoulli au déplacement d'un fluide, conjugué à la conservation des masses.
Pour assurer le même débit, l'air traverse un étranglement à plus forte vitesse que dans une section plus grande.

(Giovanni Battista Venturi 1746/1822 physicien Italien)

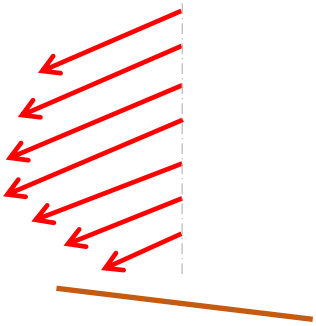
Le frottement de l'air sur les surfaces terrestres engendre une perte de charge et donc un ralentissement du flux à proximité du sol. Au contraire, au 'cœur' du passage, l'air est accéléré plus fortement, la masse totale d'air déplacée par unité de temps restant constante.

En mécanique des fluides, dans un conduit rond (tuyau), on mesure une vitesse maximale approximativement du double de la vitesse moyenne.

<u>Vitesses dans la section transversale d'un Venturi</u>



Dans le <u>Venturi d'un déco</u>, en considérant la section verticale, au sol l'anémomètre indiquera une mesure qui sera inférieure à la vitesse air que prend l'aile montée au-dessus du pilote (distante de plusieurs mètres du sol).



2/ la « laisse de chien »

La « laisse de chien » permet d'optimiser la trajectoire de transitions particulières. On l'utilise lorsque les deux conditions suivantes sont réunies :

- La brise (force et direction), au départ de la transition et à son arrivée estimée est différente.
- Alors qu'il est improbable de croiser une ascendance entre le départ de la transition et son arrivée estimée, au point d'arrivée l'ascendance doit être certaine.

La hauteur et la vitesse air, et par conséquent, l'énergie potentielle d'un aéronef sans moteur constitue notre réservoir de « carburant ». Bien que les vitesses air des aéronefs de vol libre progressent au fil des ans, ces vitesses demeurent relativement faibles par rapport aux vitesses de vents que nous fréquentons. Par conséquent, optimiser une transition consiste donc à :

- Choisir un point de départ optimal,
- Viser un point d'arrivée où l'ascendance est certaine,
- Piloter sa trajectoire entre les deux points précédents, en fonction des performances de l'aile et des vents rencontrés entre départ et arrivée, afin de consommer un minimum d'altitude entre le départ de la transition et son arrivée estimée.

En rencontrant des conditions de vents différentes, le pilote ajuste sa trajectoire (cap et vitesse) afin de réduire au minimum sa perte d'altitude. La projection sol de cette trajectoire prend la forme de la « laisse de chien » entre la main du maitre et le collier du chien qui trottine à ses pieds.

<u>Exemple</u>, le tour du petit lac d'Annecy en présence d'une bonne brise de lac.

Ce grand classique comprend une longue transition, des Dents-de-Lanfon au Roc-des-Bœufs, pour laquelle le vent se composant avec la brise du lac (force et direction), au départ et à l'arrivée est différent. En effet, sur les dents, l'ascendance est généreuse et la brise faible ou nulle, tandis qu'à l'arrivée au Roc, après avoir consommé beaucoup d'altitude, la brise du lac, se renforce, permettant ainsi de regagner les premiers mètres sur la pente Nord-Ouest, avant de trouver le thermique salvateur.

Survolant principalement le lac balayé par la brise, il est par ailleurs aussi peu probable de croiser une ascendance pendant la transition, que certain d'en trouver une à l'arrivée.

