

Brevet de Pilote Confirmé Parapente / Delta

Préparation à l'écrit / référentiel de correction

« mécanique du vol, aérodynamique »,

« météorologie, aérologie »

« *pilotage* »

« réglementation aérienne, espace aérien »



Apprenez la liberté

niveau marron

Optimisation du pilotage

Cycle
n°3



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 des conditions et de leur évolution tout au long du vol

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

Anticiper le choix d'un atterrissage en campagne

le Cadre de pratique



- Préparer son vol à partir d'une carte aéronautique et agir en tant que commandant de bord
- S'inscrire dans une démarche de poursuite de progression (autres formes de pratique, accès aux qualifications fédérales)

-> Connaissances théoriques nécessaires :

- Météo / Aérologie : frontologie détaillée, notions de stabilité/instabilité appliquées à la pratique, phénomènes particuliers liés à une région, phénomènes de confluences
- Mécanisme : polaire des vitesses appliquée au vol (influence vent et rafales), incidents de vols, sortie du domaine de vol
- Pilotage : différents types de virages, descentes rapides, ⇒ procédure de l'atterrissage en contre pente
- Matériel : utilisation du parachute de secours, configuration aile/secours, contraintes liées aux incidents de vol et à la pratique de la voltige
- Réglementation : connaissance des différents cadres réglementaires (interlocuteurs, institutions)

le Mental



- Objectiver les situations (faire la part entre le ressenti et la réalité)
- Se concentrer sur les actions à venir tout en pilotant
- Etre capable d'endurance en vol (résistance au stress, maintien de l'attention, récupération)
- Rester à l'écoute de ses possibilités du jour et savoir renoncer
- Avoir conscience des exigences et des risques liés à la pratique du vol de performance, l'intégrer dans son comportement

objectif



Être capable d'analyser et d'exploiter les conditions afin de se déplacer.

niveau marron

Optimisation du pilotage



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 (disponibilité des capteurs, 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 (aile homologue)
- Exploiter les différents types de thermiques
- ➔ - contrôler le vol en turbulences

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
- ➔ - Gérer la vitesse en fonction des conditions de vol

la Technique (suite)

- ➔ - 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 au sol, aux autres pilotes
- Utiliser les données fournies par ses instruments de vol

Gérer son matériel

- ☞ - Suivre les signes de vieillissement (drisses de freins, état du tissu, des coutures, du suspentage)
- ☞ - 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...)

à savoir



- > Accès qualifications fédérales : 18 ans + 1 an de brevet + BPC.
- > Accès compétition : 18 ans + brevet + BPC.

Avant-Propos

Ce manuel s'adresse aux pilotes de Parapente et Aile Delta, qui souhaitent approfondir leurs connaissances et se préparer à l'examen de la partie théorique du Brevet de Pilote Confirmé. Il pourra servir de support, aux moniteurs, pour préparer la qualification de leurs candidats, ainsi qu'aux correcteurs du BPC.

Les confirmés, déjà anciens pourront rafraichir leurs connaissances.

La qualification du Brevet de Pilote Confirmé est nécessaire à la participation aux compétitions, pour la formation bi-placeur et accompagnateur de club.

Dans cette préparation à la partie théorique du Brevet de Pilote Confirmé, nous avons choisi une liste de questions couvrant la totalité des différents thèmes enseignés dans la formation du pilote au BPC, et de proposer une réponse à chacune d'entre-elles.

Depuis plusieurs années déjà, l'examen théorique du BPC comporte un QCM (Questionnaire à Choix Multiple) de 30 questions et une partie rédactionnelle portant sur 2 ou 3 questions ouvertes.

Le QCM est orienté selon la spécialité du candidat, QCM parapente ou QCM delta.

Le QCM est largement diffusé et la FFVL propose un outil d'entraînement, que l'on peut télécharger librement.

S'agissant des réponses aux questions ouvertes, il n'y a pas à ce jour de manuel dédié : ce document répond à ce manque. Les conseils que nous pouvons vous donner sont, de rester dans le sujet, ne pas tenter de broder inutilement et risquer le hors-sujet. On attend de vous la solution la mieux adaptée à une situation donnée.

La prise de connaissance du présent manuel « Préparation à l'écrit / référentiel de correction » du Brevet de Pilote Confirmé, demande une implication sérieuse. Le futur candidat pourra se préparer efficacement, il devra chercher à comprendre chaque réponse, le bachotage est improbable.

Après les questions ouvertes ordonnées par thèmes, nous trouverons des rappels et compléments permettant un recentrage parfois indispensable.

Puis, pour ceux qui veulent aller plus loin, les « Bonus » : 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 du document : nous avons voulu une présentation la moins sophistiquée possible. Les dessins et schémas simplement réalisés épurés de toute fantaisie. Le candidat devrait se sentir capable de les refaire et ainsi, mieux s'impliquer dans le travail attendu.

Important : L'acronyme RFA, pour Résultante des Forces Aérodynamiques est définitivement remplacé par FA : Force Aérodynamique, plus approprié.

Enfin, pour rassurer le candidat, voici la recommandation faite par la Fédération, aux correcteurs :

« Rappels sur les critères de notation :

- clarté et justesse des schémas et commentaires,
- syntaxe, grammaire et orthographe ne sont pas à prendre en compte. »

Structure du document :

Table des Matières

Questions ouvertes :

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

Compléments pour remise à jour des connaissances

Mécanique du vol
Météorologie
Réglementation / espace aérien

Suppléments aux réponses proposées

Mécanique du vol
Météorologie
Pilotage

Index

Recommandations aux lecteurs et candidats dans la lecture du manuel :

Partie ‘Questions Ouvertes’ : connaissance et compréhension indispensable et suffisante pour l’examen écrit.

Partie ‘Compléments’ : apporte des rappels, voire une mise à jour des connaissances. Il est fortement recommandé de la consulter.

Partie ‘Suppléments’ (Bonus) : réservée pour ceux qui veulent aller plus loin dans certaines analyses, Ce chapitre doit néanmoins rester accessible à une majorité, mais est hors programme.

Table des Matières

Questions portant sur : MÉCANIQUE du VOL - AÉRODYNAMIQUE	11
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 mettez-vous en place et pourquoi ?	11
2- A l'aide d'un schéma, décrivez les forces en présence lors d'un virage équilibré	13
3- Quel est le terme définissant le rapport entre la Portance et la Trainée ? Illustrez à l'aide d'un schéma.	14
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 ?	15
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	16
6- Quelles sont les deux droites qui définissent un angle de dérive ?	17
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 ?	17
8- Si on augmente nettement la charge alaire, quelles vont en être les conséquences et pourquoi ?	18
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, précisez ces paramètres.	19
10- Durant votre vol, vous entrez dans un thermique. Décrivez, par un schéma simple, l'incidence sur votre voile.	20
11- Comment expliquez-vous une fermeture frontale et ce qui a pu l'engendrer ?	21
12- Le départ en décrochage asymétrique est lié à un problème mécanique simple. Lequel ?	22
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 ?	23
14- Le décrochage est lié à un problème mécanique simple. Lequel ?	24
15- Expliquez les causes d'un départ en autorotation	25
16- En se lessant 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 ?	26
17- Que pensez-vous de l'affirmation : « se lester diminue les risques de fermeture »?	27
18- Le fait de se mettre « aux oreilles » fait-il varier l'angle d'incidence ? Précisez à l'aide d'un schéma.	28
Questions portant sur : MÉTÉOROLOGIE / AÉROLOGIE	31
1- Qu'est-ce qu'une confluence et quelles peuvent en être les origines ?	31
2- En montagne, vous observez des altocumulus en formation, quelle est votre analyse ? Quels éléments vous permettent d'anticiper l'évolution ?	33
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.	34
4- Par un schéma, décrivez le passage d'une perturbation et citez les phénomènes associés (nuages, vents, précipitations...).	36
5- Quels sont les nuages associés à une masse d'air instable ? De quoi sont-ils annonciateurs et quelle est leur évolution possible ?	38
6- Décrivez à l'aide de schémas commentés, le phénomène d'effet de Föhn (causes et conséquences).	39
7- Décrivez les différents étages de la troposphère et les nuages associés.	41
8- Citez et décrivez les différentes situations où l'on peut rencontrer des cisaillements.	43
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 ?	45
10- Décrivez une masse d'air favorable à la formation d'un cumulonimbus et les évolutions aérologiques associées.	47
11- Décrivez et expliquez les causes de la formation des brouillards d'advection et de rayonnement.	48
12- Décrivez, à l'aide d'un schéma, les raisons de la formation d'un cumulus humilis.	49
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 1000m.	50

Questions portant sur : **PILOTAGE**..... 53

- 1- Décrivez les différentes techniques de descentes rapides et les situations dans lesquelles vous pourriez être amené à les utiliser.53
- 2- Vous subissez une fermeture latérale de 50% de l'aile à 300m sol sans relief proche. Comment gérez-vous cela ? Quelles sera votre attitude en cas de cravate ?55
- 3- Vous entrez dans une forte ascendance qui augmente franchement l'assiette de votre aile. Quelle est votre réaction en terme de pilotage afin d'exploiter cette ascendance ? Pourquoi ?56
- 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 ?57
- 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 ?58
- 6- Vous êtes plusieurs à la même altitude en approche. Décrivez à l'aide d'un schéma la ou les solution(s) que vous adopterez.59
- 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.60
- 8- Sur un décollage pentu avec un vent soutenu, quelle sera la technique que vous adopterez ? Quels sont les risques en cas de gestuelle inappropriée ?63
- 9- Sur un décollage peu pentu et peu alimenté, quelle sera la technique que vous adopterez ? Quels sont les risques en cas de gestuelle inappropriée ?65
- 10- Vous êtes en soaring sur une crête où quelques thermiques déclenchent régulièrement. Comment vous y prendrez-vous pour les exploiter ?66
- 11- 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
- 12- Quels sont les principes de fonctionnement d'un variomètre et d'un GPS ? Dans quelles situations sont-ils le plus utiles ?68
- 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 ?70
- 14- Comment expliquez-vous la mise en virage d'un parapente ?71

Questions portant sur : **RÈGLEMENTATION / ESPACE AÉRIEN** 73

- 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 ?73
- 2- Quelles sont les cartes aéronautiques utiles à la pratique du Vol Libre en France? Quelles sont leurs caractéristiques ?73
- 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 2002 ? Quelle serait votre mise en application pratique lors d'un vol dans ce secteur ?74
- 4- Que représente la figure suivante ? Quelles informations pratiques un pilote de Vol Libre peut-il déduire ?76
- 5- Quelles sont les différentes références altimétriques utilisées sur les cartes aéronautiques? Comment les convertissez-vous pour votre utilisation pratique ?76
- 6- Que représente la figure suivante ? Comment un pilote de Vol Libre peut-il en déduire les informations pratiques ?77
- 7- Demain, les prévisions météorologiques sont favorables au vol de distance. Comment préparez-vous concrètement le vol pour respecter la réglementation aérienne ?78
- 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 ?79

Notations et quelques rappels pour la **MÉCAVOL**: 81

- 1- Symboles et acronymes :81
- 2- Éléments sur vecteurs :81
- 3- Les forces en présence lors d'un vol équilibré rectiligne :82
- 4- L'angle de plané de nos jours :83

5-	Fermetures :	85
6-	Décrochage :	90
7-	L'Assiette à :	93
8-	Le Roulis :	95
Compléments de MÉTÉOROLOGIE		97
1.	Les couches de l'atmosphère	97
2.	La troposphère :	97
3.	La pression atmosphérique :	98
4.	Caractéristiques de l'air:	98
5.	Loi générale sur les gaz parfaits ramenée à la théorie de la pompe à vélo et du gazogène :	99
6.	Diagramme des changements d'état :	99
7.	Conséquences des Lois de la thermodynamique :	100
8.	Modèle d'éogramme 45° vierge utilisable pour le parapente ou delta	102
9.	direction des vents :	102
Compléments de RÈGLEMENTATION / ESPACE AÉRIEN		105
1.	Division de l'espace aérien	105
2.	Les zones à statuts particuliers :	108
3.	NOTAM	111
4.	Lecture des cartes : interprétation des limites plancher, plafond :	111
5.	Traçons le Volume autour de l'aéroport de Valence-Chabeuil depuis les données de la carte :	113
Suppléments pour Mécanique du vol		115
Bonus Q2 : Vitesse, rayon et poids apparent en fonction de l'inclinaison dans virage équilibré.....		115
Bonus Q4 : Finesse air, finesse sol.		117
Bonus Q5 : Règle et coefficient de proportionnalité.....		117
Bonus Q10 : Entrée et sortie d'un thermique.....		118
Bonus Q11 : Attitude souhaitable du pilote sur une frontale.		120
Bonus Q15 : Rappel sur l'Allongement.....		120
Bonus Q13 : Poids d'une rafale de face ou du dessus, dans le risque de fermeture.		121
Bonus Q13 + : Poids d'une rafale montante dans le risque de décrochage.....		122
Bonus Q13 ++ : Poids d'une rafale arrière dans le risque de décrochage.....		123
Suppléments pour Météorologie.....		124
Bonus Q6 : Axes rotors et rouleaux.....		124
Bonus Q11 : définition de l'Advection et du Rayonnement.		124
Suppléments pour Pilotage		125
Bonus Q3 : cas d'un petit thermique.....		125
Bonus Q5 : Le parachute de secours : description		125
Bonus Q13 : Eléments de choix de la sellette.		125
Index		127

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 mettez-vous en place et pourquoi ?

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

a- Définition du gradient du vent : le vent décroît à l'approche du sol. Le gradient est plus ou moins marqué en fonction de la nature du sol, et sa configuration.

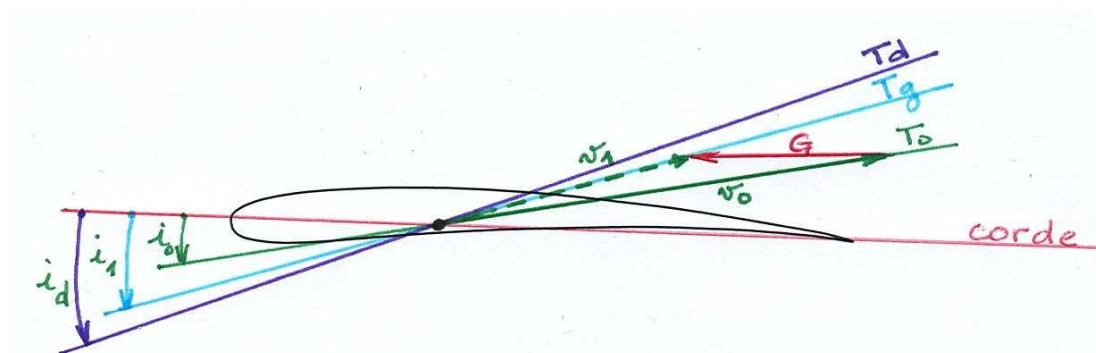


b- Conséquence aérodynamique sur l'aile :

En approche du sol, vent de face, le vent relatif va décroître

→ La portance va diminuer, l'aile va abattre pour reprendre de la vitesse.

C'est équivalent avec la rafale de vent arrière. La FA diminue et l'incidence augmente. Il y a risque de décrochage.



L'angle d'incidence $\hat{i}$ est déterminé par la corde de l'aile et la trajectoire de l'aile qui porte le vecteur vent relatif.

Soit $\mathbf{v}_0$ le vent relatif porté sur la trajectoire initiale $\mathbf{T}_0$, et $\hat{i}_0$ l'incidence de l'aile.

Si du gradient $\mathbf{G}$ apparaît : il en résulte un nouveau vent relatif $\mathbf{v}_1 = \mathbf{v}_0 + \mathbf{G}$, porté sur la nouvelle trajectoire $\mathbf{T}_g$, et donnant une nouvelle incidence $\hat{i}_1$.

Avec un gradient encore plus fort, il y aura risque de décrochage si le vent relatif résultant est porté par la droite $\mathbf{T}_d$ qui détermine le seuil de l'incidence de décrochage $\hat{i}_d$...

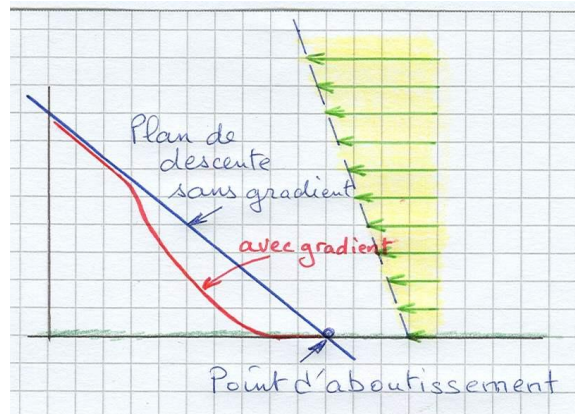
c- Cas possibles de trajectoires : deux cas possibles,**Gradient près du sol :**

L'aile est toujours en recherche de vitesse, la finesse est dégradée.

Le posé se fait avant le point d'aboutissement initial.

Le pilote devra anticiper le freinage final, ce dernier se confondant avec l'arrondi.

C'est aussi le cas si le pilote prend en compte tardivement le gradient.

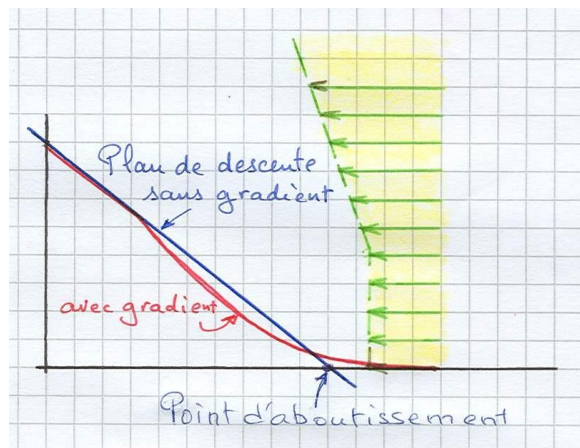
**Gradient haut :**

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 prendre de la vitesse sol...

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).

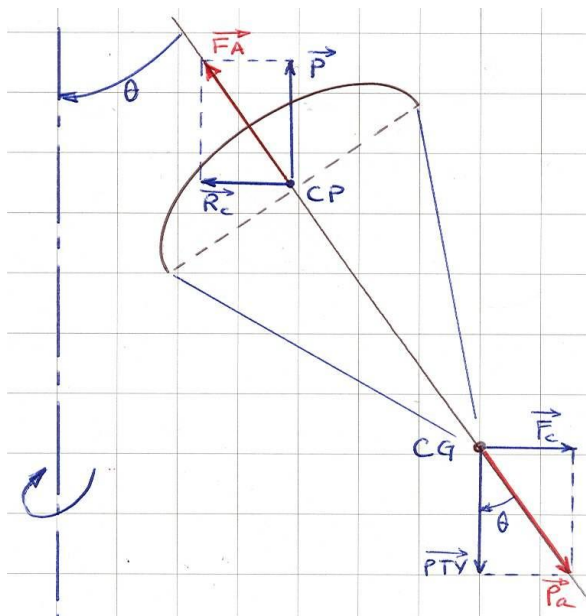
e- Précautions à prendre :

- anticiper l'arrivée dans la zone de gradient en prenant de la vitesse, bras hauts 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 a tendance à tenir son aile ; parfois le gradient est turbulent, le pilote doit piloter son aile en ayant à l'esprit qu'il faut garder de la vitesse.

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

Sommaire des éléments de réponse :

- Schéma du virage équilibré,
- Action des forces en présence,
- Conséquence sur les vitesses.

a- Schéma de l'aile en virage équilibré :

θ : thêta angle d'inclinaison

P : la portance,

Rc : la force centripète,

T : la traînée,

CG : le Centre de Gravité,

CP : le Centre de Poussée,

$$FA = P + T + Rc$$

Pa : le poids apparent,

Fc : la force centrifuge,

$$Pa = Fc + PTV = \frac{PTV}{\cos \theta}$$

Vol en virage équilibré, vitesse et inclinaison sont constantes.

b- Action et bilan des forces en présence :

Au centre de poussée (CP), s'exerce la FA, Force Aérodynamique, somme vectorielle de la portance de la traînée et d'une force créée par le virage, la force centripète.

Au centre de gravité (CG), s'applique le Poids apparent, somme vectorielle du PTV et de la force centrifuge.

c- Conséquence sur les Vitesses :

En virage, le Poids apparent est plus grand que le poids en vol rectiligne : la polaire des vitesses glisse à droite sur la ligne de finesse max : la vitesse relative augmente.

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 :

- Définition de la finesse,
- Schéma des forces et angles en présence.

a- Définition de la finesse :

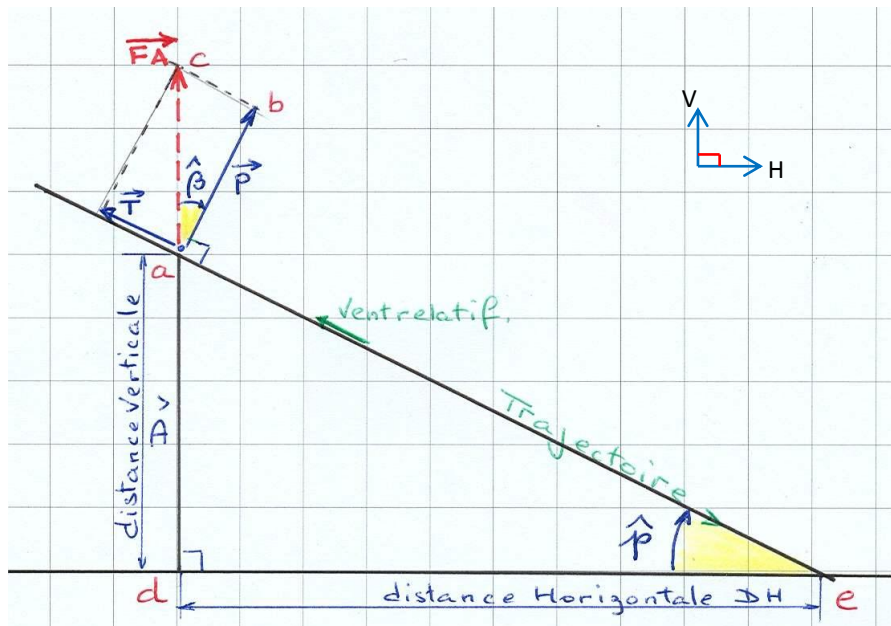
Ici on considère la finesse air, qui est égale à la finesse sol en air calme (sans vent).

La finesse (f) est définie par le quotient de la distance parcourue sur la hauteur perdue.

La finesse est aussi le rapport entre la Portance P et la trainée T : $f = \frac{\text{Portance}}{\text{Trainée}}$

b- Schéma des forces et angles en présence

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



Par définition la finesse $f = \frac{\text{Distance parcourue}}{\text{hauteur perdue}} = \frac{DH}{DV}$.

Faisons un peu de géométrie :

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

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

Ces deux triangles sont semblables et les côtés correspondants proportionnels.

$$\text{Donc : } \frac{ab}{ed} = \frac{bc}{da} \rightarrow \frac{ab}{bc} = \frac{ed}{da}$$

$$\text{Enfin si on remplace les côtés par leurs valeurs respectives : } \frac{P}{T} = \frac{DH}{DV} = f$$

f peut aussi s'exprimer en fonction des vitesses : $f = \frac{DH}{DV} = \frac{\text{vitesse sol} \times \text{temps}}{\text{vitesse verticale} \times \text{temps}} = \frac{V_{\text{sol}}}{V_{\text{verticale}}}$

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 :

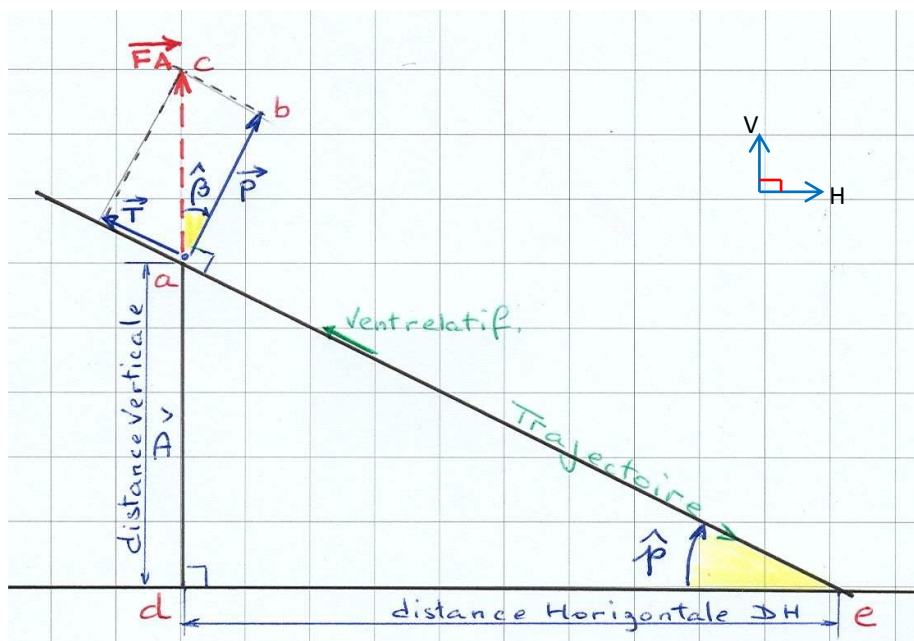
- a) Définition de la finesse,
- b) Représentation des forces et angles.

a- 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 distance horizontale parcourue et la hauteur perdue.

b- Représentation des forces et angles :



par définition $f = \frac{\text{Distance parcourue}}{\text{hauteur perdue}} = \frac{DH}{DV}$

Considérons les triangles rectangles semblables abc et eda.

$bac = dea \rightarrow \beta = p$ angle de plané.

P est la Portance et T la Trainée. $ab = P$ et $bc = T$

Dans les triangles semblables : $\frac{ab}{bc} = \frac{de}{da} \rightarrow \frac{\text{Portance}}{\text{Trainée}} = \frac{DH}{DV} = f$ la finesse.

La finesse s'exprime aussi en fonction des vitesses : $f = \frac{DH}{DV} = \frac{\text{vitesse sol} \times \text{temps}}{\text{vitesse verticale} \times \text{temps}} = \frac{V_{\text{sol}}}{V_{\text{verticale}}}$

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

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

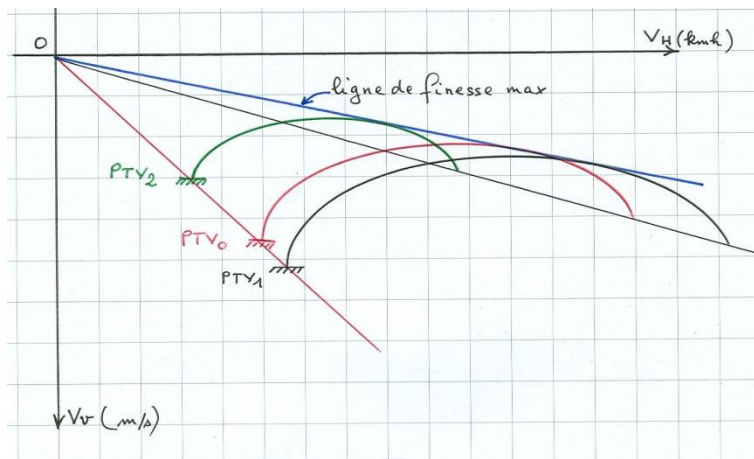
Sommaire des éléments de réponse :

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

a- Influence de la charge :

A incidence constante, la charge alaire n'influe pas sur la finesse. Si la charge varie, la polaire des vitesses est transformée homothétiquement en suivant la ligne de finesse max, 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 :



Polaire d'une aile $\pm$ chargée :

$$PTV_2 < PTV_0 < PTV_1$$

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,
 - 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 :

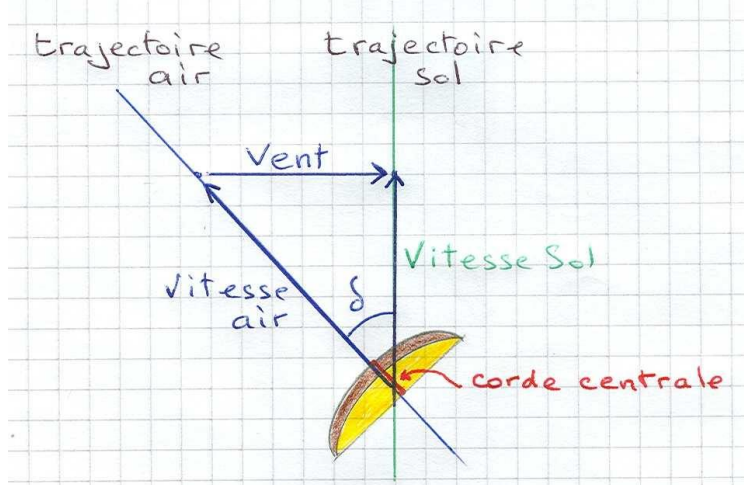
- 1- Les vitesses diminuent :
 - Il faudra courir moins vite au décollage,
 - L'atterrissage sera réalisé à allure modérée,
 - L'aile sera moins maniable et plus sensible aux turbulences ; mais en cas de fermetures, celles-ci seront moins brutales.
- 2- La vitesse max diminue, ce qui peut être intéressant 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 apparaît lorsque l'aile subit un vent latéral : l'aile avance alors en crabe.

L'angle de dérive δ 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 affirmer 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 :

- Définition de la charge alaire,
- Incidence d'une diminution de la charge alaire,
- Conséquences sur le vol.

a- Définition de la charge alaire :

La charge alaire est le rapport entre le PTV et la surface projetée au sol 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 allure modérée,
- L'aile vole moins vite et sera moins maniable et plus sensible aux turbulences, on augmente le risque de fermeture, mais celles-ci seront moins brutales ;
- L'aile devient plus vulnérable aux variations d'incidence liées à des turbulences.

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.

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 est le rapport entre le PTV et la surface portante de l'aile (surface de l'aile projetée au sol) en kg/m^2 .

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 allure vive, pour ne pas risquer un décrochage prématuré,
- Plus grands efforts aux commandes,
- L'aile sera plus réactive 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.

- 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. Sur l'aile il suffira que la nouvelle incidence passe en sous-incidence ($< 4/5^\circ$) pour déclencher la fermeture.

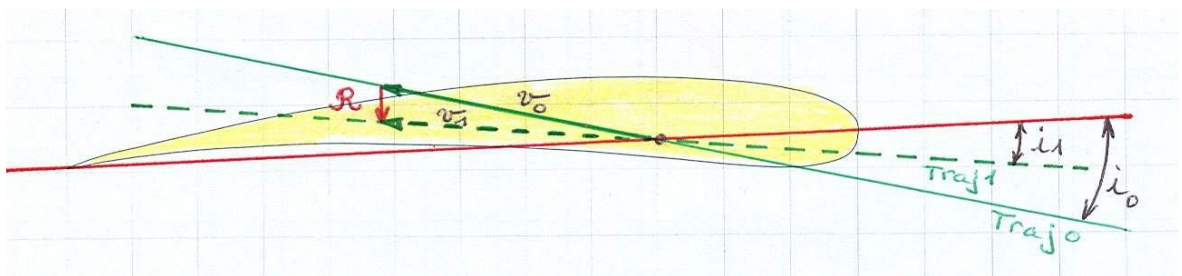
Cette diminution de l'incidence est due à la variation du vent relatif causée par :

- Une rafale de vent de face,



Cette rafale de face $\mathcal{R}$ compose avec le vent relatif v_0 , pour présenter un nouveau vent relatif v_1 porté sur une trajectoire nouvelle Traj_1 , avec pour conséquence une incidence $\hat{i}_1$ réduite.

- Une descendante.



Cette rafale de-dessus $\mathcal{R}$ compose avec le vent relatif v_0 , pour présenter un nouveau vent relatif v_1 porté sur une trajectoire nouvelle Traj_1 , avec pour conséquence une incidence $\hat{i}_1$ réduite.

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

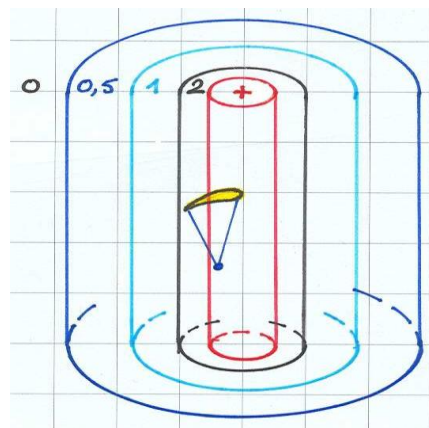
Sommaire des éléments de réponse :

- a) Le gradient d'un thermique,
- b) Entrée dans le cœur, montant,

a- Le gradient dans thermique :

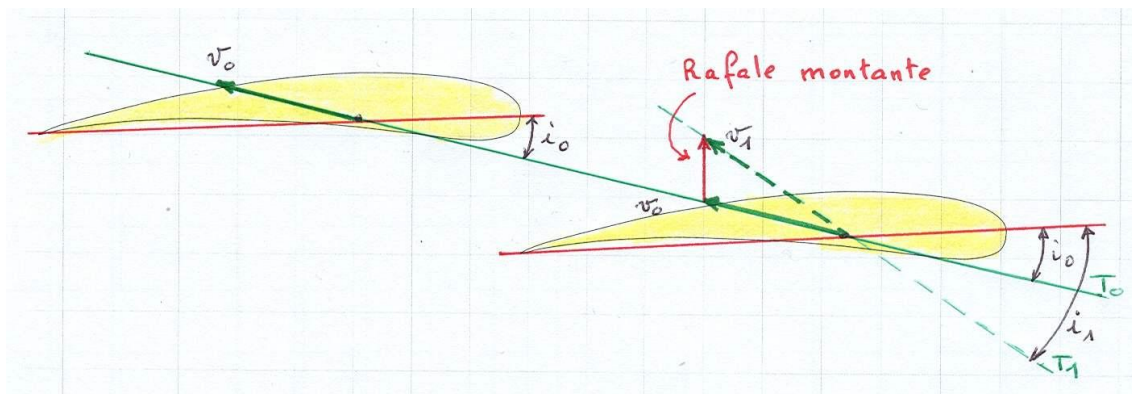
Nous excluons les zones descendantes jouxtant extérieurement une ascendance thermique et présenterons le cœur montant.

Dans la traversée du thermique, nous rencontrons un gradient de courant thermique croissant vers le centre (0., +0,5., +1., +2., ++).



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 va transitoirement induire une nouvelle vitesse v_1 :

$v_1 > v_0$: l'incidence $\hat{i}$ augmente, la trainée augmente et freine l'aile ; le pilote accroché à quelques mètres plus bas continue à avancer par inertie, l'effet balançoire 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 d'autant que l'ascendance est brutale.

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 ?

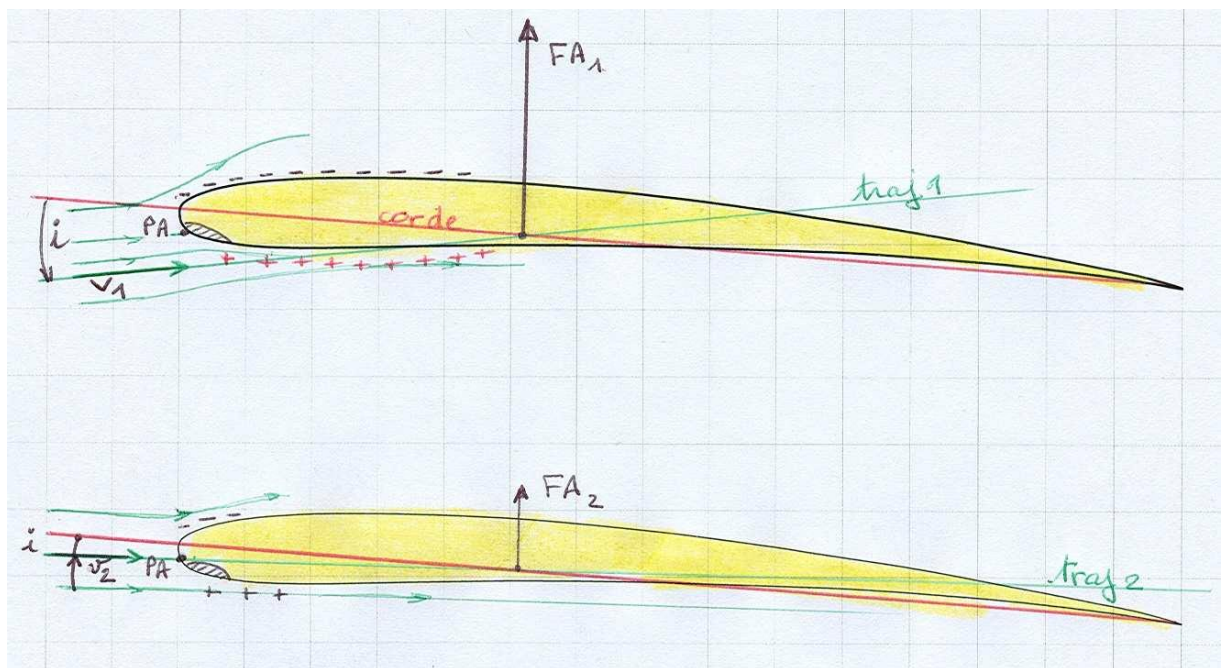
Sommaire des éléments de réponse :

- a) Définition et conditions de Fermeture frontale,
- b) Schéma représentatif,
- c) Processus conduisant à cette fermeture.

a- Définition et conditions de Fermeture frontale :

Une fermeture frontale est un incident qui se passe au niveau du bord d'attaque de la voile sur toute l'envergure, ou dans son milieu. Quand l'incidence de la voile est insuffisante (sous-incidence), le point d'arrêt (PA.) passe 'transitoirement' vers le haut, le bord d'attaque se replie vers le bas. Le bord d'attaque ferme par manque de portance, l'aile ne portant plus, se chiffonne. Si la longueur est importante, nous parlerons de fermeture « massive ».

b- Schéma représentatif :



c- Processus conduisant à cette fermeture :

L'origine peut être :

- Abattée de forte amplitude, et non contrée,
- Vitesse excessive, à la limite préconisée pour l'aile,
- Voile fortement accélérée ou fortement détrimée (calée avec une incidence faible),
- Rafale descendante : $\hat{1} \searrow$ et (en théorie, mais moins marqué) Rafale de face : $\hat{1} \swarrow$.

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

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

Sommaire des éléments de réponse :

- a) Définition du décrochage asymétrique,
- b) justification aérodynamique.

a- définition du décrochage asymétrique :

Un décrochage se produit quand l'incidence du profil excède les $18/19^\circ$ (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 portant 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.

Un départ en décrochage sur la demi-aile droite peut être obtenu par ralentissement de l'aile, puis lever la commande gauche tout en enfonçant la commande droite.

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.

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 égale ou passe sous le seuil de la fermeture ($\hat{i} \leq 4/5^\circ$).

Si le parapente vole dans des conditions normales la sous-incidence pourra quand même se produire sur un événement transitoire qui réduit brutalement l'incidence de l'aile par exemple :

- En zone de turbulence : une forte rafale descendante ou de face.

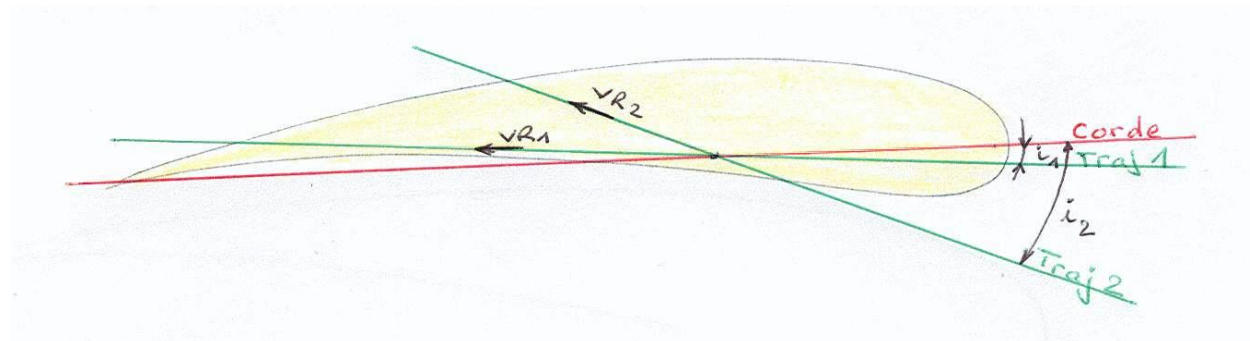
b- Sur-incidence définition et cause :

La sur-incidence est atteinte quand l'angle d'incidence égale ou dépasse le seuil de décrochage ($\hat{i} \geq 18/19^\circ$).

Si le parapente vole dans des conditions normales la sur-incidence pourra quand même se produire sur un événement transitoire qui accroît brutalement l'incidence de l'aile par exemple :

- En zone de turbulence, une rafale forte montante ou arrière.
-

c- Représentation sur un profil :



$\hat{i}_1$ = incidence fermeture
sous-incidence. (4 / 5°)

$\hat{i}_2$ = incidence décrochage
sur-incidence. (18/19°)

Voir dans les suppléments :

Bonus Q13 : Poids d'une rafale de face ou du dessus, risque de fermeture. (chapitre Suppléments)

Bonus Q13+ : Poids d'une rafale montante, risque de décrochage. (chapitre Suppléments)

Bonus Q13++ : Poids d'une rafale arrière, risque de décrochage. (chapitre Suppléments)

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

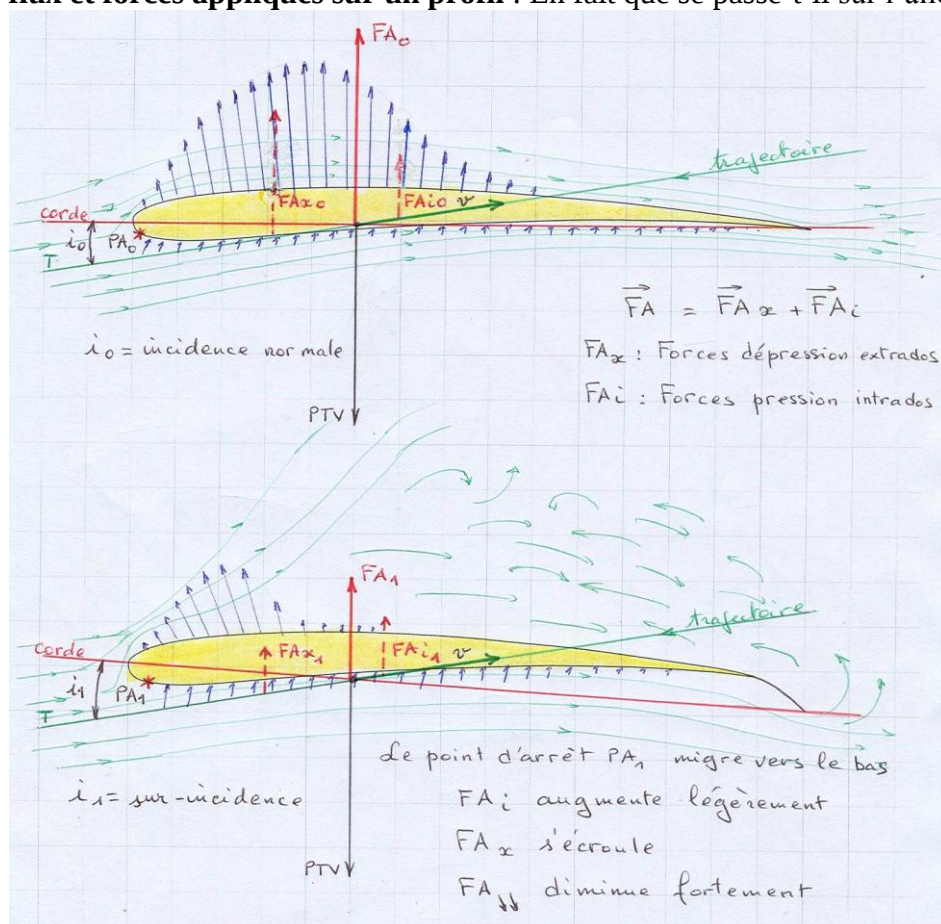
Sommaire des éléments de réponse :

- Quand se produit le décrochage,
- Schéma des flux et forces appliqués sur un profil,
- Démonstration aérodynamique.

a- Quand se produit le décrochage :

Le décrochage se produit quand l'aile passe en sur-incidence ($\hat{i} \geq 18/19^\circ$).

b- Schéma des flux et forces appliqués sur un profil : En fait que se passe-t-il sur l'aile :



En vol équilibré, la FA est opposée au PTV. Elle est la somme de FA_intrados (1/3) et FA_extrados (2/3) ; en décrochage, ce rapport de force a complètement disparu.

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 ouverte au flux.

Sur l'extrados, le cabré du profil déclenche rapidement le décollement des filets qui s'évacuent en turbulence sans plus assumer la dépression (d'effet Venturi), donc la succion attendue. Cette succion contribuant aux 2/3 de la force de portance.

En absence de Portance, l'aile devient chiffon, et avec une trainée bien présente, l'aile s'arrête et tombe derrière le pilote. Par inertie, le pilote avance tout en se sentant basculer vers l'arrière (ressenti in-situ).

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,
- aile à grand allongement ,
- effet pendulaire.

b- Causes :

Incident de vol pouvant être une fermeture asymétrique ou une cravate.

Une fermeture asymétrique de type frontale peut en être la cause. L'aile restée ouverte tourne très vite autour de l'axe du lacet, le pilote tombe dans la sellette côté fermé : c'est l'autorotation.

c- Manifestation d'une autorotation :

La voile tourne en s'enfonçant, l'aile extérieure est en survitesse, alors que l'aile intérieure en « sur-trainée » fait pivot. Le pilote entraîné en centrifugation décrit un cercle qui s'agrandit, c'est l'autorotation.

d- Mécanisme aérodynamique :

La voile ferme, le Centre de Gravité (CG) s'éloigne du Centre de poussée (CP). La voile abat dynamiquement et plonge vers le bas, la trajectoire du pilote s'exteriorise, décrivant un cercle de plus en plus grand.

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

Q15 : définitions de 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) Incidence sur le comportement de l'aile et son usure.

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 / m²].

b- Effet du lest sur la polaire des vitesses :

Si on augmente la Charge Alaire (CA₁ → CA₂), la polaire des vitesses translate à droite, le long de la ligne de finesse max de l'aile qui reste inchangée.

$$\text{Les vitesses vont augmenter} \quad v_2 = \frac{CA_2}{CA_1} * v_1 = \frac{PTV_2}{PTV_1} * v_1$$

Pour une même incidence

la vitesse horizontale augmente,

le taux de chute augmente : risque de fermeture amoindri.

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), demandant un pilotage plus précis.

- déséquilibres pendulaires à plus fortes amplitudes,
- diminution du risque d'incidents, mais plus violentes quand elles se produisent,

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- Incidence sur le comportement de l'aile et son usure :

- Déformation possible de la voute
- Usure prématurée des suspentes et des tissus
- Risque de rupture sous facteur de charge accru, sur une aile en fin de vie,

17- 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 soutenues.

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 en aérologie turbulente.

- « Les modèles de voiles actuelles donnent la quintessence de leur performance avec une charge alaire élevée » (PTV proche du maximum préconisé pour l'aile). Vitesses sur trajectoires, plus élevées,

b- La vitesse préserve des fermetures faibles :

Quand la charge alaire croît, la polaire des vitesses translate à droite sur la ligne de finesse max. Pour la même incidence, les vitesses croissent, la pression de l'air sur la voile qui suit le carré de la vitesse est plus forte. La structure devient plus rigide (aile plus tendue) et moins sensible aux fermetures, contrairement à une voile moins chargée, molle et plus sensible aux fermetures.

c- Inconvénient sur fermeture plus forte :

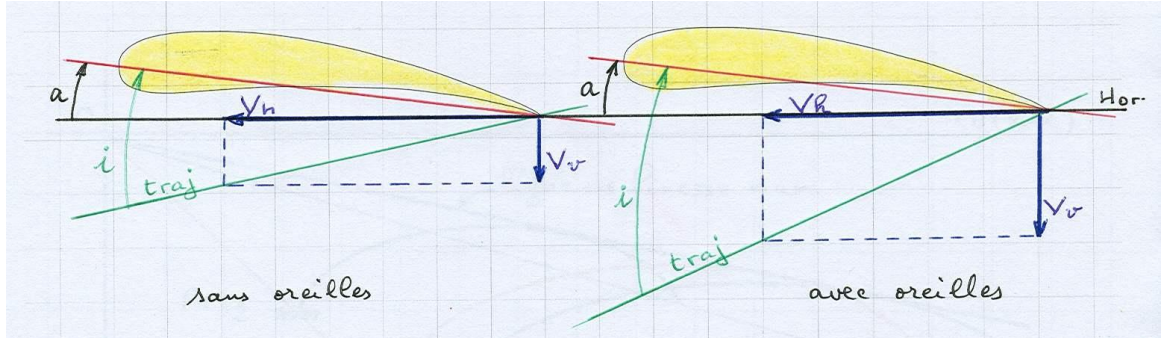
La fréquence des fermetures est plus faible, mais quand celles-ci se produisent, elles sont plus fortes. De plus, le pilote moins sollicité pour gérer ce risque pourrait plus facilement se laisser surprendre par ces fermetures fortes.

18- 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 V_h et V_v



Lorsqu'on se met aux oreilles, une grande partie de la surface portante diminue, en conséquence la Portance va être réduite et la Trainée, à cause des oreilles, augmente.

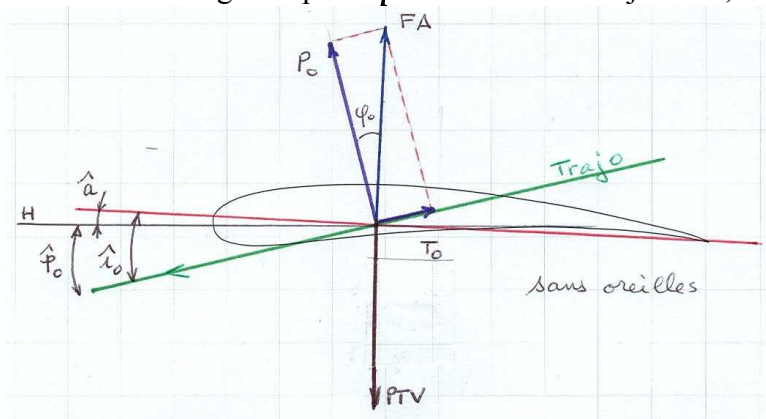
La vitesse horizontale va baisser et le taux de descente notablement augmenter, donnant une nouvelle trajectoire, plus plongeante : $\hat{i}$ augmente donc.

2°/ plus formelle :

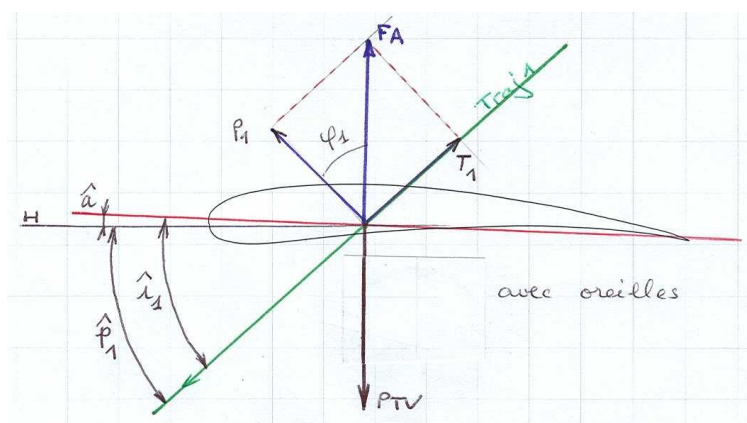
Toujours avoir en tête que le poids ne change pas quand on fait les oreilles.

Pour l'équilibre du vol, c'est-à-dire sans accélération :

- $PTV = FA_{\text{sans oreilles}} = FA_{\text{avec oreilles}} = \text{constante}$,
- $FA = P + T$,
- Le calage de l'aile ne change pas $\rightarrow$ assiette $\hat{a} = \text{constante}$,
- L'angle de plané p détermine la trajectoire, donc l'incidence $\hat{i}$.



angle de plané : $p_0 = \varphi_0$ (angles dont les côtés homologues sont perpendiculaires entre-eux)



.. angle de plané : $p_1 = \varphi_1$

A la mise aux oreilles, FA va avoir de nouvelles composantes :

La portance devient P_1 et la trainée devient T_1 .

Or la portance P_1 est moindre, pour maintenir la relation $FA = P_1 + T_1$ il faut que T_1 croisse.
conséquence : comme $\tan \varphi = \frac{T}{P} \rightarrow \tan \varphi_1 > \tan \varphi_0$ donc $\varphi_1 > \varphi_0 \rightarrow p_1 > p_0$

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

Notes personnelles :

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

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 : schéma,
c) Où rencontre-t-on des confluences ? | d) Brises de vallée,
e) Brise thermique et vent météo,
f) Brise de mer et vent météo. |
|---|---|

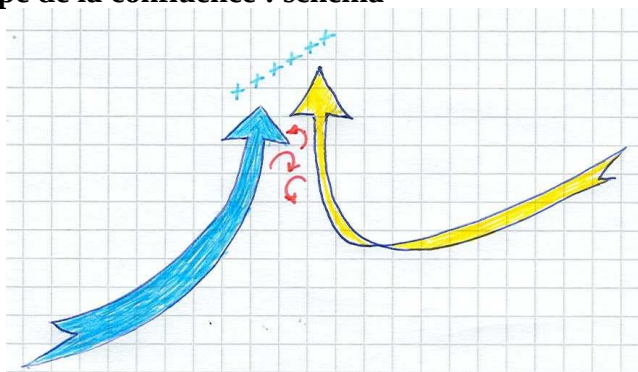
a- Définition de la confluence :

Une zone de confluence est l'espace où se rencontrent deux vents de direction globalement opposée : deux brises thermiques ou une brise thermique et un vent météo.

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

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

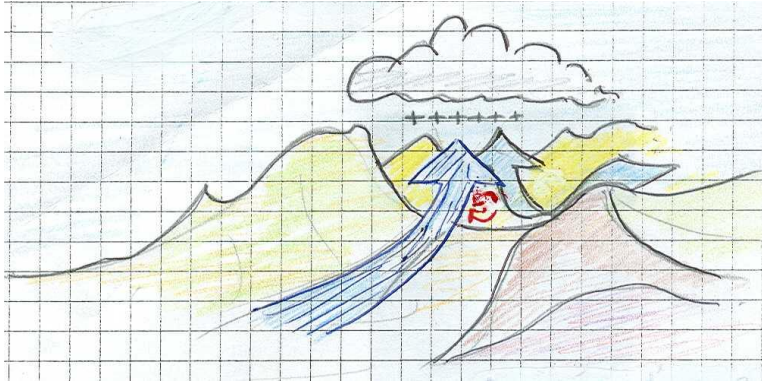
b- Principe de la confluence : schéma



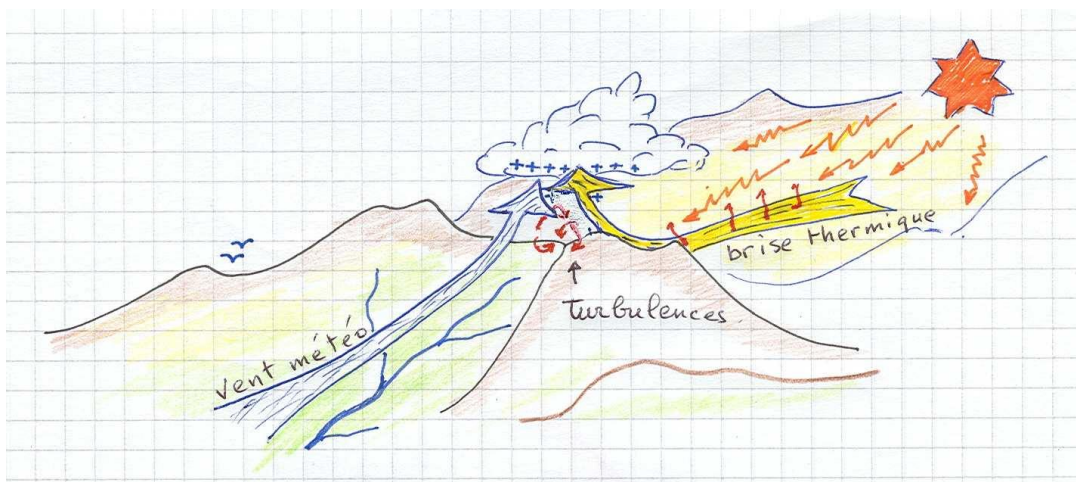
c- Où rencontre-t-on des confluences ? :

- 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.

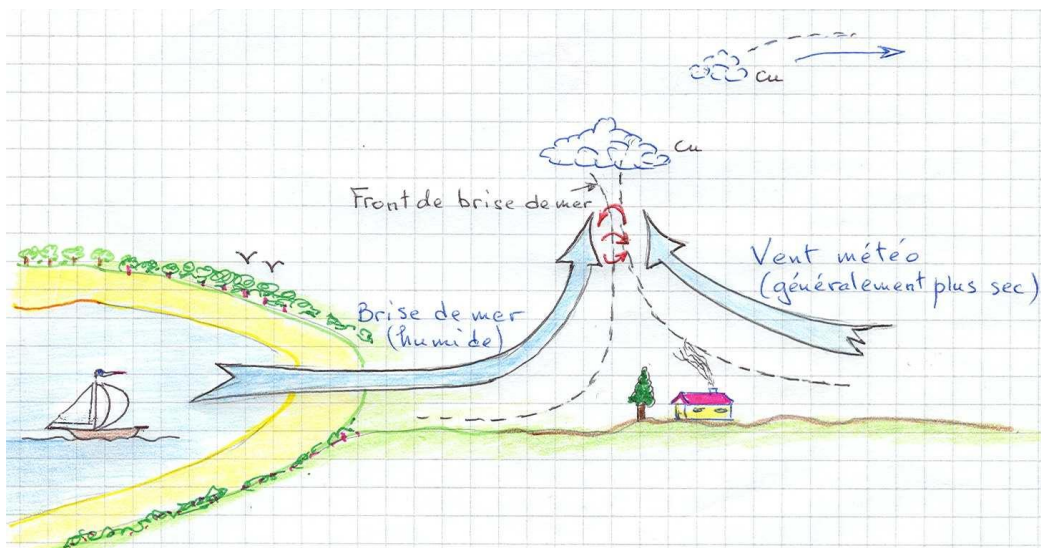
d- Brises de vallée : Entre 2 brises de vallée au-dessus d'un col ou d'une crête



e- Entre un vent météo et une brise thermique :



f- Entre une brise de mer et un vent météo :



La confluence peut exister jusqu'à plusieurs dizaines de kilomètres à l'intérieur des terres. Les deux masses d'air étant différentes, on obtient des plafonds de hauteurs différentes.