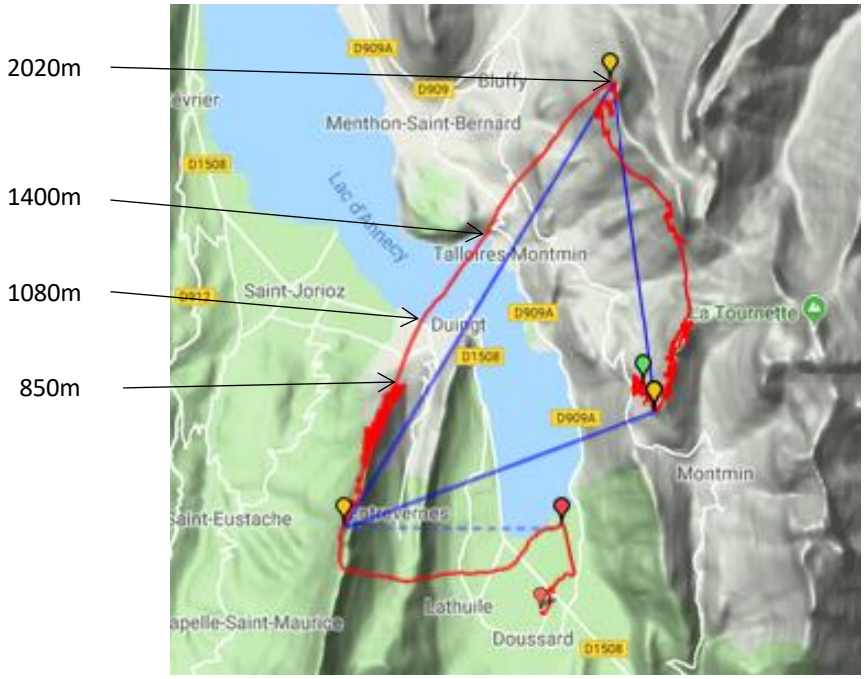
La trajectoire en ligne droite est à proscrire car à mesure de l'avancement et de la perte d'altitude, le pilote rencontre une brise qui se renforce et l'entraine sous le vent du Roc-des-Bœufs. Pour maintenir son point d'aboutissement au vent du Roc-des-Boeufs, il crabe de plus en plus à droite, la durée de la transition et la perte d'altitude augmentent. Si le pilote atteint son point d'aboutissement, il l'atteindra plus bas et bien après un pilote parti en même temps du même endroit, et qui emprunte la trajectoire en "laisse de chien".

La "laisse de chien" consiste donc à aller "au vent" au début de transition, lorsque le vent est nul ou faible, pour ensuite orienter progressivement la trajectoire vent arrière, à mesure de l'avancement, de la perte d'altitude et du renforcement de la brise de vallée, afin d'optimiser la durée et la perte d'altitude de la transition

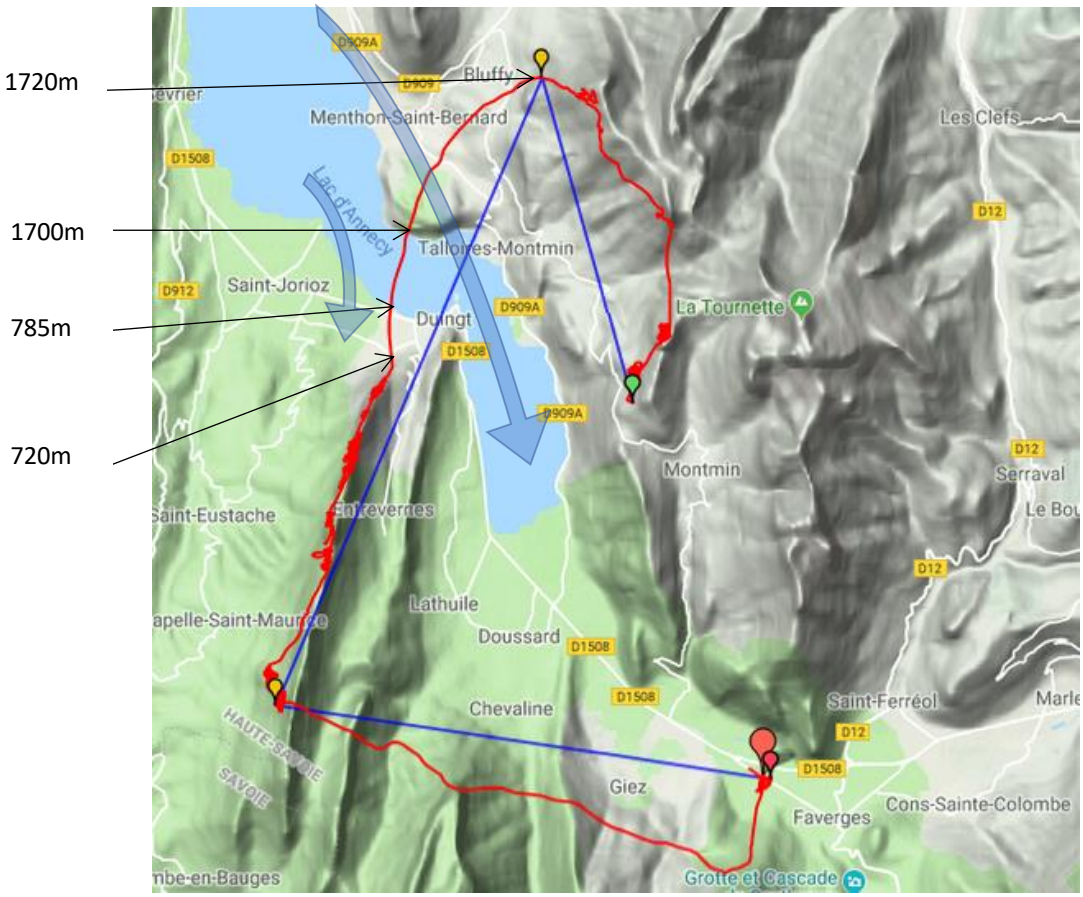
Pour optimiser davantage encore, le pilote adaptera son régime de vol à chaque instant, au regard des mouvements horizontaux et verticaux de la masse d'air rencontrée.