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 3000m et son sommet ne dépasse pas 5000m.

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

L'Altocumulus est formé par l'élévation et la condensation d'une masse d'air.

b- Evolution :

Les Altocumulus sont caractéristiques de l'arrivée d'un Front chaud et donc 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 :

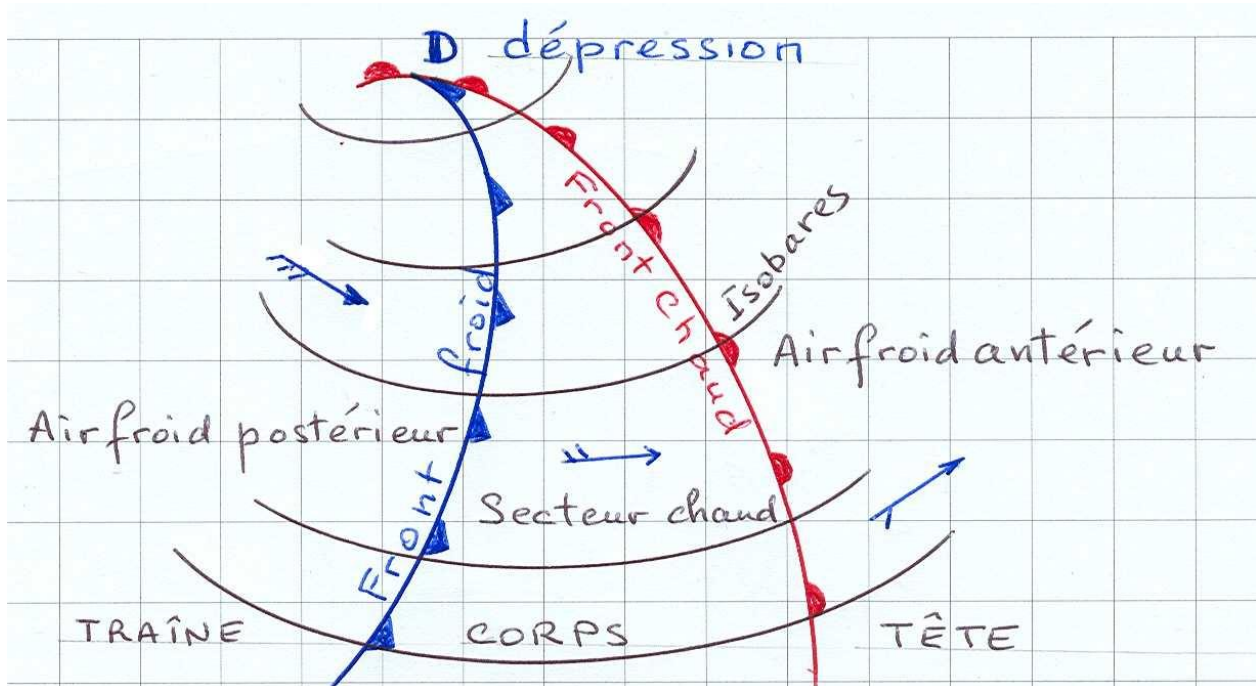
Le Castellanus, en forme de tour, est un signe de forte instabilité à l'étage moyen. Cela peut annoncer la formation de Cumulonimbus dans la journée.

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 :

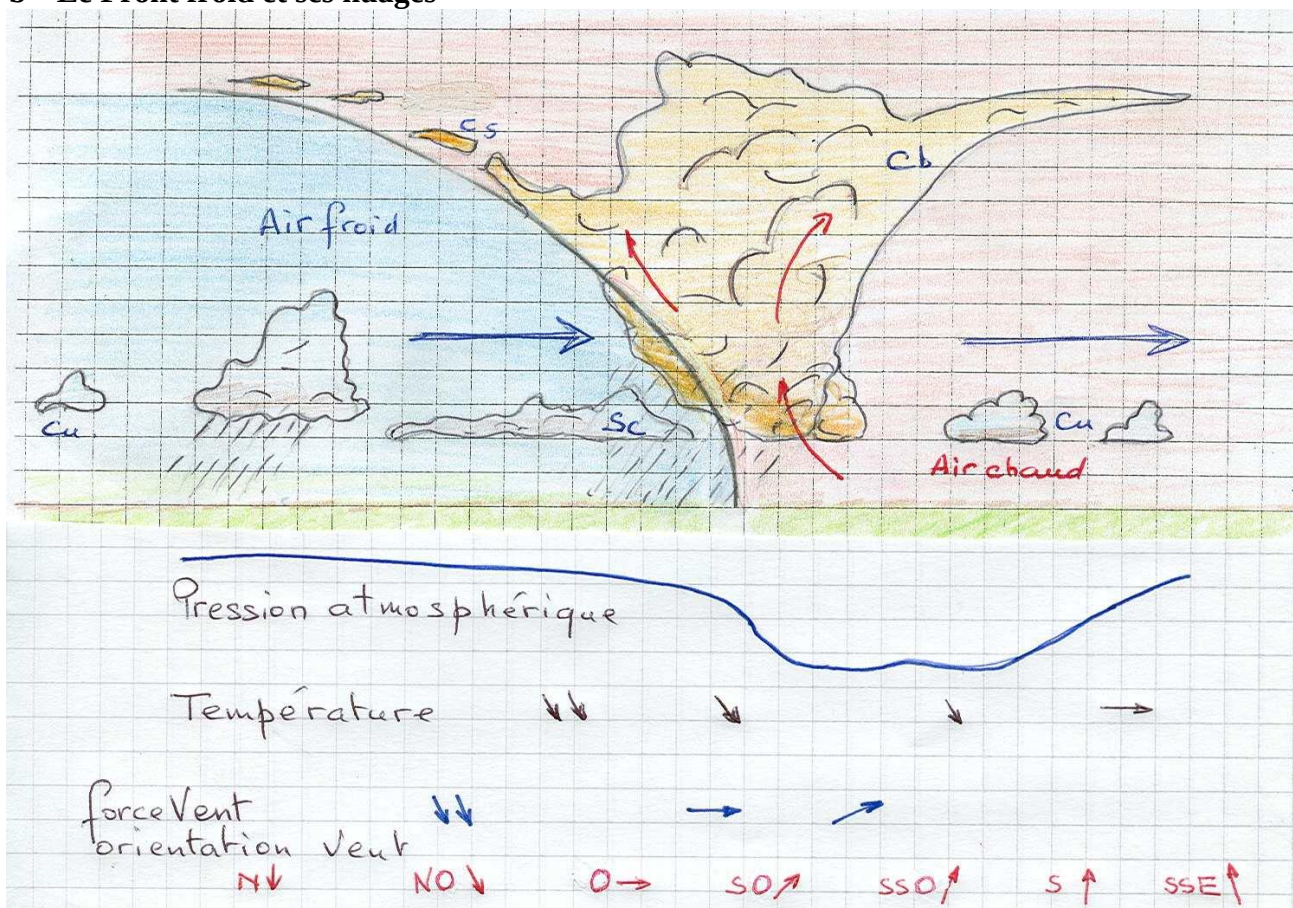
- a) Les Fronts,
- b) Le Front froid et ses nuages,
- c) Ciel de traîne.

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



- Le Front froid repousse en altitude l'air chaud, ce mécanisme génère des Congestus ou des Cumulonimbus, entraînant 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 forçit, 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 , décroît 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 le ciel se dégage. Si la masse d'air est très instable et humide, la traîne peut être dite chaotique et générer des averses.

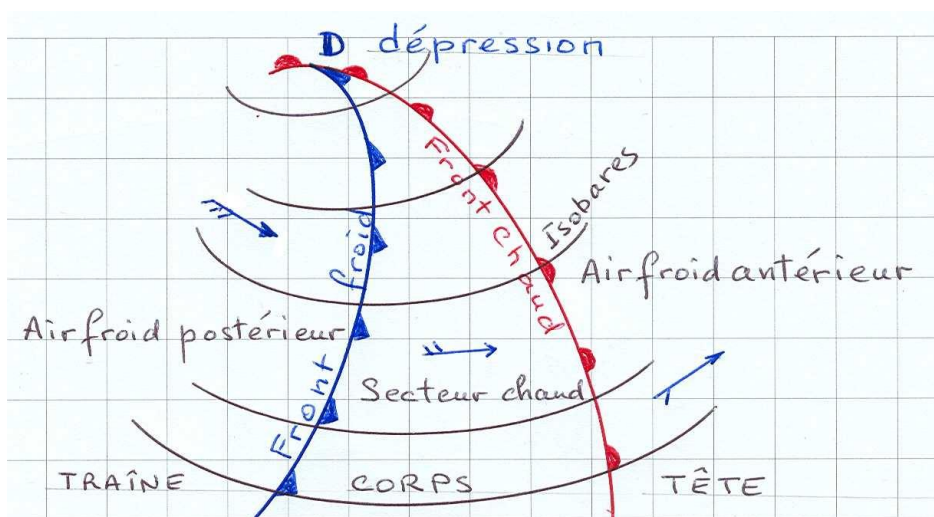
Pour le vol : le premier jour de traîne est souvent accompagné d'un vent du Nord-Ouest trop fort, les conditions sont difficilement volables. Le vent et l'instabilité deviennent ensuite exploitables pour le vol libre et donnent souvent les meilleures conditions pour le cross.

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

Sommaire des éléments de réponse :

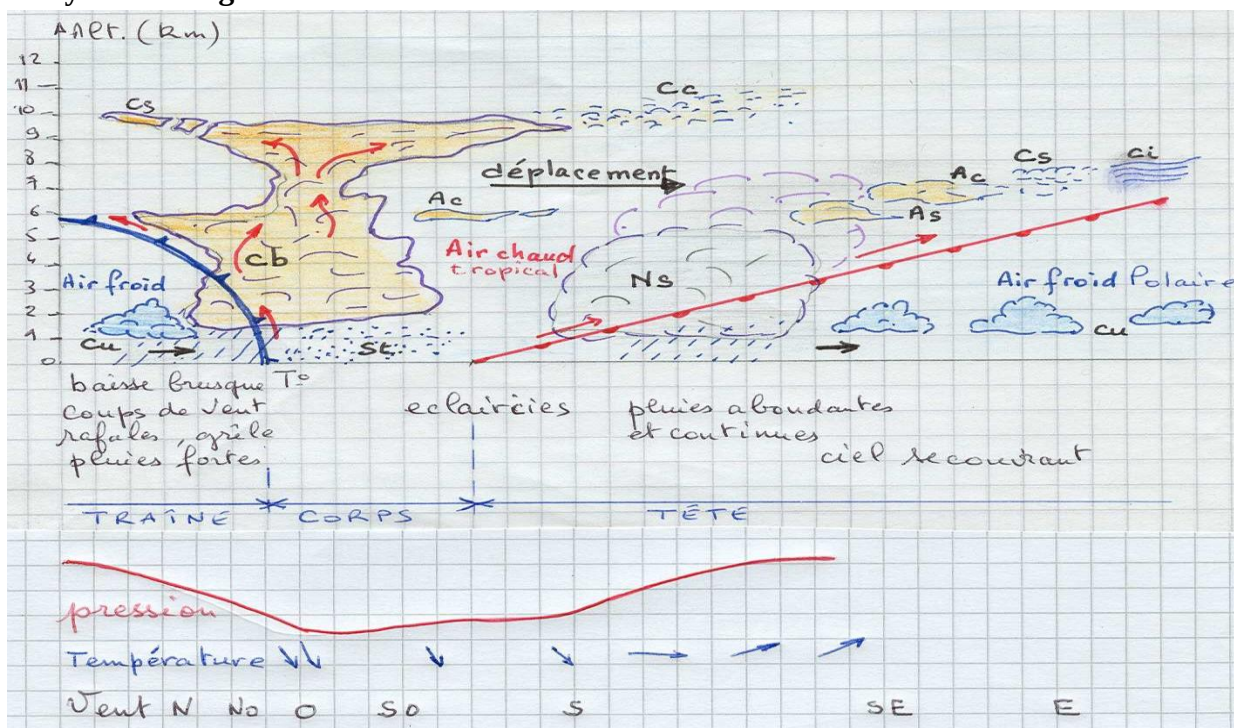
- a) Description d'une perturbation,
- b) Le système nuageux,
- c) Le Front chaud,
- d) Le Front froid,
- e) La traîne, derrière le Front Froid.

a- 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.

b- 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.

c- 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 pour 1000). 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 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.

d- 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 NE.
- 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.

Remarque : 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 ! »

e- La traîne derrière le Front froid :

Vient ensuite la traîne (coté air postérieur froid), les Cumulonimbus sont passés avec le Front, alors apparaissent des cumulus. La traîne peut être accompagnée dans les premiers jours, d'un vent fort NW 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 :

L'air est instable lorsque son gradient reste inférieur à celui d'une particule d'air qui s'élève. Si cette particule contient assez de vapeur d'eau, il pourra y avoir condensation, ce sera la naissance du nuage ou son développement.

b- Nuages associés à l'air instable :

Les nuages associés à un air instable sont les nuages à développement verticaux 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, 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 :

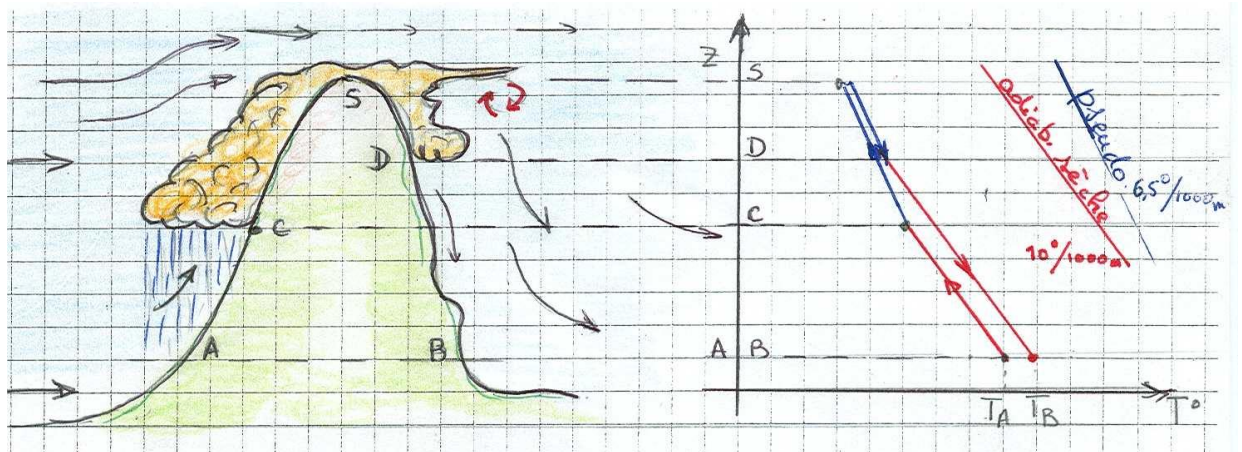
- a) Le Foehn,
- b) L'effet de Foehn,
- c) Le petit effet de Foehn,
- d) Système ondulatoire accompagnant le Foehn,
- e) La couche inférieure sous-ondulatoire.

a- Le Foehn : Le Foehn est un phénomène météorologique qui se produit sous le vent d'une crête ou d'une chaîne 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. De l'autre côté de l'obstacle l'air redescend en se réchauffant par compression adiabatique. Il se réchauffe d'autant plus qu'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 $1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$) puis arrive la condensation et la formation d'un nuage. L'air continue sa montée et sa détente selon une pseudo-adiabatique (perte de $0,65^{\circ}\text{C}/100\text{m}$).

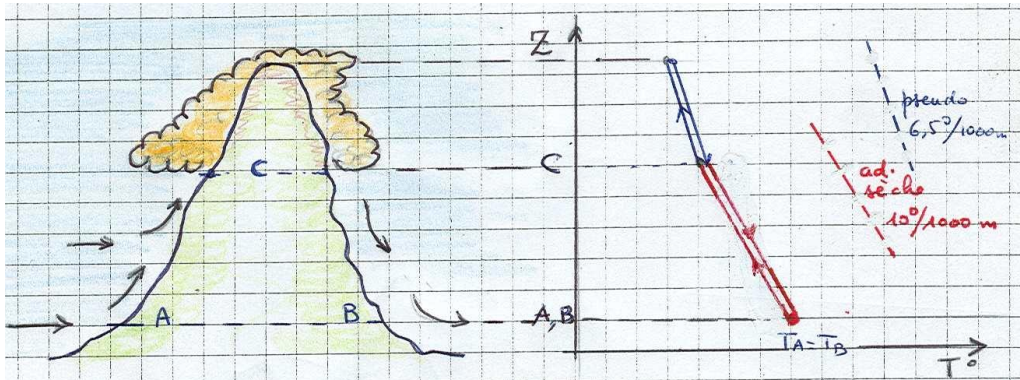
L'air se sature et condense, formant un nuage orographique, et continue sa montée mais perd au fur et à mesure de son humidité sous forme de précipitation.

Au sommet, la masse d'air venant du bas s'est appauvrie en humidité et a une température qui aura décreu selon, d'abord l'adiabatique sèche ($1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$), puis moins rapidement selon la pseudo adiabatique saturée ($0,65^{\circ}\text{C}/100\text{m}$) ; l'air va redescendre 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, avec formation de ce côté d'un nuage. Cette masse d'air s'étant appauvrie d'eau, et la température ré-augmentant, la condensation cessera à une altitude plus élevée que coté au-vent. S'ensuit la compression adiabatique sèche ($1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$).

Pour un même dénivelé nous aurons dans la vallée, coté sous le vent une température plus élevée.

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 ($1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$), atteint son point de condensation à l'altitude C, forme un nuage et poursuit sa montée en se refroidissant selon l'adiabatique humide ($0,65^{\circ}\text{C}/100\text{m}$), mais ... ne provoque pas de pluie.



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

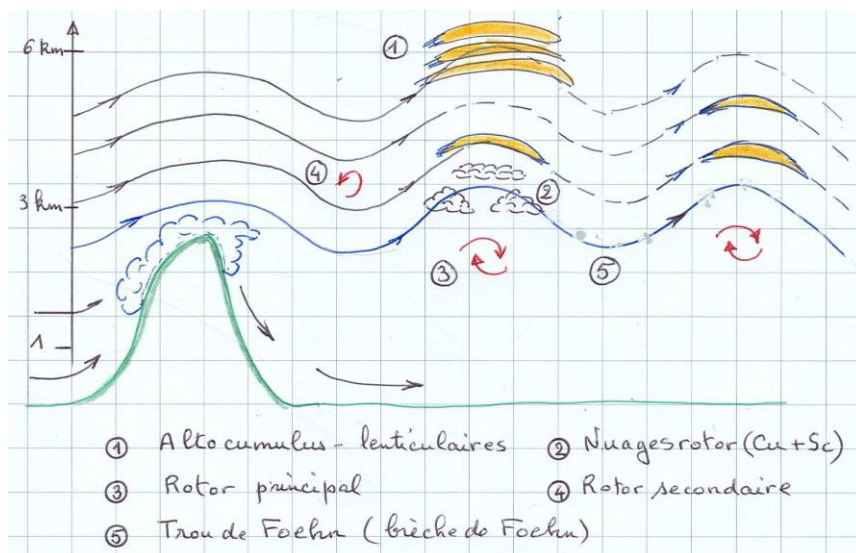
C'est la fin de la condensation, on passe à l'état de vaporisation, le nuage se dissipe, l'air poursuit sa descente avec une élévation de température, selon l'adiabatique sèche ($1^{\circ}\text{C} / 100\text{m}$).

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

Conséquence pour le vol libre

- La masse sous le vent 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.



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, assez stables, fournissant de fortes ascendances dans leur partie montante, parfois coiffés de nuages orographiques à l'aspect déchiqueté (nuages de rotors)

Le Föhn 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. |
|---|---|

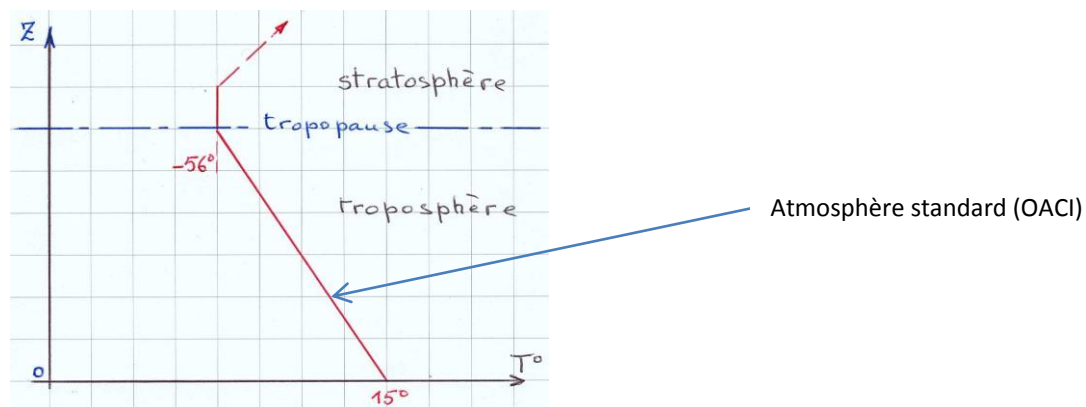
a- La troposphère, ses limites :

La troposphère est la première couche de l'atmosphère et s'étend de la mer niveau 0 à une hauteur moyenne de 12000m, 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 croître, constituant ainsi un couvercle à tout développement nuageux de la troposphère.

b- Les limites standards de température :**Classes de nuages des étages de la troposphère :**

Étage	altitude	Préfixe	Stables : Stratiformes		Instables : Cumuliformes	
Supérieur	6000	Cirro	Cirrus	Nimbostratus	Cirro-cumulus	Cumulonimbus
			Cirro-stratus			
Moyen	3000m	Alto	Alto-stratus		Alto-cumulus*	
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.

c- Familles de nuages :

Les nuages cumuliformes se développant dans des masses d'air instable, plats sur la base et cotonneux ou chou-fleur sur la partie supérieure.

Les nuages stratiformes se développant dans les masses d'air stables, par refroidissement de l'air, sont compacts et étendus. Les stratiformes, nuages d'advection, proviennent généralement plutôt de l'arrivée d'une masse d'air plus humide glissant sur une masse d'air plus froide.

d- Les nuages par étages :

Les nuages de l'étage supérieur (de 6000m à 12000m, 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 3000m à 6000m, nuages mixtes)

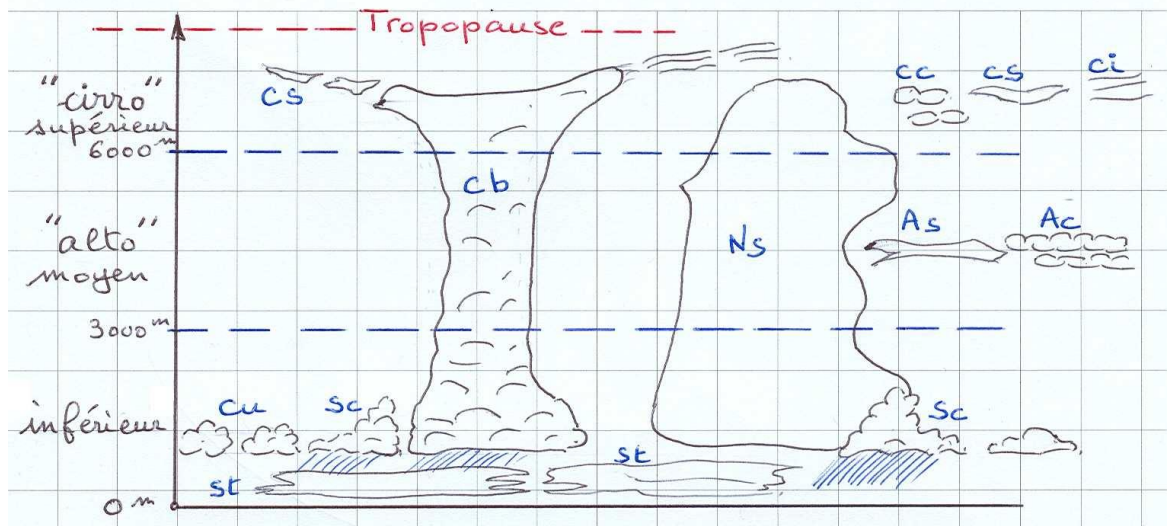
- Alto-cumulus (Ac) : souvent appelé mouton, de couleur plus ou moins grise aux contours nets, ne donne pas de pluie.
- Alto-stratus (As) : couche grise homogène assez épaisse qui peut donner quelques gouttes.
- Alto-castellanus : cumuliiforme avec des excroissances verticales en forme de tour.
- Nimbostratus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

Les nuages de l'étage inférieur (de 0 à 3000m, 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.

e- Les nuages particuliers Cb Ns, Lenticulaires :

- Le Cumulonimbus (Cb) : très développé verticalement sur les 3 étages, nuage d'orage violent redouté des parapentistes.
- 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).



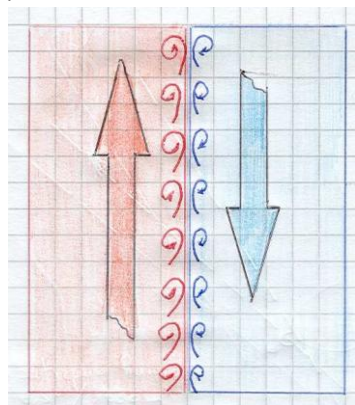
8- Citez et décrivez les différentes situations où l'on peut rencontrer des cisaillements.

Sommaire des éléments de réponse :

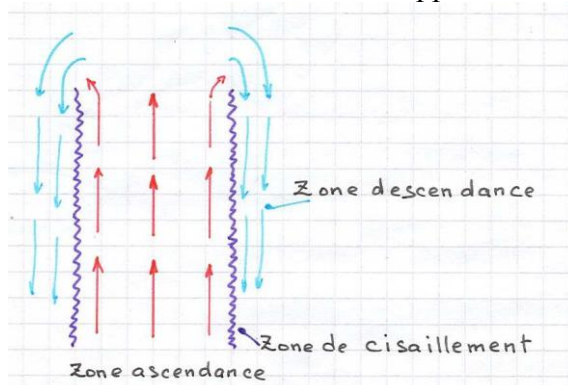
- a) Le cisaillement : principe,
- b) Le cisaillement Vertical,
- c) Le cisaillement Horizontal,
- d) Cisaillement à la couche d'Inversion,
- e) Les Convergences.

a- Le cisaillement : Le cisaillement est une forme abrupte de turbulence faisant côtoyer deux masses d'air de vitesses élevées et de direction radicalement différentes :

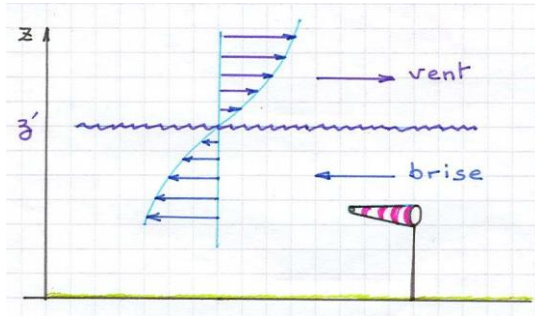
Principe :



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



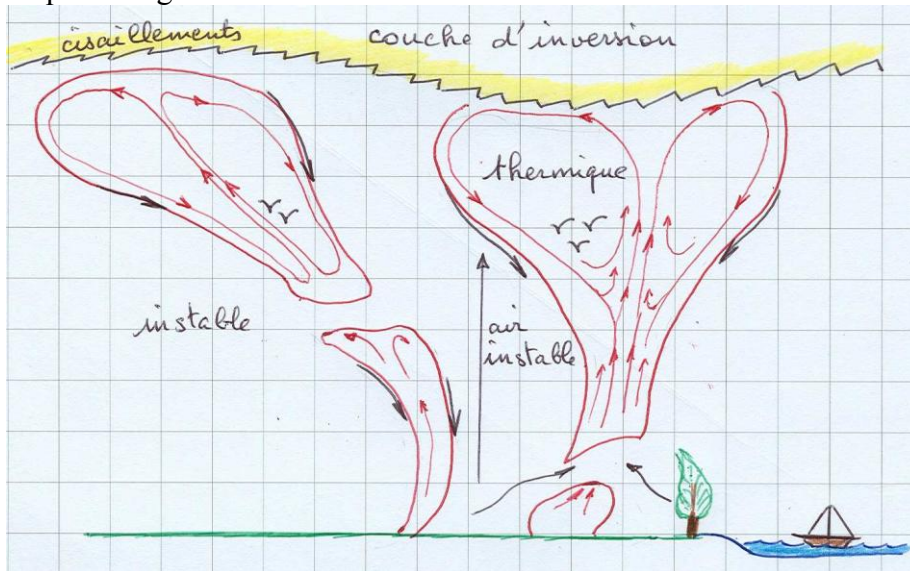
c- Le cisaillement Horizontal : croisement brise et vent d'altitude ou entre deux couches d'altitude se déplaçant dans des directions différentes.



La force du cisaillement dépendra du gradient au croisement, dans ce schéma, le cisaillement est sur l'altitude z'

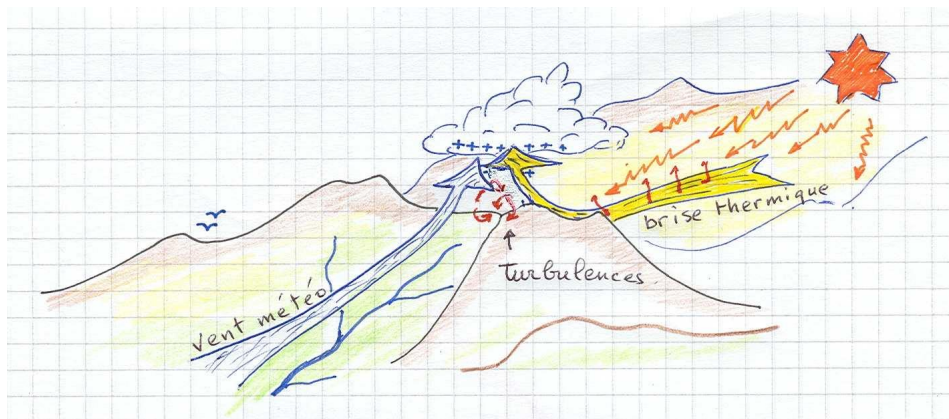
d- Cisaillement à la couche d'inversion :

Le thermique se cogne à l'encontre de la couche d'inversion → cisaillement



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

- Entre 2 brises de vallée ou vent 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) Brise de mer (ou lac) et de terre,
- b) La brise de mer, le jour,
- c) La brise de terre, la nuit,

- d) Brises de pentes,
- e) Brises de vallée,
- f) Brises de vallée en cirque.

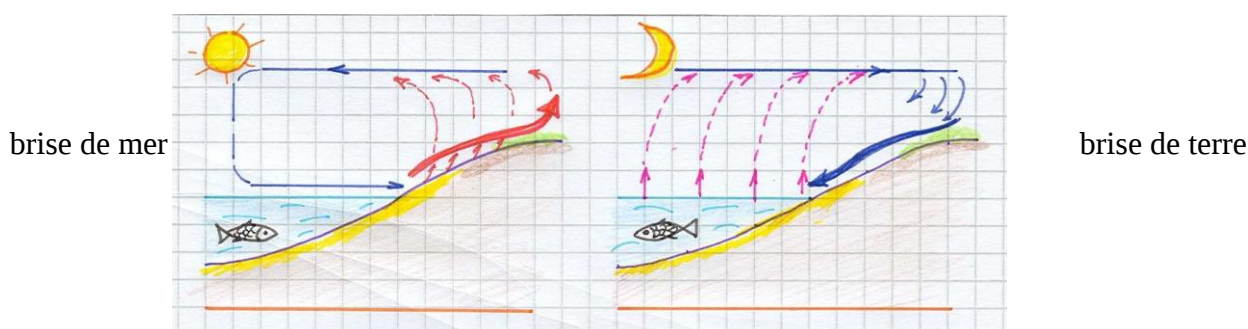
a- Brise de mer (ou lac) et de terre :

La mer a une grande inertie thermique.

L'été, le jour c'est le continent qui chauffera plus vite, la nuit, c'est le continent qui refroidira plus vite.

b- La brise de mer, le jour :

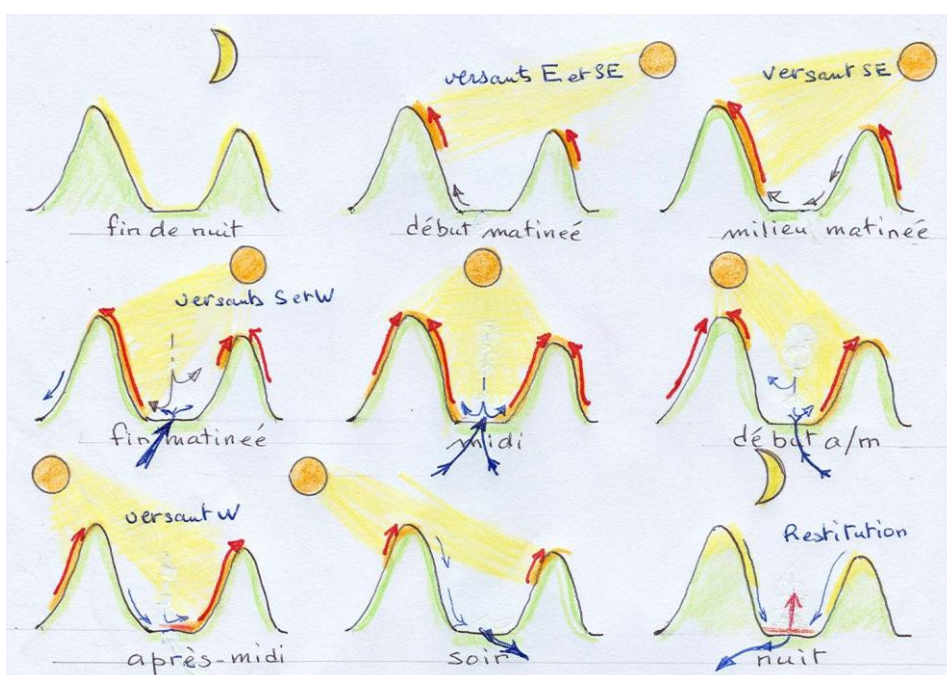
Nous avons deux surfaces qualitativement différentes : sous le soleil, le continent + chaud appelle, par dépression thermique, de l'air frais et humide de la mer : c'est la brise de mer.



c- La brise de terre, la nuit :

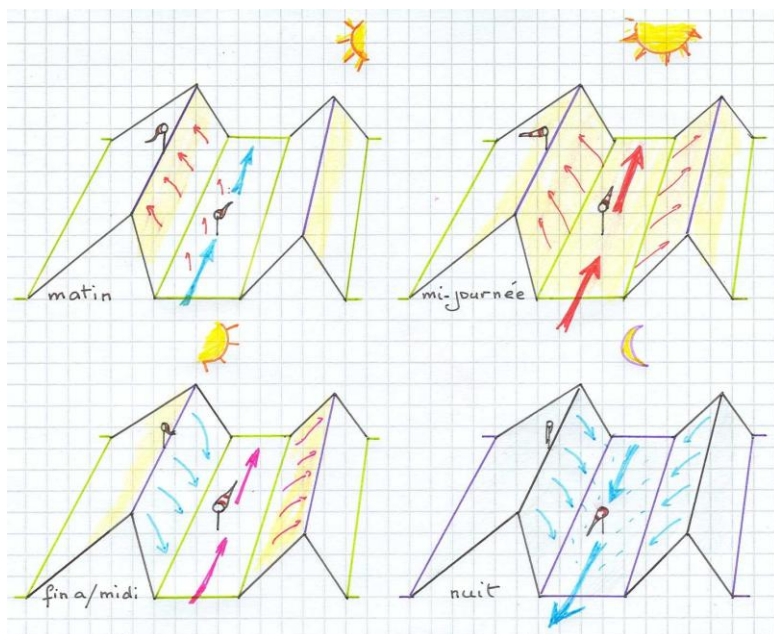
La nuit le sol se refroidit plus vite que la mer, l'air en contact se refroidit et coule vers la mer où l'air est plus chaud, donc moins dense : c'est la brise de terre.

d- Brises de pentes :



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. 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 30kmh sur une épaisseur de 100 à 200m.

e- Brises de vallée :



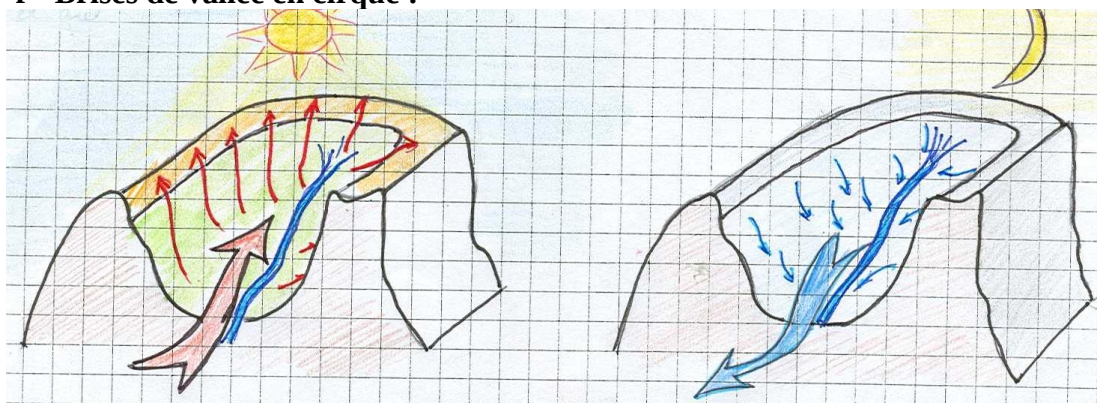
Le phénomène de brise de vallée est lié à l'accumulation de tous les phénomènes des brises de pentes à l'échelle du massif. La brise de vallée est montante le jour et descendante la nuit.

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 leur 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. Sa puissance peut rendre, parfois, le vol impossible.

f- Brises 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 :

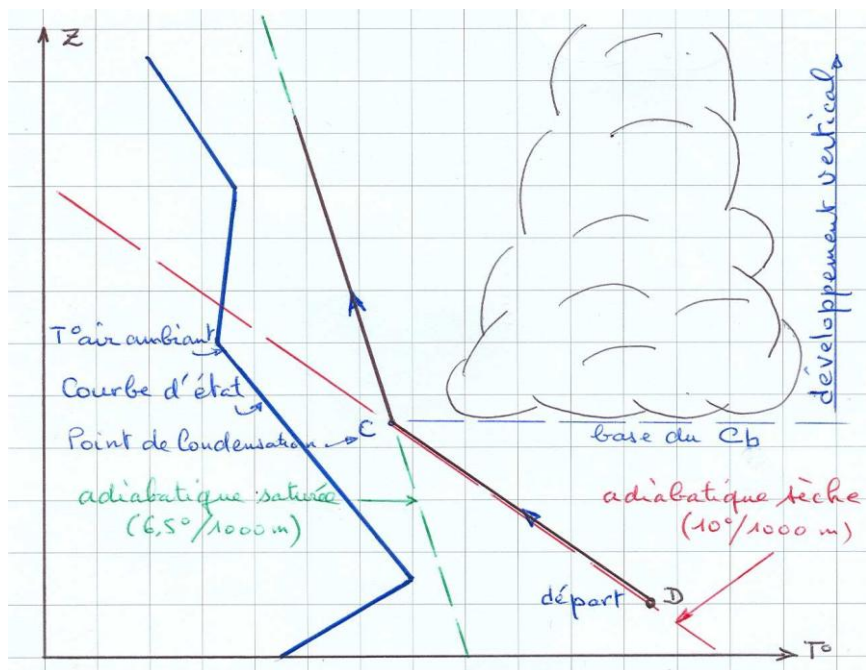
- | | |
|--------------------------|---------------------------------------|
| a) Instabilité de l'air, | d) Base de formation du nuage, |
| b) Le Cumulonimbus, | e) Développement vertical, |
| c) Tracé de l'épigramme, | f) Evolutions aérologiques associées. |

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 particule d'air est dans un air ambiant instable quand sa température reste supérieure à celle de l'air ambiant. La particule va monter tant que sa température sera supérieure à l'air ambiant. La tropopause en sera alors la limite absolue.

b- Le Cumulonimbus : peu 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'épigramme :



Sur l'épigramme, 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, cet air est instable. La particule monte et subit une détente adiabatique sèche, elle se refroidit à raison de 1°C/100m.

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 $0,65^\circ/100\text{m}$ mais reste toujours plus chaude que l'air ambiant.

e- Développement vertical :

S'il n'y a pas de couche d'inversion, la courbe d'état indique toujours une température ambiante, inférieure, dans la progression... rien n'arrête la particule qui va monter très très haut. Cette montée cessera quand la particule aura la même température que l'air ambiant (courbe d'état), sinon la particule pourra grimper jusque vers la tropopause.

Le processus de développement restera le même si nous devons raisonner à partir d'un Congestus déjà existant et qui retrouve de la ressource pour reprendre du développement et dégénérer en Cumulonimbus.

Comme le Congestus, le Cumulonimbus 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 kms du nuage.

Dès que la présence et la proximité ($< 20\text{km}$) du Cumulonimbus est connue, on s'abstient de décoller ou, si on est en vol, il faut immédiatement se poser.

11- 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 :

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 le 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 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 Q11 : Définition de l'Advection et du Rayonnement. (chapitre Suppléments)

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

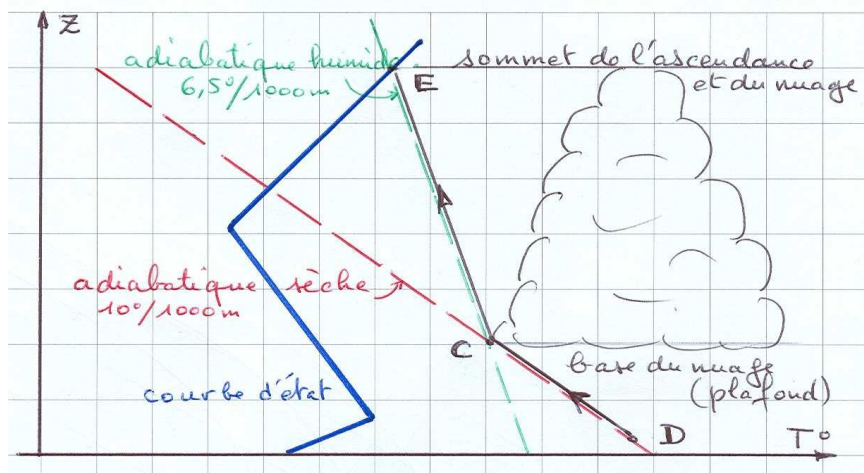
Sommaire des éléments de réponse :

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

a- Le cumulus humilis : est par excellence un nuage de beau temps qui se forme dans la première couche, 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 barbole. La nuelle va constituer la base du cumulus qui va prendre de l'ampleur si l'instabilité en altitude se confirme.

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 détend suivant l'adiabatique sèche, sa température baisse de $1^\circ\text{C}/100\text{m}$.

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 (1200m).

f- Le développement du nuage :

La particule se trouve toujours dans un air instable et continue sa montée, donc sa détente, mais elle le fait maintenant selon l'adiabatique saturée (pseudo adiabatique) où sa chute de température est ramenée à environ $0,65^\circ/100\text{m}$.

Le Cumulus s'autoalimente pour prendre de l'ampleur.

g- Le sommet du nuage :

Dans le relevé météo du moment, 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 (2000m).

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 1000m.

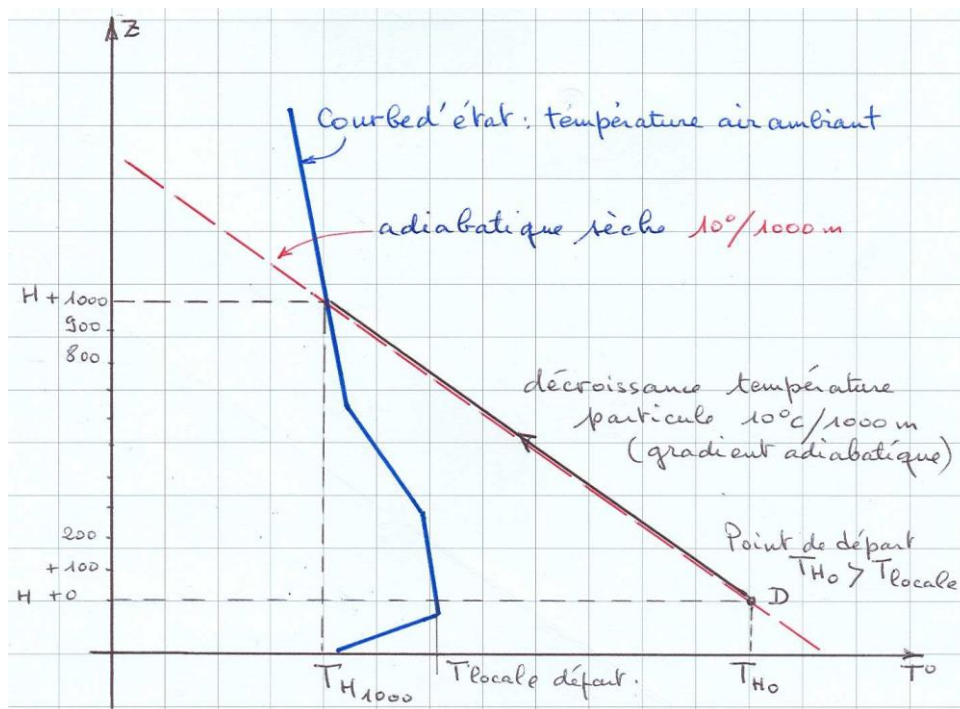
Sommaire des éléments de réponse :

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

a- Tracé d'un éagramme :

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

En abscisse : la température en °C, en ordonnée : l'élévation de la particule.



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

L'air est instable : la température à un niveau donné est inférieure à la température de la particule présente. 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 $H+0$.

Sa température est $T_{H0} >$ Température de l'air ambiant. Cette particule va monter, et subir par détente adiabatique, un refroidissement, de $1^\circ\text{C} / 100\text{m}$.

Au dénivelé de 1000m la température ambiante reste toujours inférieure à celle de la particule, 1000m plus haut $T_{H1000} = T_{H0} - 10^\circ\text{C}$,

Sur un éagramme, la courbe d'état, fournie par les services Météo, tracera la température de l'air ambiant en fonction de l'altitude.

Notes personnelles :

1- 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) Justificatifs d'une descente rapide, | d) Les oreilles accélérées, |
| b) Descente aux B, | e) Les 360 engagés. |
| c) Les oreilles, | |

a- Situation 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

b- Descente aux B :

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.

c- 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 les 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**).

d- 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 inversement pour la fin de la manœuvre.

Avec cette technique, on peut aller jusqu'à **-6 m/s**.

e- Les 360 engagés :

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 sur 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 coté 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, tel qu'on a pu le voir à l'arrière de certains chasseurs à réaction, lors de l'atterrissage et au toucher du sol, pour un freinage 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.

2- Vous subissez une fermeture latérale de 50% de l'aile à 300m 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 :

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

b- Gestion de la fermeture :

- Je contre à la sellette coté ouvert, et si nécessaire descends le frein coté ouvert jusqu'à 70% de son amplitude max,
- J'essaie de rouvrir le côté fermé par de amples mouvements de la commande.

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 coté fermé pourra être nécessaire pour amorcer et/ou accélérer la réouverture.

En cas de cravate :

Même petite, elle est gênante.

- je repère et prends la suspente du Stabilo coté cravate, et la tire vers moi, si nécessaire en 2 ou 3 temps, sinon je prends une suspente voisine, plus molle...
- si j'ai une réserve d'altitude suffisante et que je maîtrise la manœuvre avec l'aile utilisée, j'induis une phase de vol en marche arrière par un décrochage, pour créer un vent relatif venant de l'arrière, afin de provoquer la sortie éventuelle de la cravate.
- 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.

d- Sauvegarde :

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

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

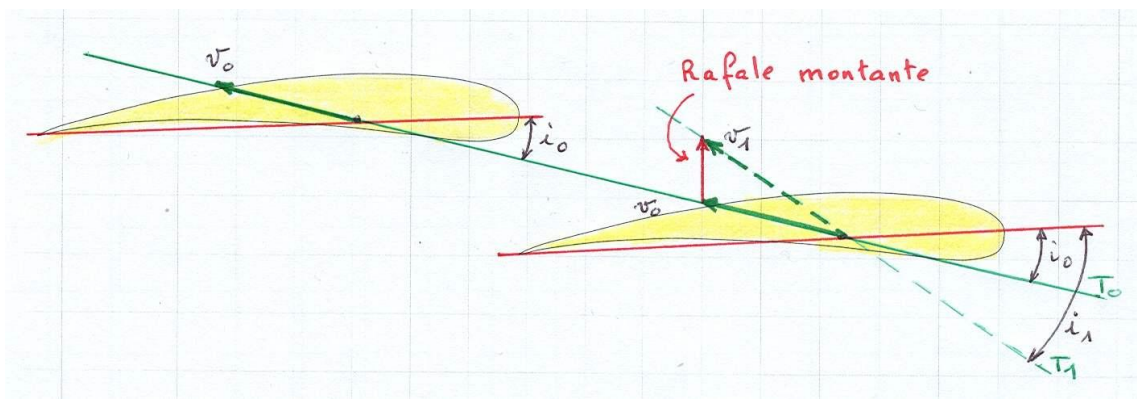
Sommaire des éléments de réponse :

- 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 : v_0 incidence : $\hat{i}_0$ trajectoire : T_0 .



Phénomène transitoire : nouvelle vitesse $v_1 > v_0$

la trajectoire devient T_1

l'incidence devient $\hat{i}_1 > \hat{i}_0$

conséquences : la FA $\nearrow$, l'aile cabre (l'assiette augmente)

- augmentation de l'angle d'incidence,
- augmentation de la vitesse air,
- augmentation de la FA,
- 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 : Etre vigilant sur le pilotage en thermique :

- ne pas voler trop lentement,
- ne pas trop serrer le virage.

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

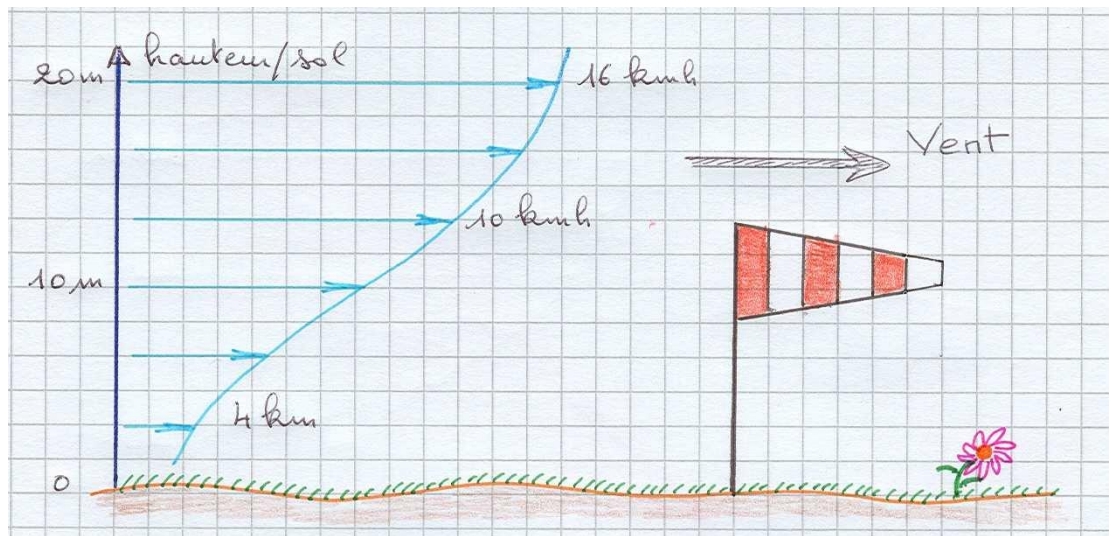
Bonus Q3 : Cas d'un petit thermique. (chapitre Suppléments)

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) Croquis du gradient,
- b) Approche,
- c) Finale et prise de vitesse,
- d) Arrondi et atterrissage,
- e) Ce qu'il faut éviter.

a- Le gradient du vent, à l'atterrissage :



b- Approche :

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 la commence plus haut que d'habitude.

Je sors de ma sellette plus tôt que d'habitude, 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 maintiens cette position pour acquérir un maximum de vitesse, qui m'affranchira des effets du gradient. L'aile va plonger quand elle va entrer dans le gradient, je laisse l'aile prendre de la vitesse.

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 que je dois éviter :

Virage près du sol : un virage demande de la vitesse, or dans le gradient souvent, il y a perte de vitesse → décrochage en sous-vitesse près du sol.

Atterrissage aux oreilles : plan de descente rapide avec accélération près du sol.

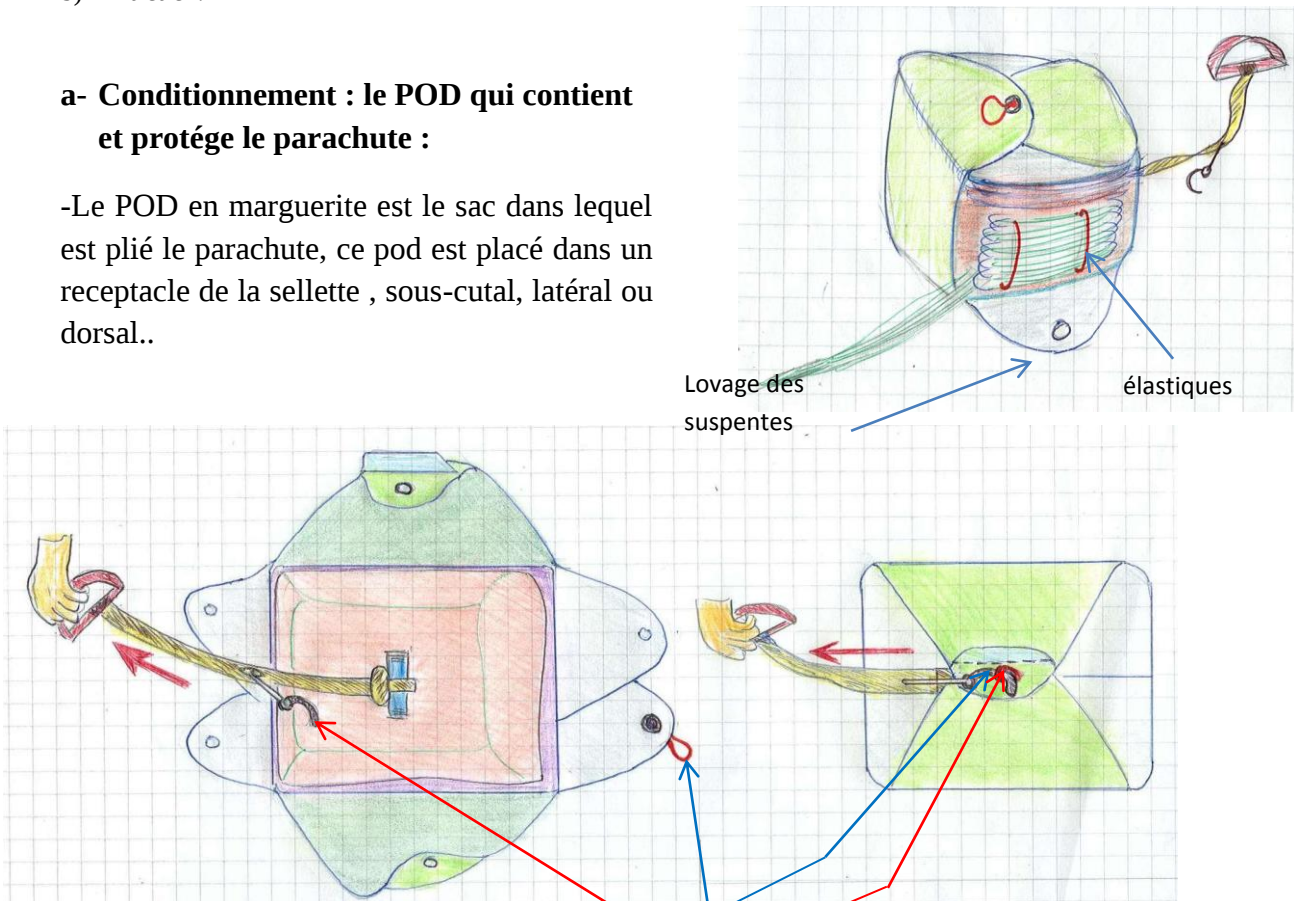
5- A l'aide d'un schéma simple, décrivez les éléments et le conditionnement d'un parachute de secours. Quelles précautions prenez-vous lors du pliage et du conditionnement afin qu'il fonctionne correctement ?

Sommaire des éléments de réponse :

- a) Conditionnement,
- b) Entretien.

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

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



La **boucle élastique** permettant, grâce à la **goupille**, la fermeture des volets de la marguerite du POD.