Cas de traversée du lac d'Annecy :

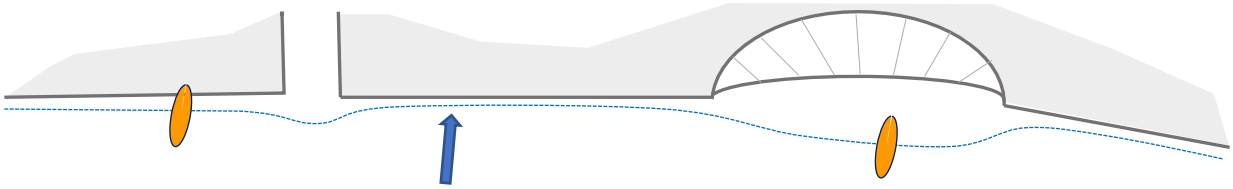
la brise est faible ou absente : trace N.A. (12h27..13h35 UTC) traversée directe



la brise de lac s'installe : trace M.P. (13h03..15h21 UTC) avec laisse



Cas d'évitement d'une valleuse ou combe: cela se fait intuitivement, dès lors que l'on connait l'existence de ces irrégularités du relief, on commence à s'en écarter avant et on recolle après.



Notes personnelles : ……..…….

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..
……..
……..
……..
……..
……..
……..
……..
……..
……..
……..
……..
……..
……..
……..
……..
……..
……..
……..
……..
……..
……..
……..
……..
……..
……..
……..