La **goupille** solidaire de la poignée d'extraction,

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 soit tiré par la poignée.

b- Entretien : Aérer le parachute périodiquement

Pour que le parachute soit toujours opérationnel et pour qu'il s'ouvre à la bonne vitesse, au moins 2 fois par an il faut l'ouvrir : pour l'aérer, le décompacter et remplacer au passage les élastiques qui maintiennent les suspentes lovées. Le conditionnement doit être éprouvé sous portique 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 conforme 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. (chapitre Suppléments)

6- Vous êtes plusieurs à la même altitude en approche. Décrivez à l'aide d'un schéma la ou les solution(s) que vous adopterez.

Sommaire des éléments de réponse :

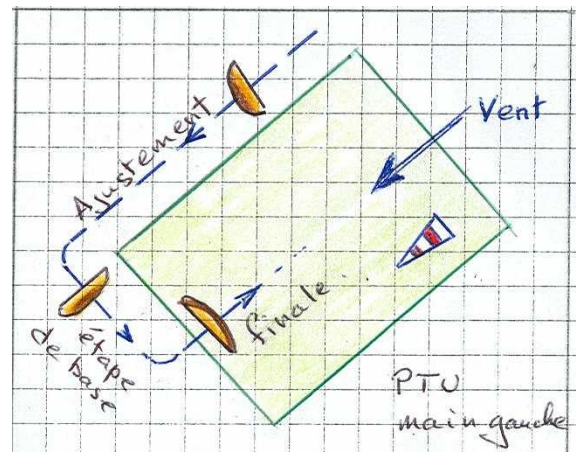
- La meilleure prise de terrain : la PTU,
- Alterner l'atterrissage court et long,
- Couper le terrain en deux.

Plusieurs solutions :

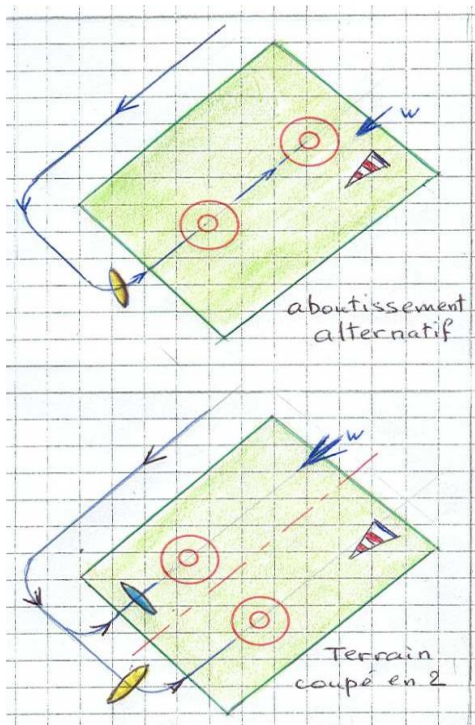
a- La meilleure prise de terrain :

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 / Fellingring pour déco 'le Treh',
- Samoens...



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



b- Alternier l'atterrissage court et long :

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

a- Le trim :

Le trim est une commande manuelle qui permet de régler, sur le parapente, une compensation par action sur le calage de l'aile. 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.

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 :

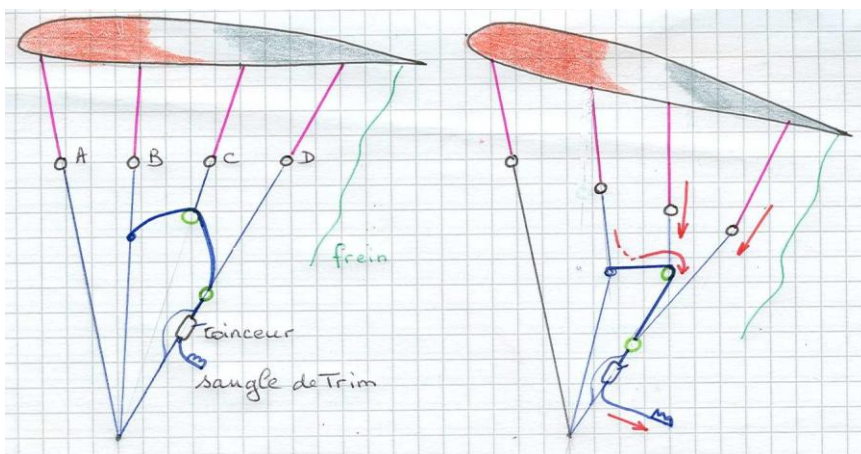
- On utilisera les trims à cabré dans les zones thermiques,
- On utilisera les trims à piqué lors des longues transitions.

Cependant, on utilisera l'accélérateur 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 (ou Afficheur):

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 ou encore son comportement en turbulence et en cas de fermeture.

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 vent de face trop fort), on dit que la voile est "détrimée".

Si la finesse-air est dégradée, la finesse-sol face au vent est améliorée.

Il y a une différence importante entre "détrimer" et "accélérer" avec l'accélérateur à pied :

- on peut relâcher l'accélérateur instantanément en cas de nécessité,
- la manipulation d'un trim n'est pas instantanée : elle revient à modifier le calage de la voile pendant un temps significatif (on ne joue pas sur les trims à tout instant) *du coup le nouveau calage peut être conservé durant tout ou partie d'un vol (décollage et/ou atterrissage en biplace).*

Lorsque le pilote décide de trimmer ou de détrimmer 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*).

Au décollage ou à l'atterrissage, le trim peut être réglé pour mieux maîtriser la montée de l'aile en fonction du vent présent.

Trimée ($\hat{i}^{\nearrow}$), l'aile est moins vive au gonflage,

détrimée ($\hat{i}^{\searrow}$), l'aile est plus vive (*intérêt pour les biplaces ou une aile qui monte difficilement*).

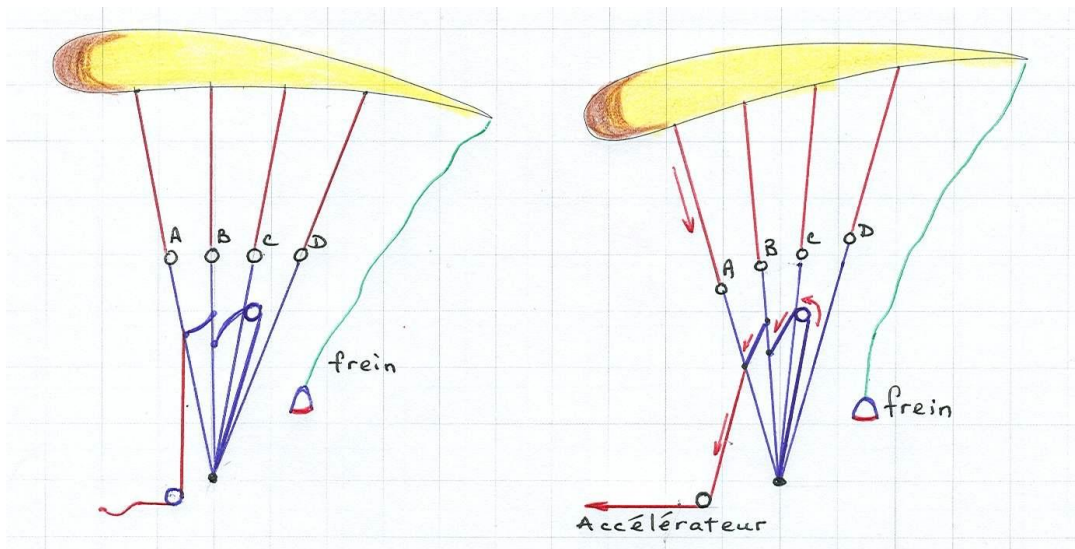
En vol : On trimme (incidence plus grande), pour s'adapter dans un vol en thermique, (attention au décrochage asymétrique)

On détrimme : réduire l'incidence pour accélérer (allongeant les arrières)

Le réglage en vol du trim oblige le pilote à lâcher les commandes car le dispositif de réglage est placé haut sur l'élévateur D. Près du sol, ou en turbulences, cela n'est pas recommandé.

d- L'accélérateur :

Agissant comme les trims, l'accélérateur est une commande au pied, dont le but est de donner à l'aile un calage plus fermé ($\hat{i} \searrow$) et accroître la vitesse de l'aile (ordre de 10 à 15km/h).



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

Le calage se fait par les A, B et C, en rendant l'aile *plus piqueuse*. Cette modification permet au parapente de gagner de la vitesse, mais elle rend l'aile plus sensible aux turbulences. Généralement l'usage de l'accélérateur dégrade la finesse air.

e- Utilisation de l'accélérateur :

Cependant l'usage de l'accélérateur améliore la finesse-sol, par exemple lorsque le pilote se retrouve dans la situation où il est contré par un fort vent de face.

Le dispositif s'articule :

- Crochet d'accroche à la ficelle du barreau,
- Ficelle principale,
- Poulies de renvoi,
- Sangles de redistribution de la traction,
- Boucle de renvoi.

Non accéléré, les boucles de suspentage doivent être relâchées (pas de tension).

On notera que le réglage du trim est durable, et que sa neutralisation prend du temps, alors que l'accélérateur suit simplement la pression des pieds.

8- 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 :

- | | |
|--|---|
| <p>a) Choix du gonflage face voile,</p> <p>b) Prévols,</p> <p>c) Description de la technique appliquée face voile,</p> <p>d) Risques face voile,</p> | <p>e) Choix du gonflage dos voile,</p> <p>f) Prévols,</p> <p>g) Description de la technique appliquée dos voile,</p> <p>h) Risques dos voile.</p> |
|--|---|

Le candidat choisira entre face voile et dos voile, ce doit être un choix contextuel, de circonstance, fait dans la sérénité.

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- Prévols :

La prévols est d'autant plus nécessaire que le vent est fort,

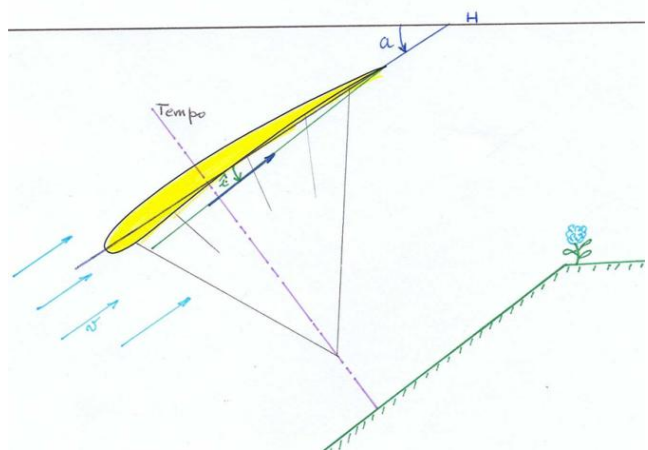
Eviter tout verrouillage en délestant l'ensemble aile/pilote, technique qui consiste à remonter la pente tout en gonflant l'aile pour éviter le verrouillage et cascades de problèmes associés), ou bien adopter une technique (cobra, position en chou-fleur au sol,...) permettant quoi qu'il arrive d'induire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

c- Description de la technique appliquée face 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 qui est face au relief, 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 encore devant (risque d'effet spi),
- la temporisation sera ample et rapide, mais pas indispensable si la voile est proprement déployée.

Ne pas freiner la voile trop tôt.

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 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 une forte portance et un décollage immédiat mais 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, donc sans efficacité et avec fort échauffement des drisses de freins sur les suspentes et élévateurs.

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.

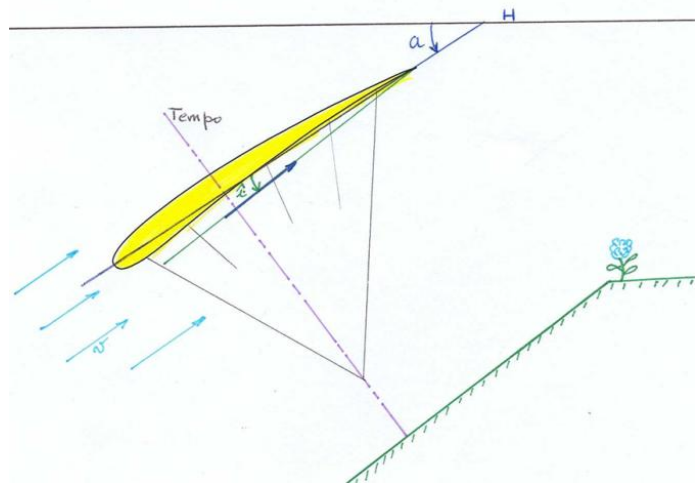
f- prévol

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.

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 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'.



Ne pas freiner la voile trop tôt.

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.

**9- 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.

Je fais la Prévol de mon équipement, le pré gonflage 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 sans traîner car la voile pourrait s'affaler par manque de vitesse.

Risque en cas de gestuelle inappropriée :

c- risques dos voile :

- La voile monte lentement, 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.

10- 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 :

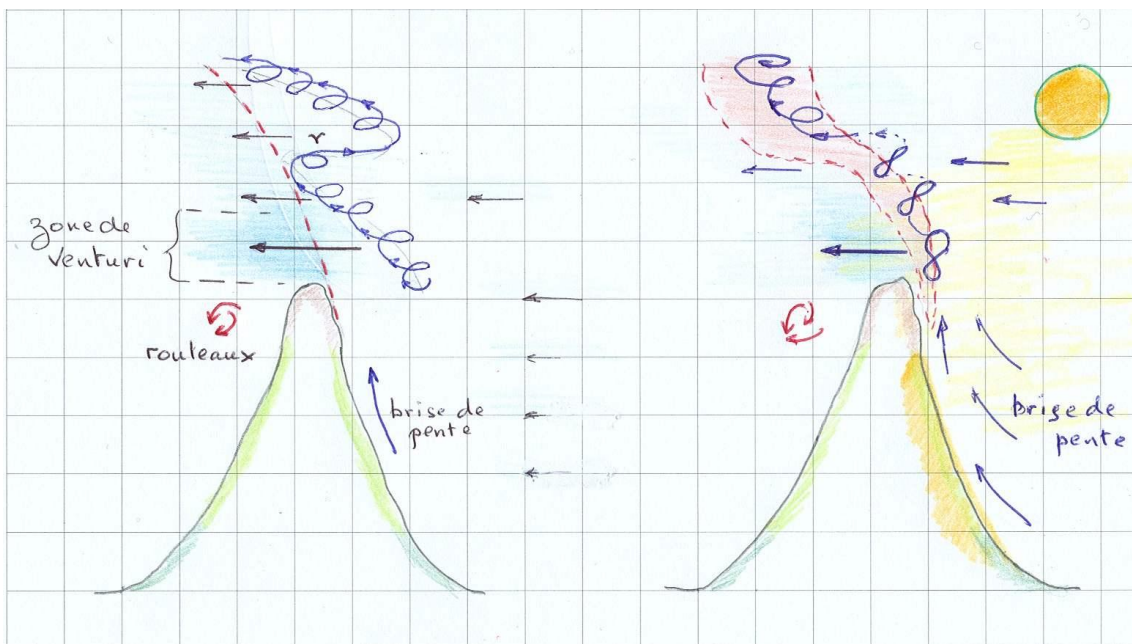
- a) Préambule,
- b) Devant et par paliers,
- c) Les huit.

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 huites ∞ :

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. 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 pendant 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 de compression.

11- 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 ne fait pas les oreilles avec une aile mouillée. Donc pas d'oreilles 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 rentre dans un incident de vol, on peut être en retard sur l'action de pilotage, et près du sol, cela peut amener une situation délicate.

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

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 les oreilles d'un côté puis de l'autre et j'accélère légèrement. Avec les oreilles l'aile cabre, on lui redonne le bon calage en accélérant légèrement. Pendant la manœuvre, je contrôle le cap à la sellette, si nécessaire.

c- Réouverture :

- Je contrôle le cap,
- Je rouvre les oreilles d'un côté puis de l'autre, si nécessaire, par des appuis-commandes brefs, tout en restant légèrement accéléré,
 - 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.

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

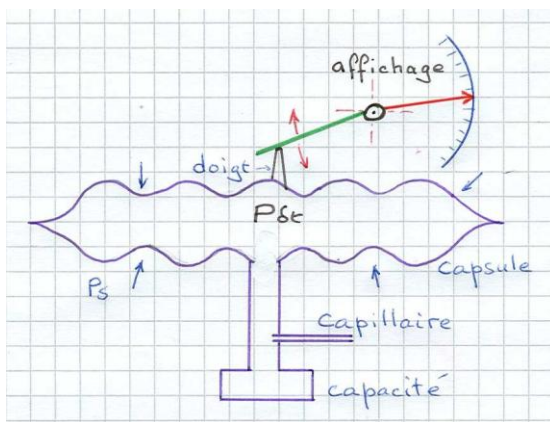
Sommaire des éléments de réponse :

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

Le **variomètre** informe le pilote de la vitesse de variation d'altitude, c'est-à-dire son taux de montée ou son taux de chute.

a- Principe du variomètre mécanique :

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 P_s pression statique locale, qui agit sur la capsule. Cette pression va se communiquer dans la capsule, en passant par un tube capillaire, dont le but est de retarder, pour un temps connu δt , l'établissement de la pression P_{dt} , à l'intérieur de cette capsule. La capsule, dont la pression intérieure diffère de la pression ambiante, va se déformer selon cette différence de pression.

Un doigt solidaire à la capsule va se déplacer et entraîner un levier sur pivot. Cet écart angulaire est transmis directement à un système d'affichage, à aiguille.

b- Principe du variomètre électronique :

Le capteur de pression qui mesure les variations est toujours basé sur une capsule, mais la transmission de la mesure et l'affichage se font électroniquement.

c- Principe de fonctionnement :

Sachant qu'un hPa correspond à une différence d'altitude de $28' = 8,3m$ (dans la tranche 0-3000m), le taux de variation sera : $V_z = (P_{dt} - P_s) / [8,3 * \delta t]$.

L'instrument est étalonné pour prendre en compte la variation logarithmique de la pression avec l'altitude.

Le variomètre est un instrument d'évaluation. Il nous informe d'un gain ou perte d'altitude. Quelle que soit l'altitude, le zéro au vario indique un vol à niveau constant.

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 aidera à profiter de la moindre ascendance, et à mieux nous positionner dans les thermiques, ou dynamiques. Il nous informera des ascendances plus ou moins marquées. C'est un véritable instrument de vol.

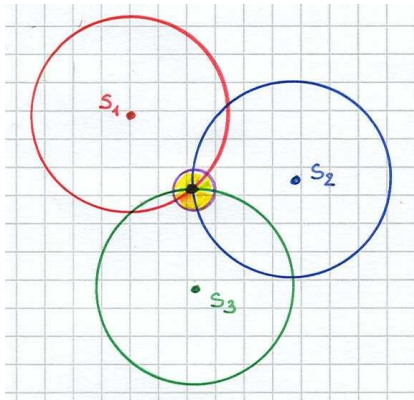
Le vario présente un temps de réponse réglable, il est cependant toujours en retard sur le ressenti par le pilote dans les thermiques francs. Des variomètres plus ou moins sophistiqués sont proposés dans le commerce. Un variomètre acoustique tout simple, sans affichage, peut parfois suffire.

d- Utilité du variomètre :

- En transition, pour optimiser celle-ci,
- Dans les zones où les ascendances sont faibles,
- En plaine, où il est plus difficile qu'à la montagne d'avoir un repère qui permet de savoir si on monte ou si on descend.

e- 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 pied : configurable).



Le principe de localisation s'appuie sur un réseau de satellites télécom à 20.200 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).

f- 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 de l'altitude vraie (réglage QNH) ou de notre hauteur par rapport à l'atterro (réglage QFE).

- g- 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 de montagnes, les bâtiments et murs qui occultent les signaux ou donnent par réflexion une localisation fausse.

**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 :

J'opte pour un réglage indiqué sur le sticker, qui me permet d'avoir la latitude du travail à la sellette, et d'être dans le réglage de la Norme. La sellette est non seulement un élément de confort, mais aussi de pilotage dans la mesure où sa conception et son réglage influent fortement sur le comportement de la voile. Le constructeur de voile préconise le type de sellette, ainsi que les côtes de réglage.

b- Réglages, points à respecter :

- réglage des dorsales : pilotage dos droit ou pilotage couché dos
- ABS ou réglage des différentes sangles équivalentes pour :
 - ventrale serrée, j'augmente la sécurité passive, car le risque de tomber dans la sellette est moindre,
 - ventrale desserrée, j'augmente les possibilités du pilotage sellette pour m'habituer, ainsi, à agir à la sellette et augmenter mes automatismes de contre-sellette.

Ventrale : Si trop serrée, risque de twist.

Si trop lâche : instabilité .

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 :

- utiliser le type de sellette préconisé par le constructeur de sa voile,
- apprendre à sentir sa voile et savoir utiliser les réglages permettant d'affiner celle-ci,
- apprendre à virer à la sellette et à la régler en vol si sa conception le permet.

J'ajuste (au rabot), si nécessaire, la largeur de la planchette de sorte à être bien calé dans la sellette.

c- Les réglages, utiliser un portique si possible :

- **Sangles d'épaule**, étant debout, régler de manière à avoir le bord du plateau juste au-dessus du niveau du genou.
- **Cuissardes**, sont fixées en premier, réglage tension, une main à plat sur la cuisse peut passer dans la position debout. Il est normal qu'en vol elles soient détendues.
- **Sangle ventrale** : réglage neutre, Sellette M : 43cm entre maillons.
- **Sangle 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 la sangle lombaire. Si à l'inverse on fait travailler les 'abdos', resserrer la sangle lombaire.

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

Sommaire des éléments de réponse :

- Introduction :
- Augmentation de la portance du côté « freiné » qui crée un moment de roulis,
- Augmentation de la trainée qui crée le moment de lacet,
- Tangage créée par l'action de la commande voir même la commande opposée, aux 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,

0

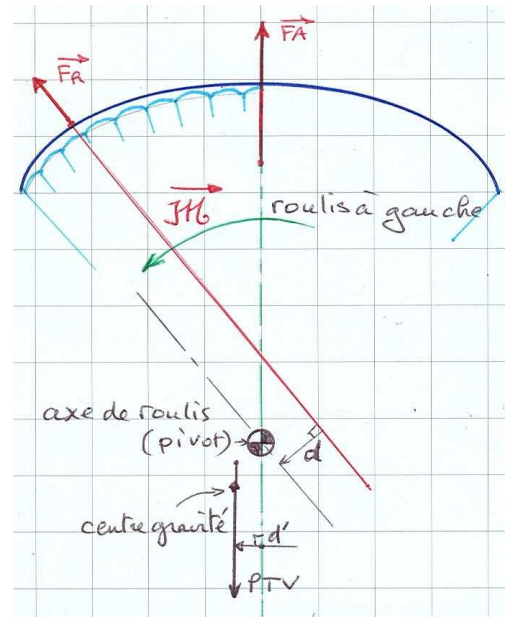
Prenons un virage à gauche.

Pour obtenir le bon roulis, le travail à la sellette est primordial.

Voyons d'abord l'engagement du roulis par action sur la commande gauche, on garantit la manœuvre en donnant un peu de commande à gauche. En effet la portance F_r supplémentaire sur la moitié gauche de l'aile génère un couple de moment $\mathcal{M}_R$ ($\mathcal{M}_R = F_r * d$) qui s'applique sur l'axe des roulis, inclinant l'aile à gauche. Le cintrage et suspentage de l'aile représentée admet un roulis en phase avec la commande, car la ligne d'action de F_r est au-dessus du pivot

L'appui sellette à gauche, décale le centre de gravité à gauche, et induit un moment de roulis $\mathcal{M}_S = PTV * d'$ renforçant le moment de roulis de la commande.

La conjugaison commande et sellette donnera un bon roulis sans trop de trainée, réductrice de performance.



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 $\mathcal{M}_L$, va engager autour de l'axe des lacets.

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

L'aile étant inclinée, le petit coup de commande provoque aussi le tangage essentiel au bon déroulement du virage. Parfois une légère action sur la commande opposée sera utile lors de fortes inclinaisons. Ce tangage est dû au cabré de l'aile qui, freinée, est soumise à la force d'inertie du pilote (effet balançoire).

Questions portant sur : **RÈGLEMENTATION / ESPACE AÉRIEN**

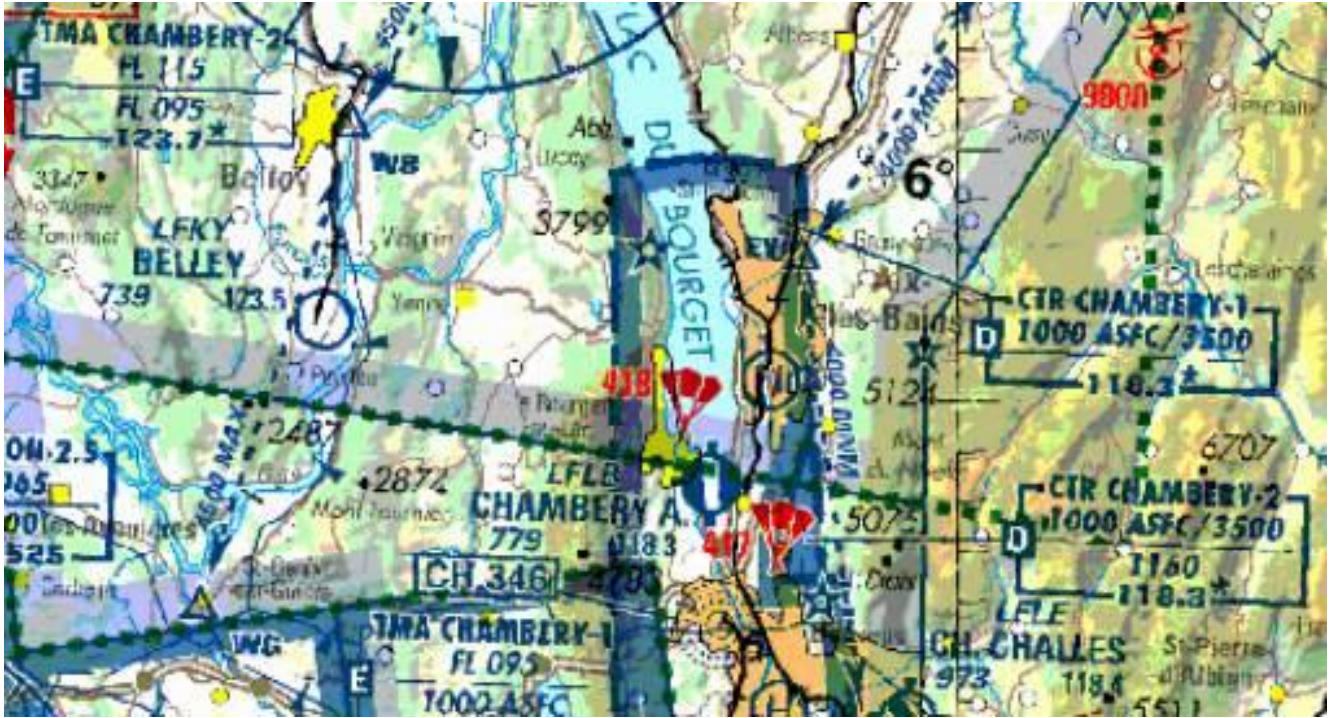
1- Lors de vos prochaines vacances en France, vous vous rendez sur un site nouveau, avec pour objectif de faire du vol de distance. Comment prenez-vous connaissance de l'information aéronautique ?

- Consultation des informations sur les panneaux de site.
- Consultation des cartes aéronautiques à jour.
- Prise de connaissance de l'état d'activation de zones réglementées s'il y en a.
- Prise de connaissance d'éventuels NOTAMs signalant une activité particulière.
- Je rends éventuellement visite au Bureau d'Information Aéronautique ou au Bureau de Piste 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).
- 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, **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 1/500.000 pour le quart concerné (SE, SO, NO, NE) conçue pour le vol à vue, couvrant l'espace du sol à 5.000ft AMSL ou 2.000ft ASFC .
- Un nouveau format plus européen et harmonisant les cartes au 500.000ème est en création couvrant l'espace jusqu'au niveau **FL 115**.
- Cartes SIA VFR (Visual Flight Rule) France 1/1.000.000, couvrant l'espace aérien inférieur de 0 à FL195 soit de 0 à 5.850m :
On y trouve le RTBA, un guide complémentaire à la carte est fourni.
SIA : Service Information Aéronautique.
- Carte VAC (Visual Approach Chart) pour les environs d'un aérodrome donné :
Ex : LFLU Valence Chabeuil descriptif 10km autour de l'aérodrome + renseignements détaillés.
- Cartes produites par d'autres éditeurs : Aviasport, carte papier ou numérisée(smartphone), ou carte spécifique Vol à Voile au 1/250.000^{ème} (disponible uniquement pour les Alpes).
- Toutes ces cartes ont une date d'édition et une période de validité de six mois au 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 2002 ? Quelle serait votre mise en application pratique lors d'un vol dans ce secteur ?



Sommaire des éléments de réponse :

- Identification des espaces et zones,
- Elaboration du Plan de Vol,
- Acronymes 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 jusqu'au plus haut entre 300m (1000') au-dessus du sol et 1050m (3500') d'altitude.

Le volume de la CTR2 part de l'altitude 350m (1160') jusqu'au plus haut entre 300m (1000') au-dessus du sol et 1050m (3500') 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 = 5km mini ; distance mini nuages = 300m en vertical et 1500m 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 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. Faire attention au Sud car il semble y avoir un lieu de largage planeurs et au Sud-Est un axe de voltige.

Le Mont Nivolet est un site d'altitude 1547 m (~5075') 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- Acronymes et unités :

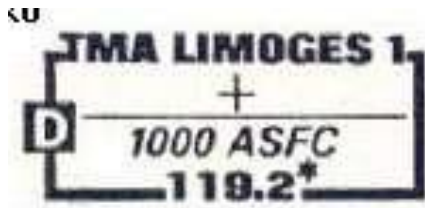
CTR : ConTRol area, c'est l'espace environnant l'aérodrome, où se trouve la tour du contrôle local d'aérodrome (CLA).

TMA : TerMinal control Area, secteur protégé, d'approche, voire d'attente des avions (orbit-radius, hippodromes). 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 pour un usage international, les hauteurs sont en pied. Le pied (feet) est noté ft ou ' .

La valeur du pied : 1ft ~ 0,30m → 1000' = 300m.

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 control Area) zone d'approche terminale qui s'interpose entre les voies de navigation AWY (AirWaY) et la zone aéroportuaire CTR ; cet espace contiendra les orbites d'attente, l'approche et les accès aux voies aériennes.
- Le nom de la zone décrite est LIMOGES 1
- La classe de l'Espace associée est D, la zone n'est donc pas accessible au Vol Libre.
- La zone a sa limite basse à 1.000 pieds au-dessus de la surface, ce qui correspond à 300m sol .
- La zone a sa limite haute, supérieure ou égale à la limite haute de l'espace décrit par la carte aéronautique (à voir sur la carte)
- 119.2 est la fréquence radio de l'organisme de contrôle associé, cette information est inutile aux libéristes.

* : signifie horaires non permanents

la valeur du pied 1' ~ 0,30m → 1000' = 300m

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.

- Les pieds (feet) 1 foot = 12 pouces , 1 pied = 12 * 25,4mm = 0,3048m ~0,30m
1.000ft = 300m
- niveaux de vol FL (Flight Level) FL : unité en centaine de pieds
FL65 par exemple = 6.500ft = 1.950m 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 exprimé en centaines de pieds, avec calage de l'altimétrie à Zéro, pour 1013,25 hPa .

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 réglementé..

- L'identificateur de la zone est R46 Sud.

- En l'occurrence, il s'agit d'un couloir de vol tactique du RTBA, Réseau Très Basse Altitude de France [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.

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 connaître 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'aéronautique, comme la tour d'un aéroport proche,
- consulter les Notams, ou autres points pouvant contenir le renseignement que l'on peut aussi trouver par internet.

- Si la zone est active, les libéristes ne peuvent pas y pénétrer. Pour savoir si la zone est active, il existe un répondeur téléphonique disponible en permanence qui énumère, chaque jour, les heures d'activation des zones.

- 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.

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 3.000' AMSL ou 1.000' ASFC) :

- En dessous : visibilité = 1,5km mini ; hors nuages ; en vue du sol
- Au-dessus : visibilité = 5km mini si alt < 3.000m et 8km mini si alt > 3.000m ;
- distance-mini nuages = 300m en vertical et 1.500m 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 = 5km mini si alt < 3.000m et 8km mini si alt > 3.000m,
- distance mini nuages = 300m en vertical et 1.500m 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.

L'exemple typique est le respect des 300m sol à respecter au-dessus du Sapey : (TMA - Chambéry1 E : $\frac{+}{1000 ASFC}$) en vol local, on évite d'y rentrer.

Notations et quelques rappels pour la MÉCAVOL:

Sommaire :

- | | |
|---|---------------|
| 1. Symboles utilisés, | 5. Fermetures |
| 2. Forces et vecteurs, | 6. Assiette |
| 3. Les forces en présence lors d'un vol équilibré rectiligne, | 7. Roulis |
| 4. L'angle de plané d'hier et d'aujourd'hui. | |

Tout au long du document, que ce soit dans les textes ou les dessins, nous emploierons une symbolique reconnue dans la littérature technique. Cependant, souvent le contexte sera suffisamment explicite pour ne pas prêter à confusion.

1- Symboles et acronymes :

$\hat{i}$	i	l'angle d'incidence	n	n	facteur de charge
α	a	l'assiette	FA		Force Aérodynamique
p	p	l'angle de plané	PTV		Poids total volant
π	pi	3.14	CA		Charge Alaire
K	k	rapport d'homothétie	CP		Centre de Poussée
			CG		Centre de Gravité

2- Eléments sur vecteurs :

Dans notre propos, les vecteurs représentent les forces, ils sont dans le même plan.
L'addition vectorielle est un outil simple pour raisonner sur les forces en présence.
Leurs conséquences sur les vitesses, changement d'incidence que l'on rencontre en mécanique du vol.

Un vecteur a est défini par son point d'application, son amplitude, sa direction et son sens

Par exemple le vecteur FA la Force Aérodynamique en vol équilibré rectiligne.

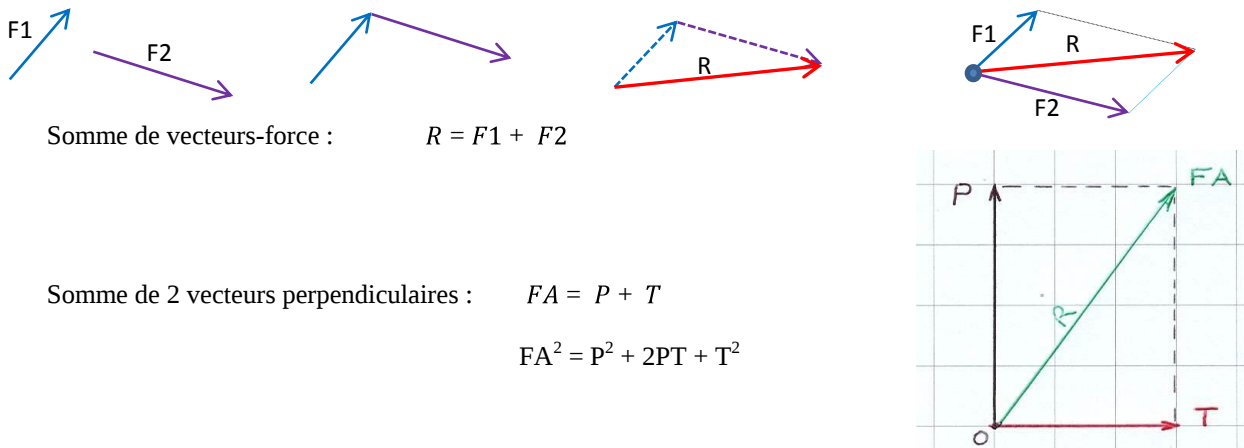
- Point d'application : C_p le Centre de Poussée,
- amplitude (ou module): grandeur de la force égale au PTV ,
- direction : la verticale,
- sens : vers le haut.

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

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

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

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

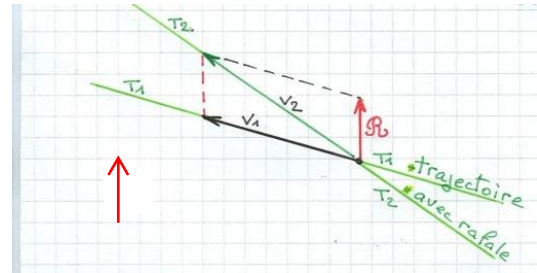


Exemple d'application sur une rafale montante : incidence sur la trajectoire T_1

Soit V_1 le vent relatif sur trajectoire T_1 , vient une rafale montante R

Traçons le parallélogramme et déterminons le nouveau vent relatif V_2 et sa trajectoire T_2 :

$$V_2 = V_1 + R$$



A savoir : vous n'aurez jamais à faire de calculs impliquant les vecteurs.

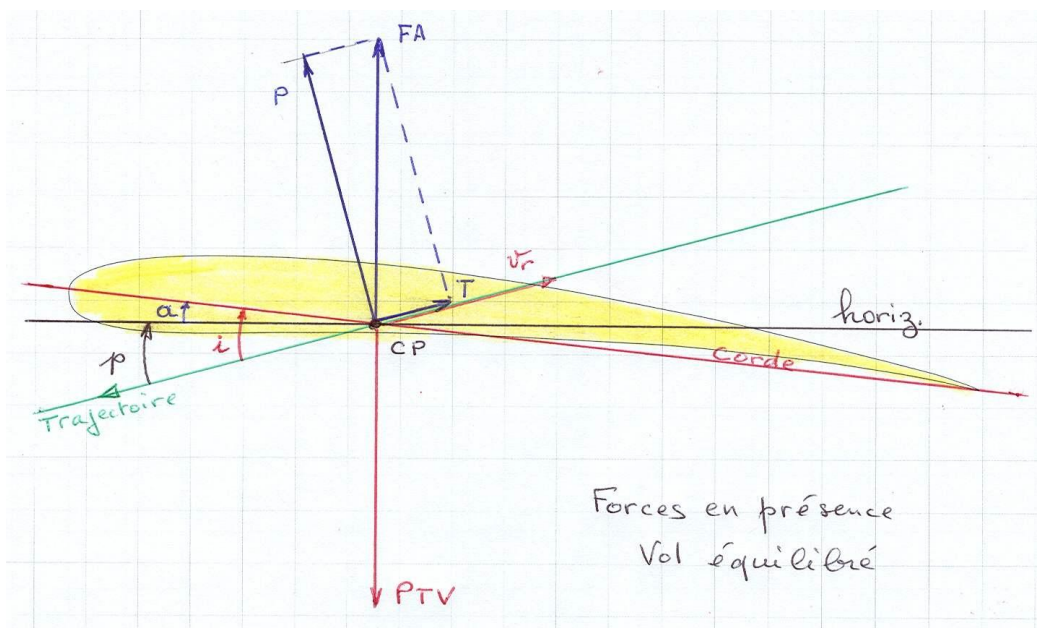
3- Les forces en présence lors d'un vol équilibré rectiligne :

Traçons :

- le profil de l'aile,
- Les droites de référence :
 - la corde, tirée du bord d'attaque au bord de fuite,
 - la trajectoire, passant par le centre de poussée CP (au tiers avant de l'aile),
 - l'horizontale, passant par CP, pour mieux préciser l'assiette et l'angle de plané.
- Les vecteurs forces en présence :
 - Le Poids Total Volant PTV ,
 - La FA opposée et d'amplitude égale au PTV ,
 - La traînée T , de même direction que la trajectoire,
 - La portance P , perpendiculaire à T orientée vers le haut.

Ces forces sont telles que $PTV = P + T$

Repérons les angles de vol : p angle de plané, i incidence et l'assiette a :

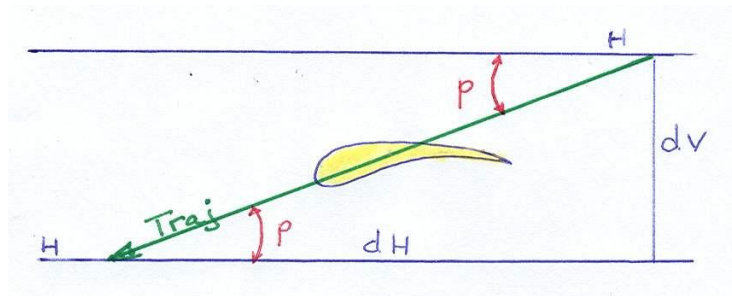


Important : L'acronyme RFA (Résultante des Forces Aérodynamiques) est définitivement remplacé par **FA**, pour Force Aérodynamique, plus approprié selon les aérodynamiciens.

4- L'angle de plané de nos jours :

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

$$\tan p = 1/f \quad \text{et} \quad p = \hat{i} - \hat{a} \quad (\text{et non plus } \hat{i} + \hat{a} \quad \text{voir paragraphe 'plané cabré'})$$



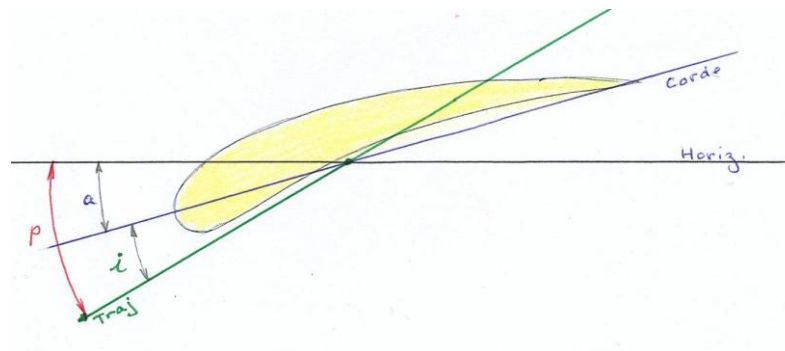
En effet, la finesse $f = dh/dv$ ainsi : $\tan p = dv/dh = 1/f$

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

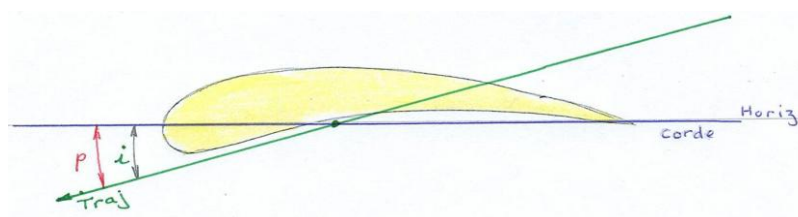
Année	Aile	Finesse	Angle de plané p	Assiette $\hat{a} = 9^\circ - p$	attitude
1990	ITV vega	4	14°	-5°	piqué
1994	Gypaile	5,5	10°	-1°	piqué
		6,3	9°	0	neutre
2007	Gin Boléro III	7,5	$7,5^\circ$	$1,5^\circ$	cabré
2010	moyenne	8	$7,2^\circ$	$1,8^\circ$	cabré
	cross	9	$6,3^\circ$	$2,7^\circ$	cabré
	Perf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

Représentation des attitudes

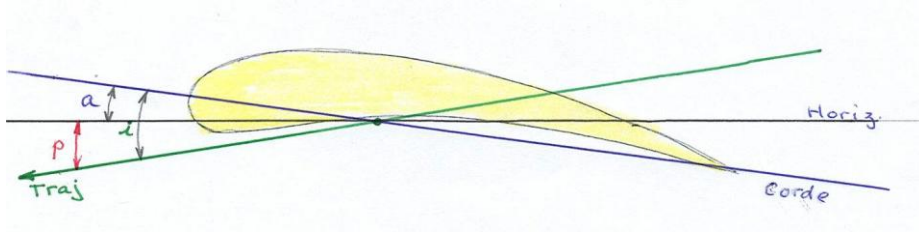
plané piqué :



plané neutre :



Plané cabré :

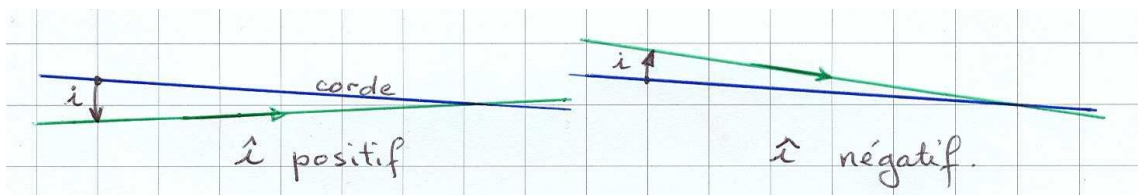


On voit que depuis quelques années l'aile a en fait, une assiette $\hat{a}$ qui a progressivement changé de signe. Pour autant doit-on dire que cette nouvelle assiette est positive ou négative.

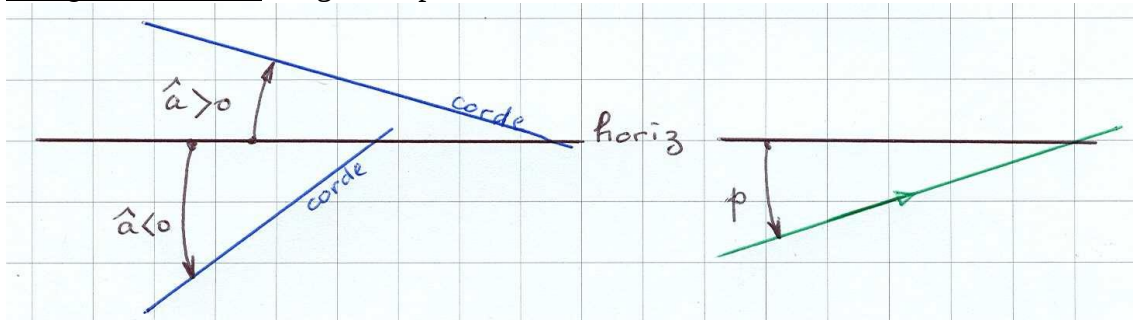
Les aviateurs diront que l'assiette est positive, dès lors que le capot de l'avion est au-dessus de la ligne d'horizon.

L'expression $p = \hat{a} + \hat{i}$ largement diffusée n'a désormais plus de sens. Pour exprimer p , dans la généralité des cas, il est nécessaire d'opérer sur des arcs orientés, donc qui ont un signe. p , $\hat{a}$ et $\hat{i}$ sont positifs ou négatifs selon leurs orientations. On devra alors convenir de cette orientation, considérant les usages et la définition des angles. Finalement $\boxed{p = \hat{i} - \hat{a}}$.

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



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



L'angle de plané p : angle compris entre l'horizontale et la direction du vent relatif.

Autre expression de l'angle de plané :

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

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

« p est un angle dont la tangente est égale à l'inverse de la finesse »,

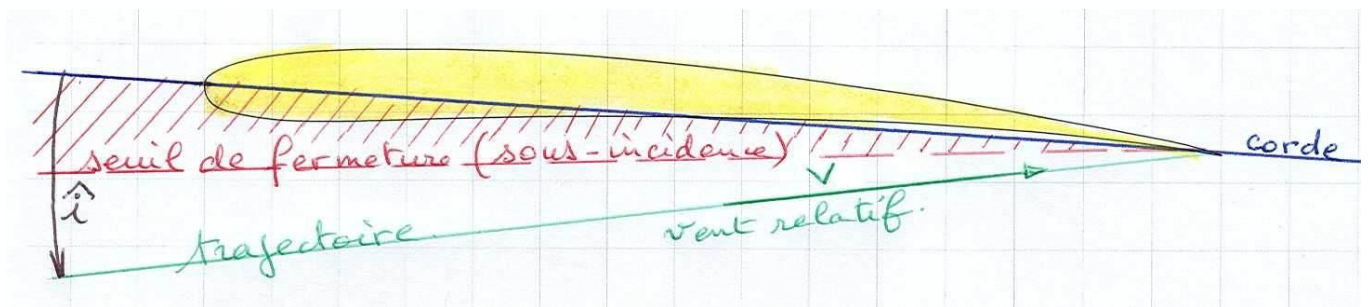
f est la finesse sol ; en air calme sera à la finesse propre de l'aile.

5- Fermetures :

Parapente : ce terme, 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, qui déjà à l'époque était constituée de caissons.

On connaît la manifestation de la fermeture, perte de portance, et augmentation de la traînée. Cette fermeture peut être frontale, ou asymétrique...

Le point commun de ces fermetures est la réduction, le plus souvent involontaire, excessive de l'angle d'incidence $\hat{i}$ (passage au seuil de fermeture : sous-incidence $\leq 4/5^\circ$, voire en valeur négative). On dira volontiers : "l'angle d'incidence trop ouvert, l'aile décroche", "l'angle d'incidence trop fermé, l'aile se replie".



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

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

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

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

Pour éviter cela, les constructeurs mettent des floatings en bout d'aile (baguettes de calage), des balestrons dans la voile ou des câbles de rappel pour les deltas avec mât. Ces artifices techniques tendent à contrer le mouvement de tangage, au même titre que la queue utilisée par certains deltas de compétition.

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

- 1) Le delta, comme dans une moindre mesure le parapente, est un système pendulaire. Dès lors, l'inertie inhérente au couple piqueur qui peut entraîner le tumbling sera contrée par ce rappel pendulaire. Ce dernier peut être maximisé par une action sur la barre de contrôle.

- 2) D'autre part, la variation du lieu d'application de la portance suivant l'angle d'incidence. En effet, plus l'angle d'incidence est faible, et plus le point d'application de la portance (centre de poussée) 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 :

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

Nous sommes utilisateurs de voiles, notre préoccupation devrait se ramener à des gestes de pilotage qui nous assurent de manière quasiment permanente l'angle d'incidence convenable.

En situation de vol, hormis en SIV, où la fermeture peut être déclenchée, nous raisonnerons sur les rafales descendantes ou de face qui jouent sur la baisse d'incidence, avec parfois un risque de dépassement du seuil de fermeture.

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

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

Convention : pour ce qui suit, nous choisirons des valeurs moyennes d'angle $\hat{i}$

Finesse max (entre 8 et 10°) : $\hat{i} = 9^\circ$ sous-incidence (4 à 5°) : $\hat{i} = 5^\circ$ sur incidence (18 à 19°).

Implication possible des Rafales dans une fermeture :

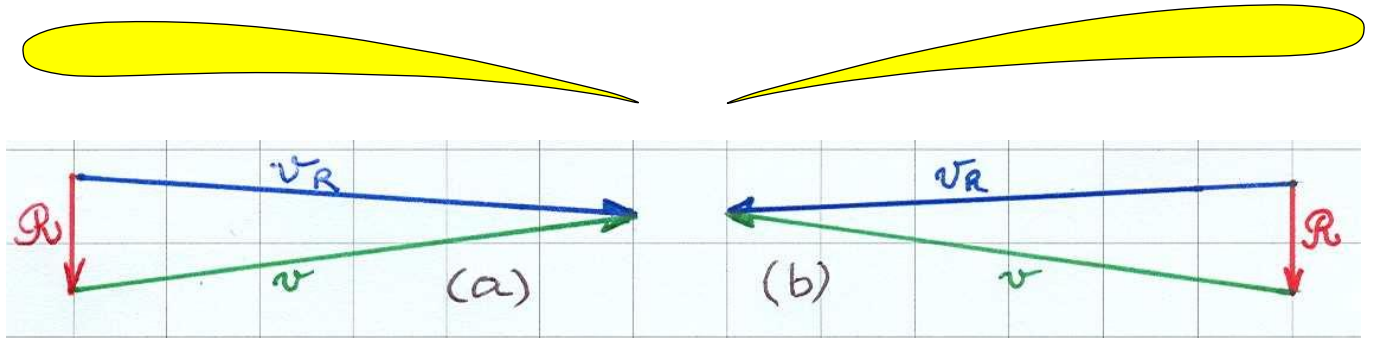
A l'aide de schémas, représentons les situations de fermetures et leur possible prévention.

Nous raisonnerons avec une attitude de léger cabré (cas des ailes actuelles), pour mieux mettre en valeur le poids des rafales dans une démonstration plutôt graphique que mathématique. Utilisation indispensable du double décimètre et du rapporteur d'angles.

La rafale qui provoque le franchissement du seuil de fermeture est dite rafale efficace. Il en sera de même pour le seuil de décrochage

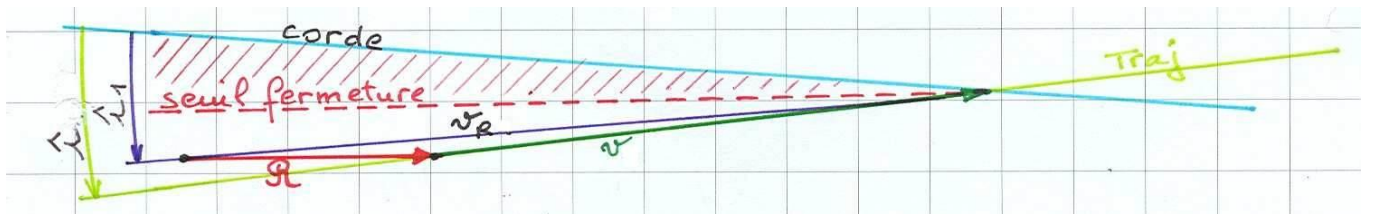
Soit : incidence de vol : $\hat{i} = 12^\circ$ et seuil de fermeture : 5°

Méthode de tracé du nouveau vecteur-vitesse résultant $V_R = V + R$:
il suffit de joindre l'origine d'un des vecteurs à l'extrémité de l'autre :



Selon l'orientation de l'aile : tracé (a), ou tracé (b) ;

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



Cette méthode de construction géométrique, vraie quelle que soit l'orientation de R , montre en lecture directe, si le vecteur résultant V_R est dans la zone de fermeture (ce qui sera vrai si l'origine de R est déjà dans cette zone).

Pour entrer en fermeture, l'origine du vecteur rafale R doit être dans la zone de fermeture.

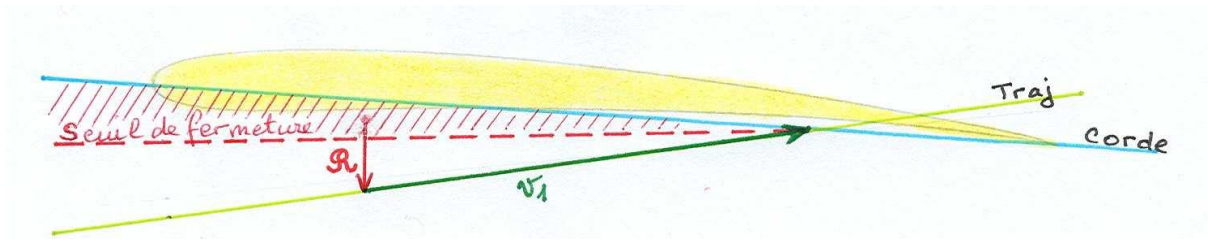
Prenons une Rafale de face d'amplitude 45% de V , le nouveau vent relatif résultant V_R est largement en dehors de la zone de fermeture, le nouvel angle d'incidence $\hat{i}_1$ reste supérieur à la sous-incidence.

Evaluons, au compas, l'intensité du vecteur R pour que son origine atteigne la ligne de seuil : on serait à une valeur $R > 400\%$ de V (soit $\sim 140\text{kmh}$! pour $v = 35\text{kmh}$).

Cela s'explique simplement : les voiles actuelles ont une assiette positive, de 2° à 4° , et volent donc avec une corde au-dessus de la ligne d'horizon. La ligne de seuil se retrouve à 5° en dessous soit 1 à 3° en dessous de l'horizontale.

Conséquence : la ligne de seuil est presque parallèle à cette rafale de face, et espérer son origine dans la zone de fermeture est improbable. Sauf que, dans la généralité, Rafale de face ne signifie pas forcément horizontale.

Rafale descendante : Soit $\mathbf{V}$ un vent relatif pour une incidence $\hat{i}$, vient alors une rafale descendante $\mathcal{R}$. Nous franchissons le seuil : la fermeture est imminente.



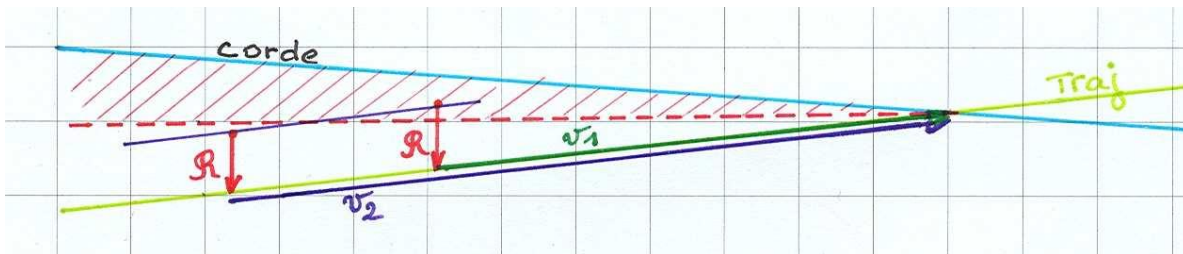
Il y a fermeture dès que le vecteur-vitesse passe en sous-incidence (ce sera ici le cas).

Rafale de face plongeante (conjugaison d'une rafale de face et d'une rafale descendante)

Peut engendrer une fermeture. Il suffit que le vecteur $\mathcal{R}$ ait son origine dans la zone de fermeture.



Une plus grande vitesse nous écarte du risque de fermeture :



Avec $\mathbf{V}_1$, nous risquons la fermeture pour une rafale descendante de force $\mathcal{R}$.

Avec $\mathbf{V}_2$, la même rafale ne nous conduira pas à la fermeture.

Proportion des Rafales efficaces $\mathcal{R}/V$, en fonction de l'incidence $\hat{i}$ du vent relatif.

Pour $\hat{i} = 12^\circ$ on mesure $\sim 11,5\%$

que nous vérifierons dans les suppléments / bonus MécaVol Q13, par le calcul.

Finesse et incidence : $\mathcal{R} / V$ ne peut effectivement être établi que si, et seulement si, on connaît le couple de valeurs f et $\hat{i}$. En effet, le constructeur ne nous donne qu'une finesse max, pour une valeur d'incidence qu'on pense généralement comprise entre 8 et 10°. Or, la polaire des vitesses est curviligne, et les valeurs de $\hat{i}$ le long de cette polaire ne sont pas révélées. On ne peut donc pas identifier ces couples de valeurs, mais nous pouvons déjà établir le rapport $\mathcal{R} / V$, en prenant la finesse max à $\hat{i} = 9^\circ$ (entre 8 et 10°).