Index

360 engagés, 58
abattée, 15, 26
accélérateur, 58, 64, 66
adiabatique saturée, 118
adiabatique sèche, 56, 118
adiabatiques (les), 117
Advection, 151
AGL, 80
air instable, 42, 46
Airways (AWY), 128
allongement, 150
Allongement (grand), 30
altocumulus, 37, 46
AMSL, 80, 134
angle de plané, 19, 32, 94, 95, 111
anti-g, 59
Apex (pull-down), 152
approche, 63
appui sellette, 113
Arrondi, 61
ascendance, 60
ASFC, 80, 134
assiette, 60, 110, 111
atmosphère standard, 116
autorotation, 30
AWY, 80
axe de roulis, 112
axes fondamentaux, 93
base du nuage, 52, 54
Bernoulli, 97
Brise, 49
Brise de mer, 35, 49
Brise de pente, 50
Brise de terre, 49
Brise de vallée, 36, 49
Brise thermique, 35
brouillards d'advection, 55
brouillards de rayonnement, 55
cabré, 60, 64, 65, 67, 93
cadencement, 76
Cadencer, 60
calage, 66
calage (point de), 92
cap à la sellette, 67
Caractéristiques de l'air, 115
Carte aéronautique, 77, 78, 79, 127, 134
Carte IGN OACI, 77
Carte SIA, 77
Carte VAC, 77
castellanus, 37
centre de gravité, 17, 93
centre de poussée, 17, 93
charge alaire, 20, 21, 22, 31
ciel de traîne, 38, 39
cisaillement, 47
cisaillement Horizontal, 47
cisaillement Vertical, 47
classe E, 83
classe G, 83
classes d'espace aérien, 127
Cocon_couché-dos, 153
combe, 158
compression adiabatique, 43, 118
condensation, 54
cône de projection, 20, 88
confluence, 35
Congestus, 42
Convergences, 47
corde, 88
corde centrale, 21
couche d'inversion, 47
couches de l'atmosphère, 115
courant ascendant, 147
cravate, 57, 58
crête, 35, 72
croisement, 35
CTR, 77, 78, 129
CumuloNimbus, 37, 41, 42, 46, 52, 53
Cumulus humilis, 54
déco pentu, 68
déco peu alimenté, 71
déco peu pentu, 71
décrochage, 20, 21, 22, 26, 28, 107, 108, 109, 143
décrochage asymétrique, 26
dérive (la), 21
descente aux B, 58
descentes rapides, 58
détente, 55
détente adiabatique, 43, 118
Développement vertical, 52
drag-chute, 59
écoulement laminaire, 29, 107
écoulement tourbillonnaire, 29, 107
écoulement turbulent, 29, 107
effet bagnard (la schlag), 154
effet Coanda, 96
effet girouette, 124
Emagramme, 52, 54, 56, 115, 117

émagramme 45°, 120
Envergure projetée, 88
espace aérien, 74, 78, 127
espace militaire, 81
Euler, 98
extrados, 29
FA, 145
fermeture, 34
fermeture asymétrique, 23
fermeture en parapente, 104
fermeture frontale, 25
fermeture latérale, 57, 58
fermeture massive, 25
Finale, 17
Finesse, 19, 20, 145
finesse air, 18, 19, 66
finesse max, 94
finesse sol, 16, 18, 19
FL, 80, 135
FL115, 128
FL195, 128
Foehn, 43, 44, 45
Foehn (brèche de), 44
Foehn (trou de), 44
force aérodynamique, 17, 88
force centrifuge, 17, 59, 91
force centripète, 91, 142
fourchette de poids, 150
Foyer Aérodynamique, 92
Front chaud, 37, 40, 41
Front froid, 38, 40, 41
goupille (secours), 62
GPS, 73
gradient, 61, 88
gradient dans thermique, 24
gradient de vent à l'atterrissage, 15, 61
gradient du vent, 15
Gradients adiabatiques, 115
grandes oreilles, 67
huits, 72
Humidité relative, 116
IFR, 83
incidence, 24, 88, 111
inclinaison, 142
inertie, 90
information aéronautique, 77
instabilité de l'air, 37, 39, 41, 52, 54, 56
instable (aérologie), 56
intrados, 29
laisse de chien, 156
lenticulaires, 44, 46
lester, 31, 34
maniable (l'aile sera moins), 20, 21
maniable (l'aile sera plus), 20
masse d'air, 52
masses d'air (Front), 38
MECAVOL (rappels), 87
Mécavol (suppléments), 141
Météo (suppléments), 151
moment, 76, 90, 112, 113
montagne, 37
mouvement pendulaire, 60
Navier-Stokes, 98
neutralité spirale, 59
NimboStratus, 41, 46
niveaux de vol, 80
NOTAM, 77, 127, 133
nuages, 45
nuages particuliers, 45
nuelle, 54
oreilles, 32, 58
parachutale, 58, 148
parachute de secours, 62, 152
Paramètres de l'air, 116
parcs nationaux et régionaux, 127, 133
particule d'air, 56
perte de connaissance, 59
perturbation, 40
Phénomène transitoire, 60
pied (ft), 80
PILOTAGE (compléments), 123
Pilotage (suppléments), 152
piqué, 64, 93
pivot, 93
plané équilibré, 19
POD (secours), 62
Poids apparent, 17
poignée d'extraction, 62
Polaire, 20
Polaire des vitesses, 20
Portance (la), 18
préparation vol, 82
Pression atmosphérique, 115, 116
prévol, 71
prise de vitesse, 16, 61
proportionnalité, 145
PTU, 63
PTZ, 153
QFE, 135
QNE, 135
QNH, 135
Rafale de face, 23
Rafale descendante, 26, 146
Rafale efficace, 105, 108
Rafale montante, 24, 60
rayon de virage, 142
Rayonnement, 151
références altimétriques, 80
RÈGLEMENTATION / ESPACE AÉRIEN (compléments), 127