Calcul du rapport $\mathcal{R} / V$: (voir le développement dans les Suppléments / bonus Mécavol Q13)

Remarque : l'affirmation « Une plus grande vitesse nous écarte du risque de fermeture », est à prendre judicieusement :

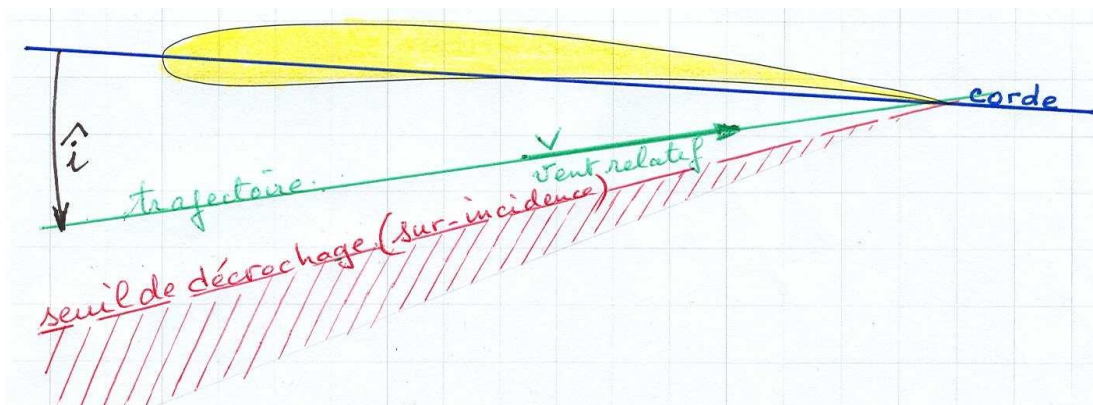
En cas de turbulence, pourrions-nous utiliser l'accélérateur ? Manque de chance, si on veut s'écarter du seuil de fermeture par la prise de vitesse, on pourrait s'en rapprocher par le nouveau calage de l'aile.

La Charge Alaire reste une solution pour voler plus vite, et s'écarter du seuil. Seules les rafales encore plus fortes déclencheraient des fermetures qui, si elles se produisaient, seraient plus difficiles à gérer.

Pertinence du calcul $\mathcal{R} / V$ **pour une rafale de face**: dans une première approximation, faite à la règle et au rapporteur, nous avons vu qu'il fallait une rafale de 400% de la vitesse propre, pour franchir le seuil de fermeture. Ceci impliquerait un vol dans des conditions hors normes, pour le vol libre. Les calculs dans ces conditions n'ont pas de sens.

6- Décrochage :

L'aile décroche car elle n'est plus supportée par la masse d'air, cela se produit lorsque l'aile passe en sur-incidence, vers 18 à 19° qui est le seuil de décrochage.



Convention : pour ce qui suit, nous choisirons des valeurs moyennes d'angle $\hat{i}$

Finesse max (entre 8 et 10°) : $\hat{i} = 9^\circ$, incidence de vol : $\hat{i} = 12^\circ$ sur-incidence (18 à 19°) : $\hat{i} = 18^\circ$

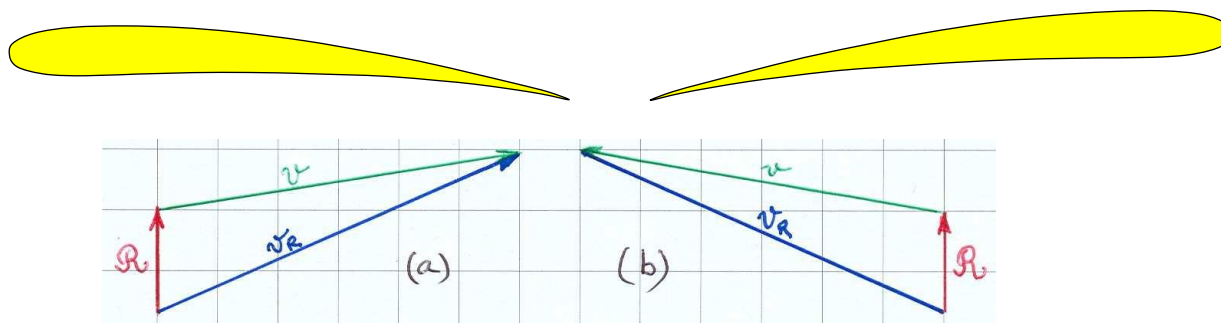
Implication possible des Rafales dans une sur-incidence :

Il s'agira des rafales R montantes ou arrières ou conjugaison de ces deux sens

A l'aide de schémas, représentons les situations de sur-incidence et leur possible prévention.

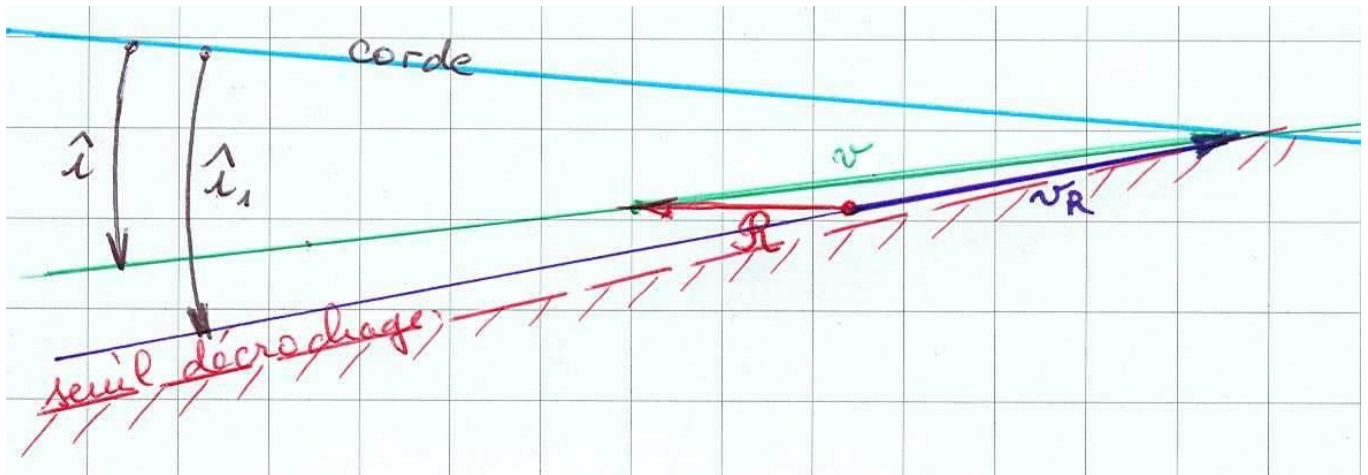
Comme pour le chapitre 'fermetures', précédant, nous raisonnerons avec une attitude de léger cabré, c'est le cas des ailes actuelles, pour mieux mettre en valeur le poids des rafales dans une démonstration plutôt graphique que mathématique. Utilisation indispensable de la règle et du rapporteur d'angles.

Tracé du nouveau vecteur-vitesse résultant $V_r = V + R$:
il suffit de joindre l'origine d'un des vecteurs à l'extrémité de l'autre :



Selon l'orientation de l'aile : tracé (a), ou tracé (b) ;

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



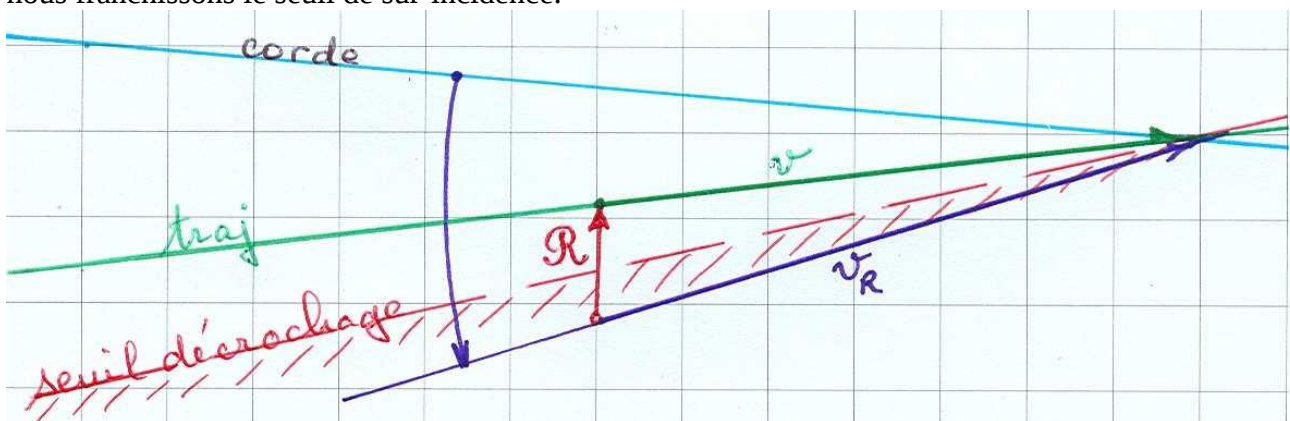
La construction du vecteur résultant $\mathbf{V}_R$ montre qu'il sera dans la zone de décrochage si l'origine de $\mathcal{R}$ est dans cette zone (ce n'est pas le cas ici).

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

Avec une incidence $\hat{i} = 12^\circ$, on voit que la rafale arrière, d'amplitude $\sim \frac{V}{2}$ serait suffisante pour entrer en sur-incidence.

Calcul du rapport $\mathcal{R} / V$: (voir le développement dans les Suppléments / bonus MécaVol Q13++)

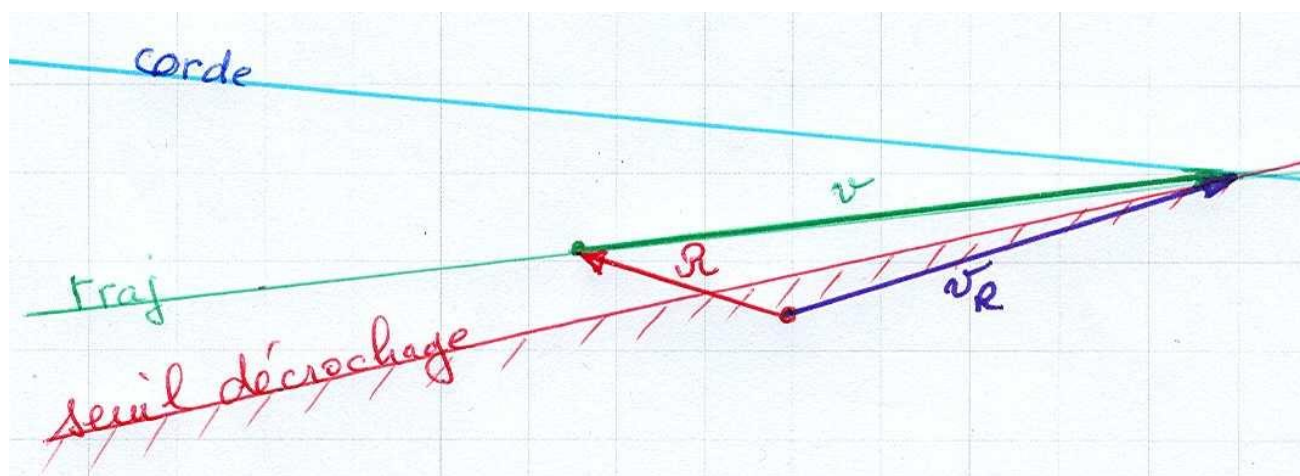
Rafale montante : Soit $\mathbf{V}$ un vent relatif pour une incidence $\hat{i}$, vient alors une rafale montante $\mathcal{R}$, nous franchissons le seuil de sur-incidence.



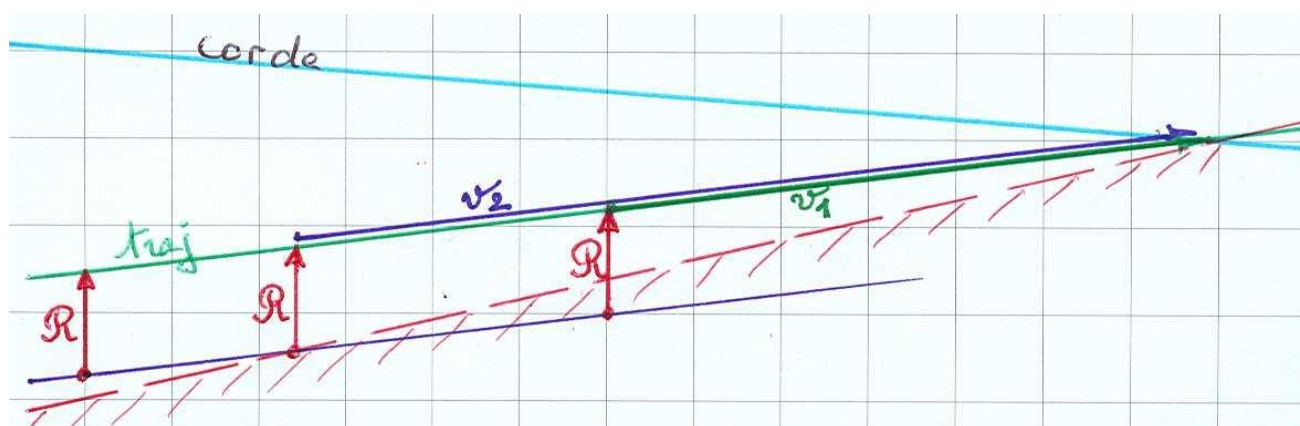
Il y a risque de décrochage dès que le vecteur-vitesse passe en sur-incidence (ce sera ici le cas).

Rafale arrière montante (conjugaison d'une rafale arrière et d'une rafale montante)

Peut passer en sur-incidence, il suffit que le vecteur $\mathcal{R}$ ait son origine dans la zone de décrochage.



Une plus grande vitesse nous écarte du risque de décrochage :



Avec V_1 , nous risquons le décrochage pour une rafale montante de force R .

Avec une vitesse supérieure à V_2 , la même rafale ne nous conduira pas à la sur-incidence.

Proportion des Rafales montantes efficaces $\mathcal{R} / V$, en fonction de l'incidence $\hat{i}$ du vent relatif.

Pour $\hat{i} = 12^\circ$ on mesure $\sim 12\%$,

que nous vérifierons par le calcul (Suppléments / Mécavol Q13+).

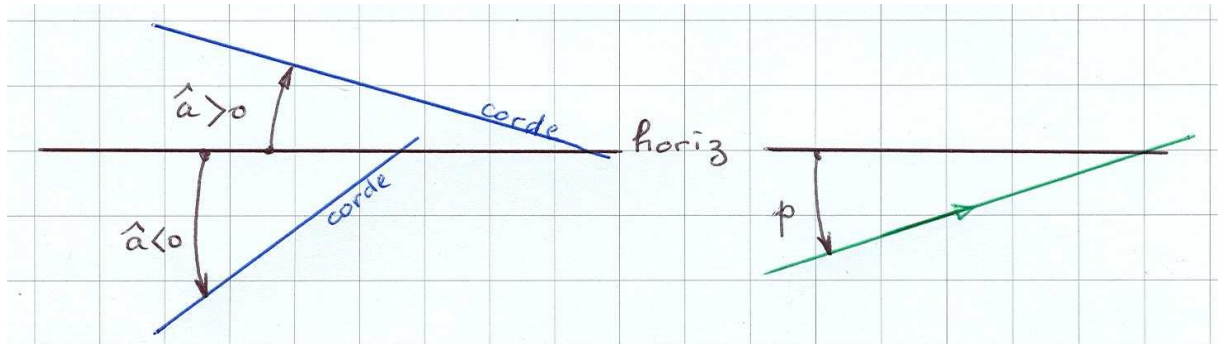
Finesse et incidence : la proportion ne peut effectivement être établie que si, et seulement si, on connaît le couple de valeurs f et $\hat{i}$. En effet, le constructeur ne nous donne qu'une finesse max, pour une valeur d'incidence qu'on pense généralement comprise entre 8 et 10° . Or la polaire des vitesses est curviligne, et les valeurs de $\hat{i}$ le long de cette polaire, ne sont pas révélées. On ne peut donc pas identifier ces couples de valeurs, mais nous pouvons établir le rapport $\mathcal{R} / V$, pour la finesse max à $\hat{i}$ estimé à 9° .

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

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

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

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



Réglage de l'assiette :

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

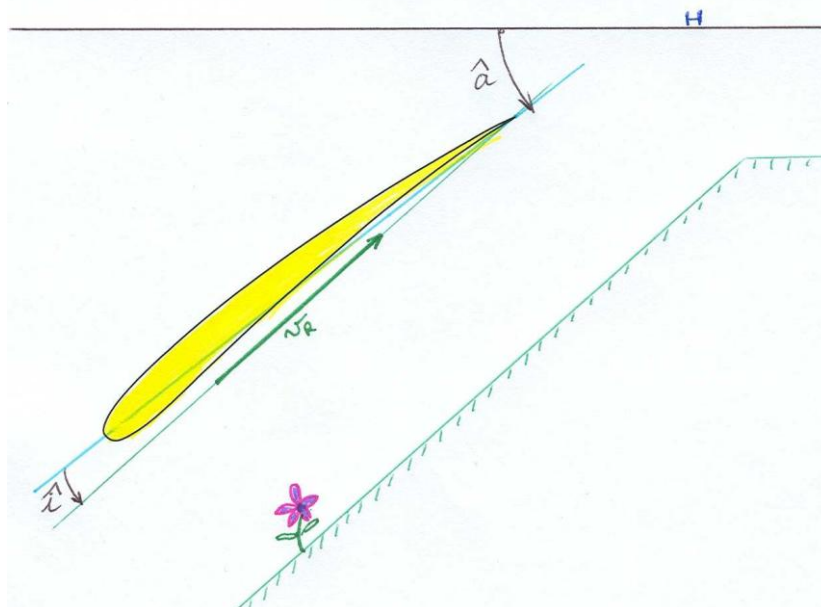
Delta : le pilote joue en permanence avec l'assiette en manœuvrant sa barre de contrôle.

L'incidence :

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

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

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

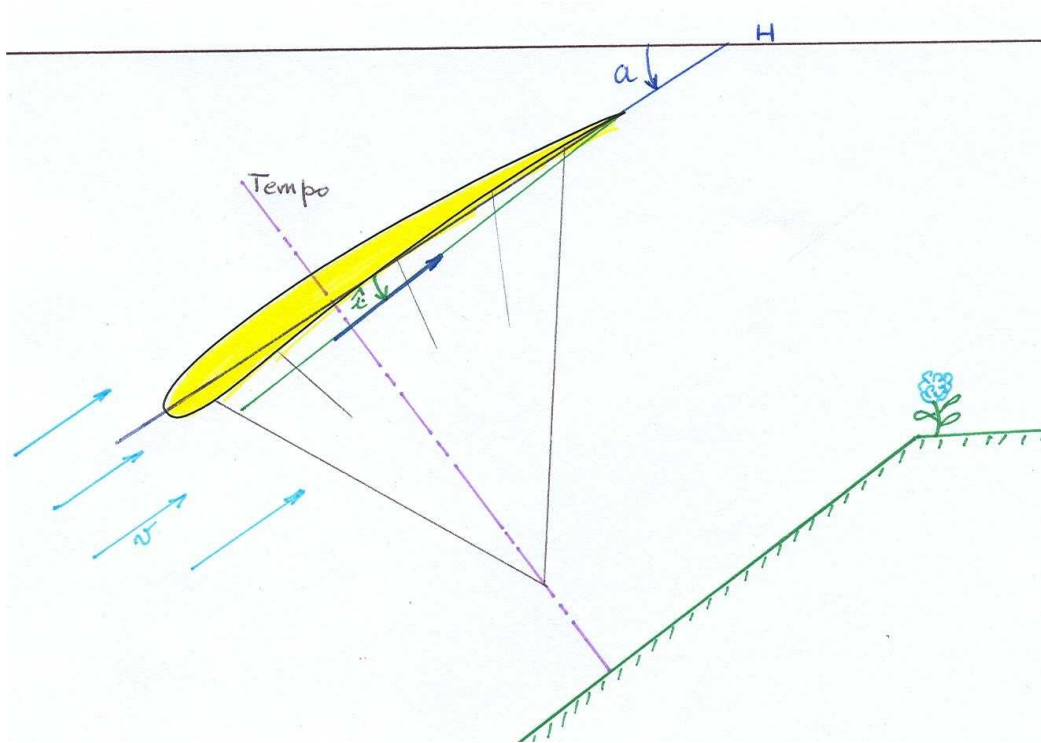


Le pilote de delta sait qu'au décollage, l'assiette varie avec la pente et qu'elle peut être très négative. Ce qui est très évident pour l'aile delta l'est moins pour l'aile du parapente, qui n'est pas dans la ligne de mire du pilote.

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.



8- Le Roulis :

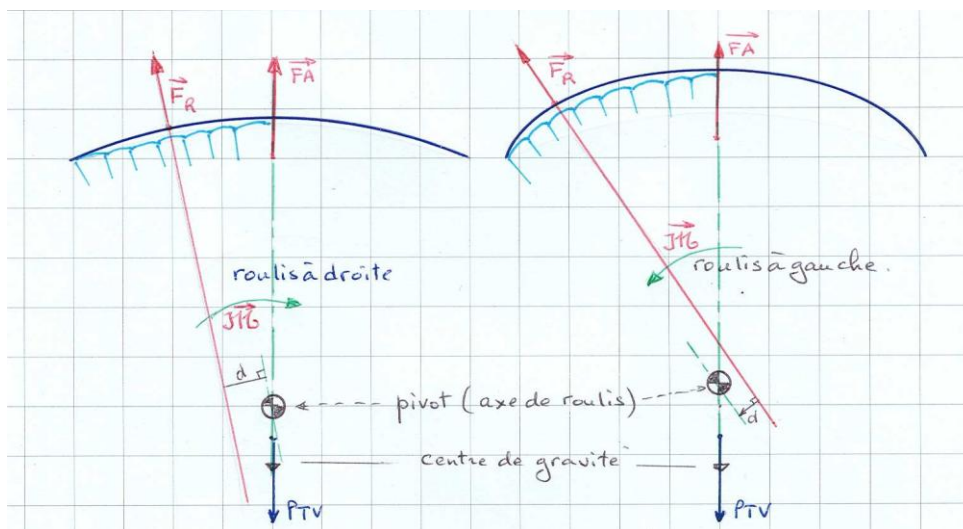
Tirer sur une commande provoque dans tous les cas, et dans un premier temps, une augmentation de la portance.

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

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

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

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



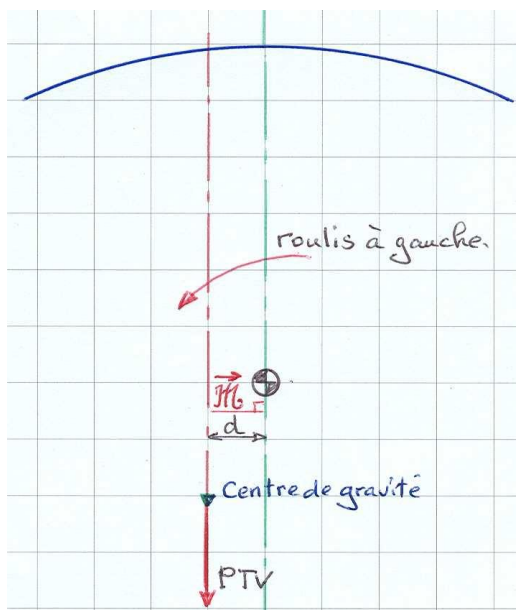
La force aérodynamique FA et le PTV s'équilibrent et ne contribuent pas au raisonnement.

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

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

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

Diagram illustrating the forces acting on a wheel (represented by a blue arc) on a horizontal surface. A vertical green line represents the axis of rotation. The point of contact with the surface is marked as the pivot (axe de roulis). The center of gravity (Centre de gravité) is indicated by a downward arrow on the axis.



Notes personnelles :

This image shows a full page of a handwriting practice worksheet. It consists of multiple sets of three horizontal dashed lines, providing a guide for letter height and placement. The lines are evenly spaced across the entire page, which is otherwise blank.

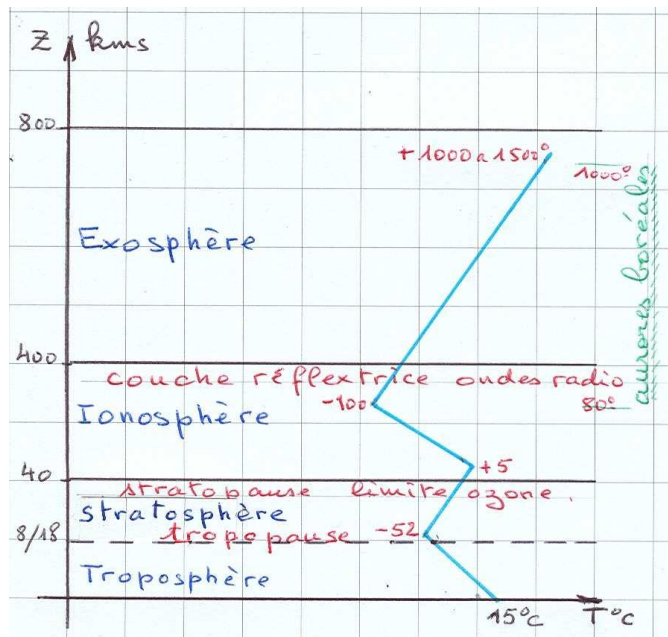
Compléments de MÉTÉOROLOGIE

Sommaire :

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

1. Les couches de l'atmosphère :

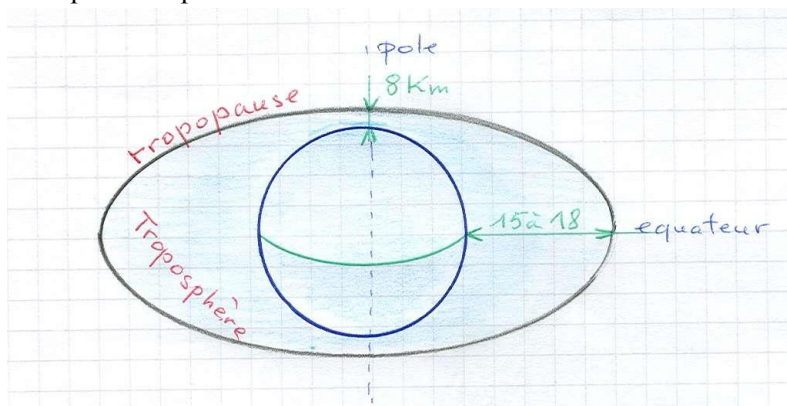
L'atmosphère entoure la Terre sur une épaisseur de 800km, plusieurs couches la composent



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

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

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

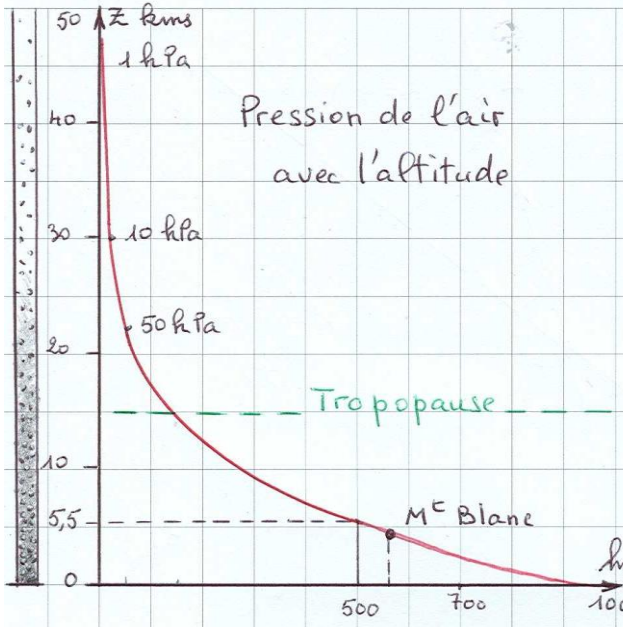


L'air est une composition de gaz et vapeur d'eau : 78% d'azote (N_2), 21% d'oxygène (O_2) des gaz rares, du dioxyde de carbone (CO_2) et de la vapeur d'eau (H_2O).

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

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

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



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

Il conviendra de retenir que la pression est divisée par 2 tous les 5,6 km.