réglementation aérienne, 82
règles VMC, 128
repère Galiléen, 91
repère non-Galiléen, 91
rose des vents, 115
rotors et rouleaux, 151
Roulis, 112
RTBA, 81
seuil de décrochage, 29, 107
SFC, 134
SIA, 77
sous-incidence, 27
sous-ondulatoire, 45
spread, 121
stabilo, 57
SUP AIP, 77
surface isobare, 135
Surface projetée, 88
sur-incidence, 26, 27
sustentation, 96
système nuageux, 40
Système ondulatoire, 44
taux de chute mini, 20, 22
temporisation, 68, 69
thermique, 24, 60, 64, 72, 146
TMA, 78, 80, 128, 129
Traîne (ciel de), 40
traîne chaotique, 39
Trainée (la), 18
trajectoire sol, 21
transitions, 64
Trim, 64, 65
tropopause, 42, 45, 115
troposphère, 45
tumbling, 104, 148
turbulences, 17, 20, 21, 29, 44, 107
valleuse, 158
variomètre, 73
vecteurs (éléments sur les), 89
vecteurs (représentation des), 111
vent relatif, 23
vent soutenu, 68
Venturi, 68, 69, 155
VFR, 83
virage à plat, 60, 124
virage équilibré, 17, 142
viscosité, 29, 96, 107
vitesse max, 20, 21, 22
Vitesse sol, 74
Vitesse, rayon et poids apparent, 142
voile noir, 59
vol équilibré rectiligne, 111
vol de distance, 77
vol IFR, 128
vol turbulent, 23
volumes (aériens), 77, 78, 129, 130
vrille, 26
zone active, 81
zone inactive, 81
zones à statuts particuliers, 127, 130

Remerciements pour leur aide,

Groupe de travail de la commission formation parapente de la FFVL

Laurent VAN-HILLE, **Philippe MARCK,** **Philippe LÈBRE-PAGET**
Jean Pierre GOGOL, **Emmanuel DENECKER,** **Emmanuel FÉLIX-FAURE**

Laurent CHAMERAT CT Formation / Ecoles parapente

Dominique LESTANT	moniteur fédéral parapente (Air Bouz Band)
Laurent VAN-HILLE	BEES parapente, DTE (dir-école les Choucas)
Jacques PEUGEOT	DEJEPS parapente, ingénieur aéronautique
Tam LUUTHO	moniteur fédéral parapente
Nicolas BRENNEUR	Créateur de voiles
Didier KALAMA	moniteur fédéral parapente (école les Piafs)
Patrice QUILLET	Entraineur ligue PIDF
Didier DOMERGUE	moniteur fédéral delta et parapente (dir-école les Migrateurs)
Jean-Marc GALAN	moniteur fédéral parapente
Sarah CASTELLARNAU	monitrice fédérale parapente

Nadir AMIRAT, Frédéric DELBOS, Emmanuel MOREAU

Version 5: Juillet 2021 **à D.A.**

Dominique LESTANT :

Ingénieur Efficience Industrielle.

Activités aéronautiques :
Vol à voile, Delta, Parapente_ moniteur fédéral.

Robert ALAKIAN :

Ingénieur du CNAM-**Paris 1984** ‘génie informatique’.