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

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

Variation de l'effet du Soleil :

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

4. Caractéristiques de l'air:

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

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

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

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

Sahara, région centrale : Hr= 4 à 20%

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

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

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

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

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

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

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

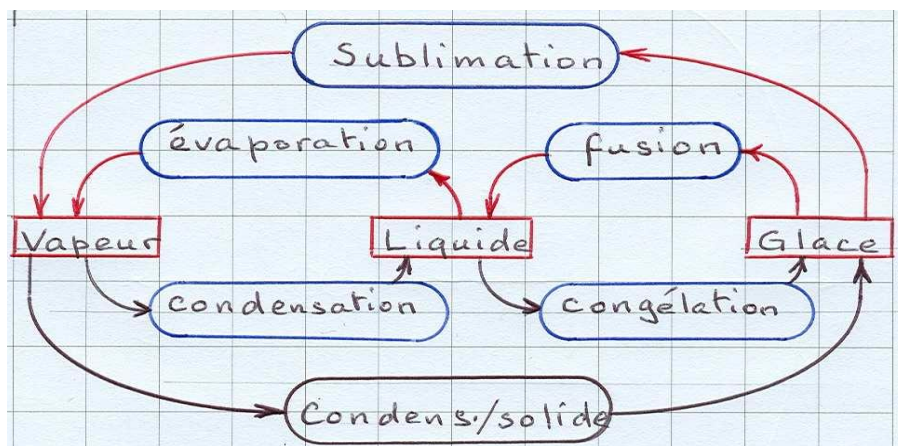
$$\frac{Pz}{P_0} = \left[\frac{Tz}{T_0} \right]^{5.255} \quad \text{où } P_0 (1.013) \text{ et } T_0 (288^\circ) \text{ sont les standards OACI, en hPa et } ^\circ\text{K}$$

z un point à une altitude z donnée.

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

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

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



7. Conséquences des Lois de la thermodynamique :

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

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

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

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

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

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

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

Nous parlerons de pseudo adiabatique, car la vapeur d'eau, à mesure qu'elle condense, fournit de la chaleur.

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

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

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

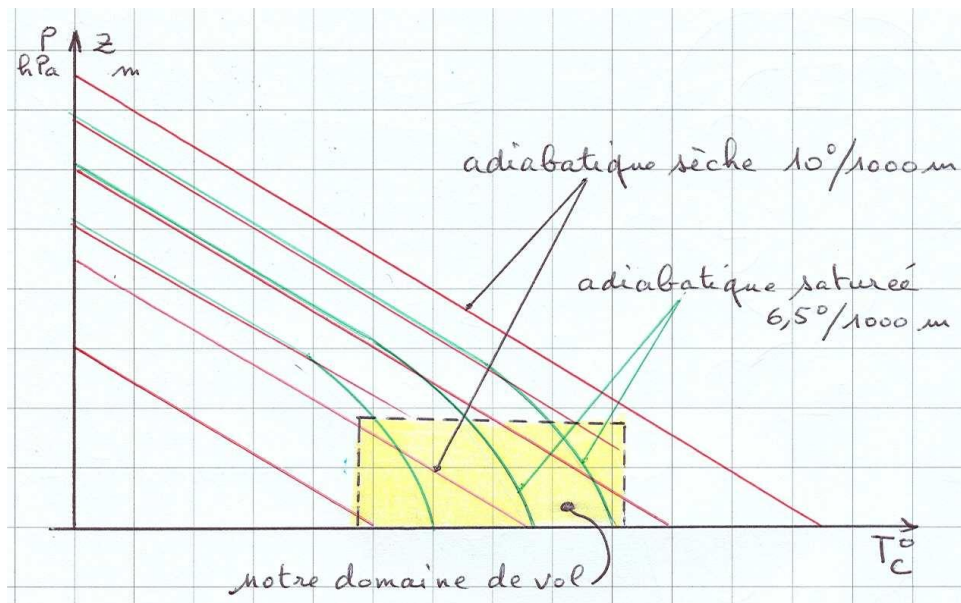
gradient de la pseudo adiabatique : $6,5^\circ\text{C} / 1.000\text{m}$ (dans notre domaine de vol)

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

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

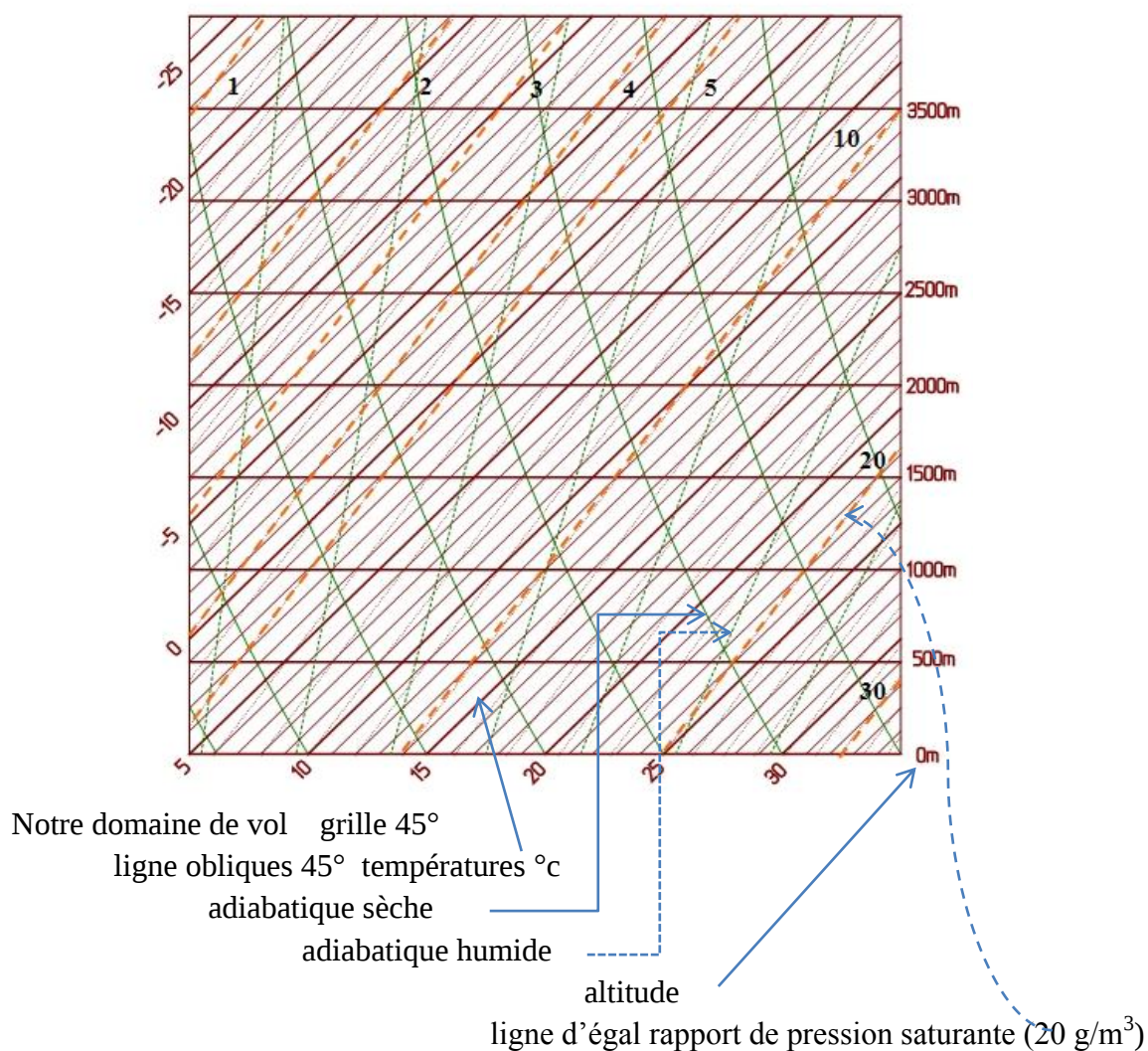
- à 1.000 hPa de pression ($z=0$) : de $-3,15\text{ °C/km}$ ($+40\text{ °C}$) à $-9,78\text{ °C/km}$ (-40 °C)
- à 500 hPa de pression ($z=5500\text{ m}$) : de $-2,55\text{ °C/km}$ ($+40\text{ °C}$) à $-9,54\text{ °C/km}$ (-40 °C).

Il va sans dire que la pression p diminue quand l'altitude z augmente...

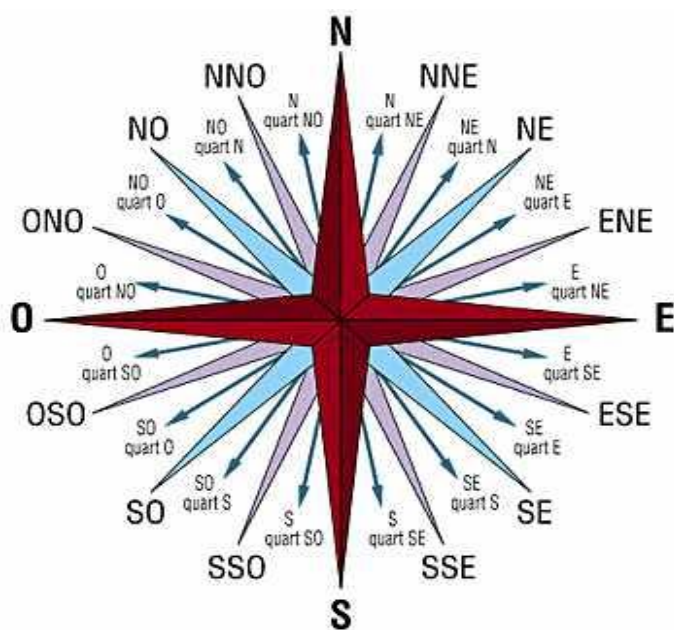


Dans notre fenêtre de vol, le gradient humide est pris à une **valeur moyenne** de $6,5\text{ °C/1.000 m}$.

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



9. direction des vents :



Notes personnelles :

Compléments de RÉGLEMENTATION / ESPACE AÉRIEN

L'ESPACE AÉRIEN Ouvertures aux cross.

Sommaire :

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

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

Etage inférieur : du sol à FL195 *

Etage supérieur : plancher FL195 / illimité au-dessus.

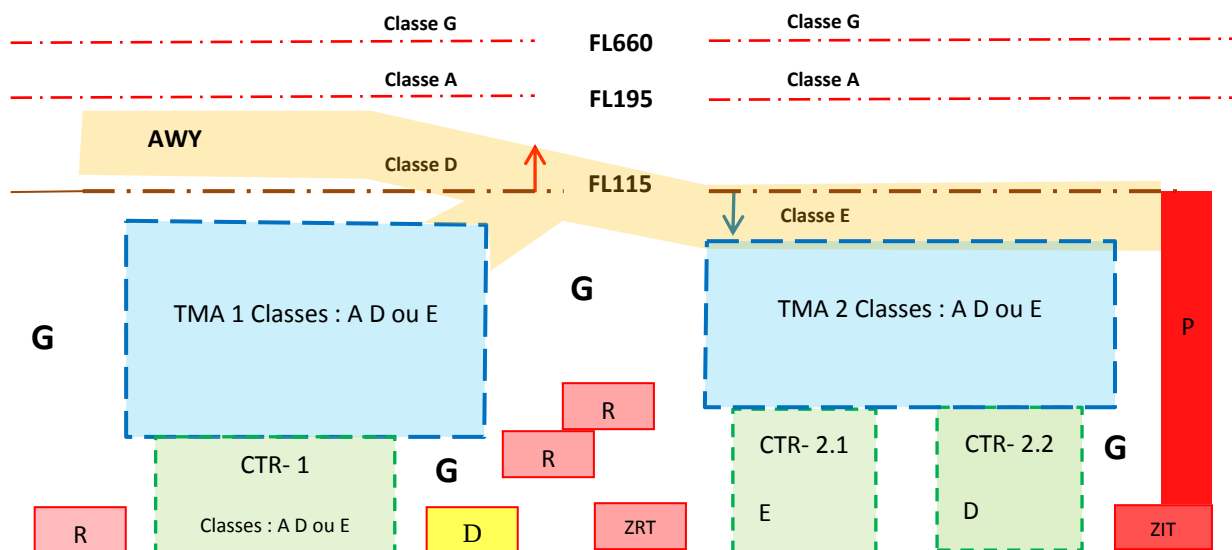
Deux niveaux sont importants à connaître, pour le vol libre :

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

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

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

Coupe simplifiée de l'espace aérien :



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

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

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

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

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

Rappel des règles VMC pour le vol libre,

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

Terminal control Area (TMA) : volumes d'espace contrôlé, couvrant un ou plusieurs CTR ou aérodromes : la TMA protège le transit, trajectoires IFR d'attente, d'arrivée, de départ. En France, les classes sont C, D ou E ... tout Paris, qui est à très fort trafic, est classe A (IFR obligatoire).

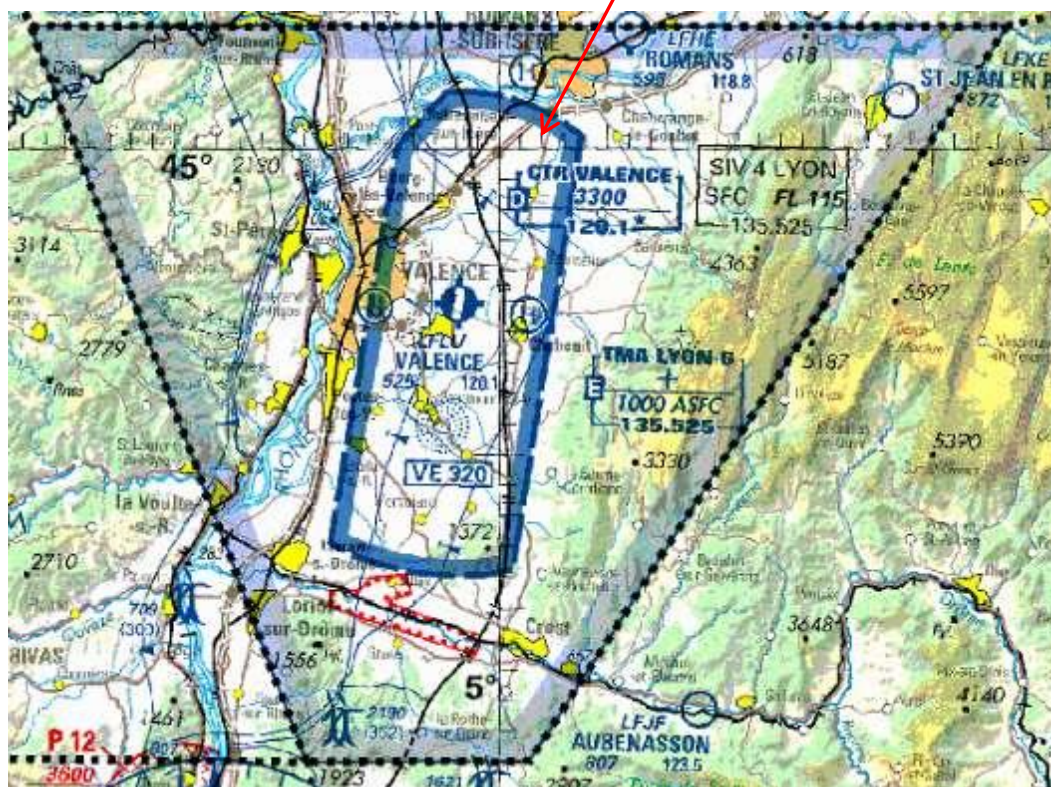
Attention, la carte aéronautique 1/500.000^{ème} n'est renseignée que jusqu'à 5000ft AMSL ou 2000ft ASFC, alors que la 1/1.000.000^{ème} est limitée à FL195.

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

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

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

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



1/1.000.000^{ème}

La CTR de Valence contrôle particulièrement l'aérodrome LFLU Valence-Chabeuil.

La TMA6-Lyon couvre l'espace environnant.

2. Les zones à statuts particuliers :

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

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

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



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

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

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

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

Centrale Nucléaire de Paluel



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

- Les zone réglementées temporaires (ZRT), ce sont des espaces aériens réservés à l'usage d'utilisateurs 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 MONTEILMAR FIR MARSEILLE Voir ENR 5.1-0 paragraphe 1.3	

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



- Les zones de parachutages.



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

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



on consulte le complément aux cartes aéronautiques et Notam

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

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

Nombre de NOTAM : 4

LFLU VALENCE CHABEUIL

✓ LFFA-D4070/12
A) LFLU VALENCE CHABEUIL
B) 2012 Oct 11 12:56 C) 2013 Apr 11 23:59
E) EN DEHORS DES HORAIRES PROGRAMMES LA CTR DE VALENCE EST SUSCEPTIBLE D'ETRE ACTIVEE SANS NOTAM DANS L'HEURE QUI SUIVRA LES HORAIRES ATS PROGRAMMES
L'ACTIVATION REELLE EST CONNUE SUR LA FREQUENCE VALENCE TOUR 120.100 MHZ

✓ LFFA-D4302/12
A) LFLU VALENCE CHABEUIL
B) 2012 Nov 08 00:00 C) 2013 May 15 23:59
E) NOTAM TRIGGER SUP AIP 174/12 EN VIGUEUR LE 08 NOVEMBRE 2012. PLAN NEIGE SAISONNIER HIVER 2012-2013. DISPONIBLE SUR WWW.SIA.AVIATION-CIVILE.GOUV.FR

✓ LFFA-D4962/12
A) LFLU VALENCE CHABEUIL
B) 2012 Dec 19 09:03 C) 2013 Jun 30 23:59
E) OBST: ARBRES SITUES A 300M AU NORD-EST DU SEUIL DE RWY 19:
HAUT: 46FT ASFC
ALT AU SOMMET: 560FT AMSL
BALISAGE: NIL

✓ LFFA-D4963/12
A) LFLU VALENCE CHABEUIL
B) 2012 Dec 19 09:12 C) 2013 Jun 30 23:59
E) PAPI RWY19 OBLIGATOIRE DE NUIT

© SIA.

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

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

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

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

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

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

Quand ASFC : référence sonde altimétrique,

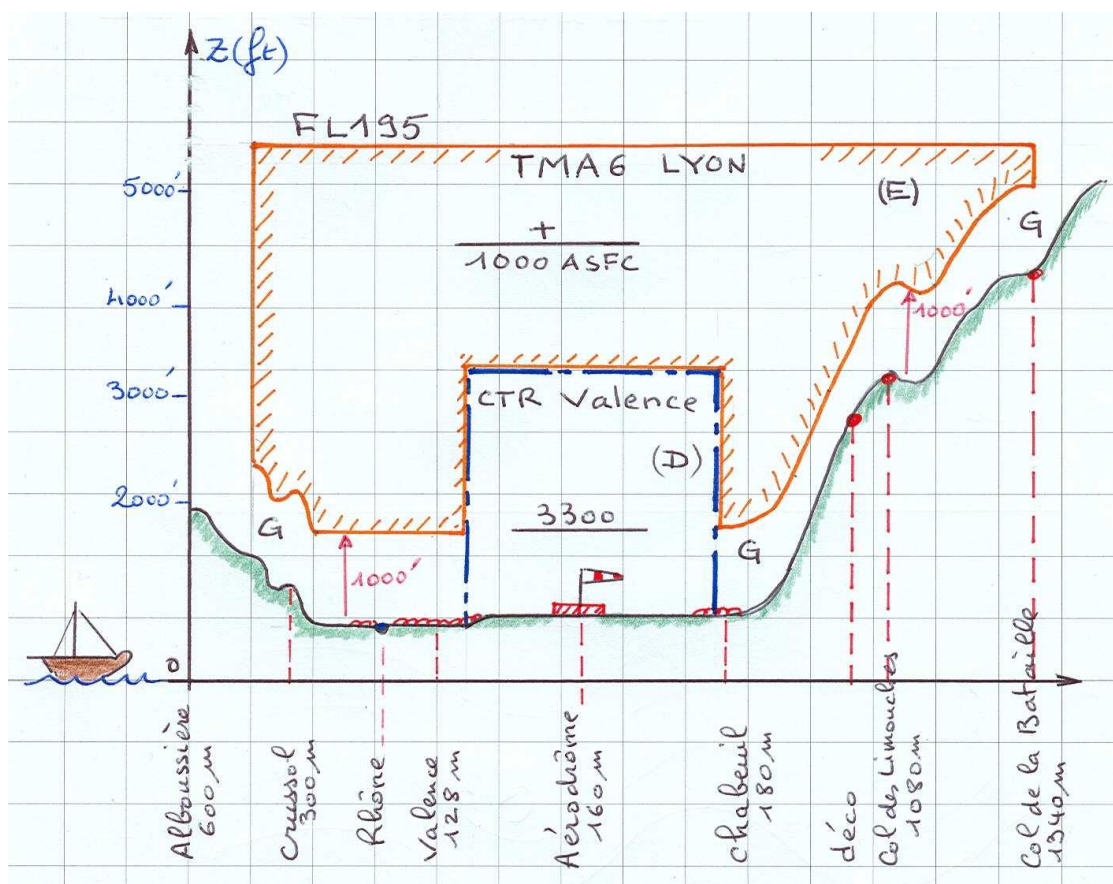
le QFE (pression au sol) ne s'exploite pas ici, il sert pour un atterrissage 0 sur l'alti

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

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

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

Coupe par un plan vertical Est-Ouest passant sur aérodrome



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

6. Les parcs nationaux et régionaux :

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

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

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

Mais retenons le principe de base :

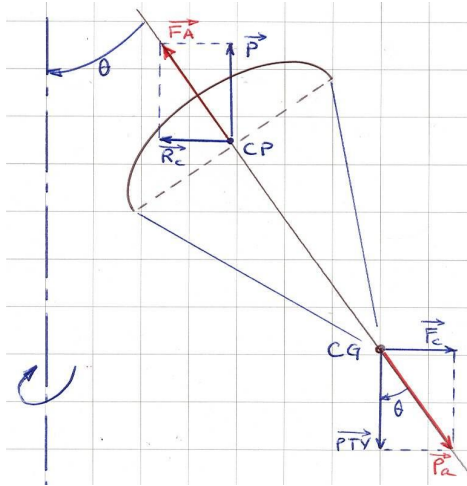
Ni déco, ni atterro, le survol à moins de 1000 m du sol (en cross, à distance minimum de 300m du relief) est interdit pour la tranquillité de la faune sauvage, à cela s'ajoute des périodes annuelles, d'interdiction totale.

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

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

Suppléments pour Mécanique du vol

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



R le rayon du virage,

θ thêta, l'angle d'inclinaison du parapente dans le virage

v la vitesse circonférentielle du point CG

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

m la masse du système $= P / g$ avec $P = PTV$

calculons le rayon de virage $f(v, \theta)$

sur la verticale apparente, $|FA| = |Pa|$; avec $Pa = P / \cos \theta = mg / \cos \theta$
 en virage équilibré : $FA + Pa = 0$ (égaux et de sens opposés) ;

calcul de $R = f(v, \theta)$ sachant que la force centrifuge $F_c = mv^2/R = Pa \cdot \sin \theta$

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

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

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

Le facteur de charge et le poids apparent :

La force centrifuge **Fc**, force d'inertie qui tend à expulser le pilote vers l'extérieur du virage (imaginons l'épreuve sportive du lancement de marteau, l'athlète tourne et donne de la vitesse au poids qui va prendre une direction tangentielle, au lâché).

La force centrifuge est contrebalancée par la force centripète **Rc**, d'origine aérodynamique.

$$|Fc| = |Rc| = mv^2/R$$

Poids apparent Pa : si θ est l'angle d'inclinaison du virage, alors $\boxed{Pa = P / \cos \theta}$

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

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

Nous savons que lorsque la charge alaire (CA) varie, la polaire des vitesses glisse le long de la ligne de finesse max, s'expande ou se rétrécit homothétiquement :

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

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

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

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

$$K = \sqrt{n}$$

Conséquences l'inclinaison dans un virage équilibré :

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

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

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

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

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

Bonus Q4 : Finesse air, finesse sol.

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

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

Finesse sol = vitesse horizontale Sol / vitesse verticale sol (avec air agité) plus réaliste.

Bonus Q5 : Règle et coefficient de proportionnalité.

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

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

Montrons que Portance P et Traînée T augmentent dans la même proportion **K** (lettre K) que la FA. Pour une même incidence la finesse f reste la même, alors la variation de PTV $\rightarrow f = \frac{\kappa \cdot P}{\kappa \cdot T}$

$$\text{en effet : } P = \frac{1}{2} \rho S v_1^2 C_z = v_1^2 \left(\frac{1}{2} \rho S C_z \right) \quad T = \frac{1}{2} \rho S v_1^2 C_x = v_1^2 \left(\frac{1}{2} \rho S C_x \right)$$

ρ , S , C_z et C_x restent constants, alors la finesse $f = \frac{P}{T}$ reste constante même si v varie de v_1 à v_2 .

Calcul du coefficient de proportionnalité K :

$FA = P + T$: les vecteurs P et T sont perpendiculaires entre eux, alors :

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

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

Pour 2 charges PTV_1 et PTV_2 différentes, nous avons respectivement : FA_1 et FA_2

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

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

On peut écrire $v_2 = v_1 * K$ où **K** représente le coefficient de proportionnalité

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

si le poids $\nearrow$ alors $K > 1$: la vitesse $\nearrow$; si le poids $\searrow$ alors $K < 1$ et donc la vitesse $\searrow$.

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

Conséquence sur la polaire : la polaire des vitesses qui glisse le long de la ligne de finesse max, s'expande ou se rétrécit homothétiquement dans un rapport $K = \sqrt{\frac{PTV_2}{PTV_1}}$, le long de cette ligne.

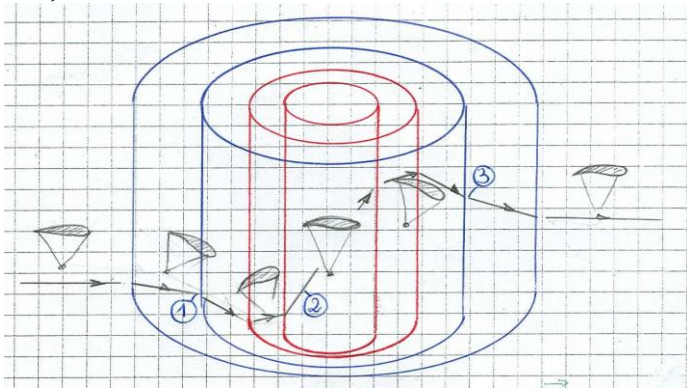
Bonus Q10 : Entrée et sortie d'un thermique.

Sommaire :

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

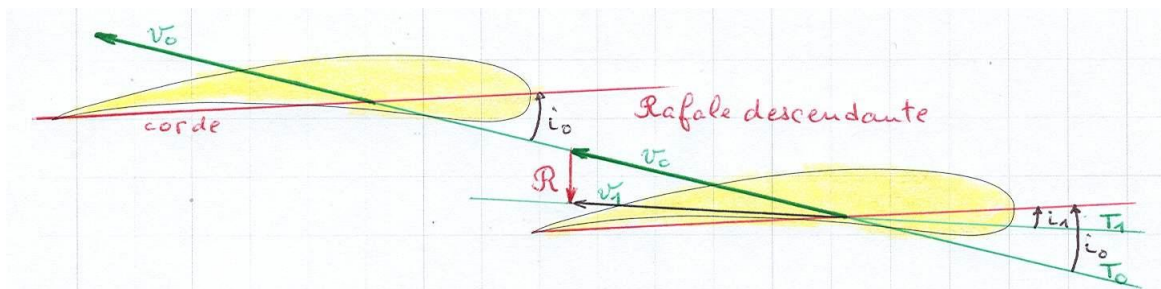
a- Les phases de traversée d'un thermique :

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



b- Entrée en périphérie descendante :

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

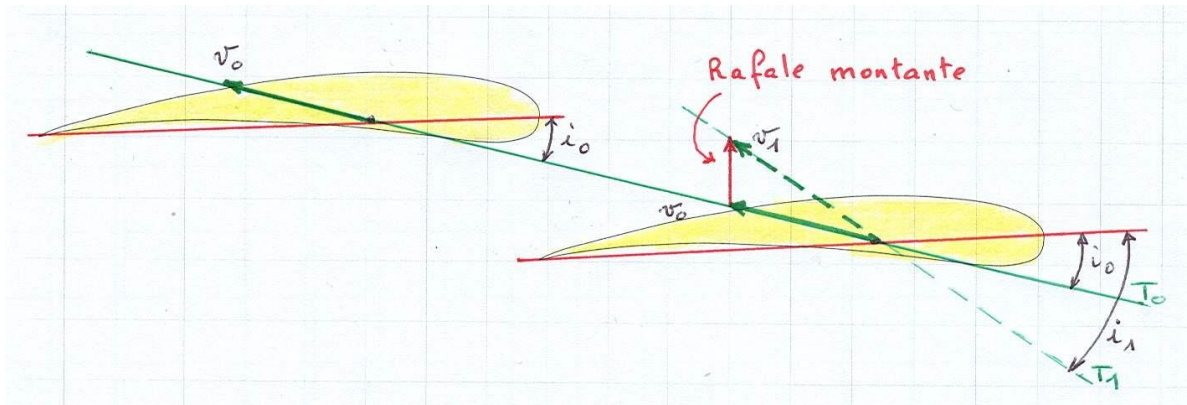


En effet, la rafale $\mathcal{R}$ descendante va transitoirement induire une nouvelle vitesse :

$v_1 < v_0$: $\hat{i}_1$ diminue, 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 va transitoirement induire une nouvelle vitesse v_1 :

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

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.

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 ($< 4/5^\circ$)

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

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

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

Attitude souhaitable :

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

Bonus Q15 : Rappel sur l'Allongement.

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

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

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

La forme générale est $A = E^2 / S$

Quelques repères, allongement à plat :

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

Bonus Q13 : Poids d'une rafale de face ou du dessus, dans le risque de fermeture.

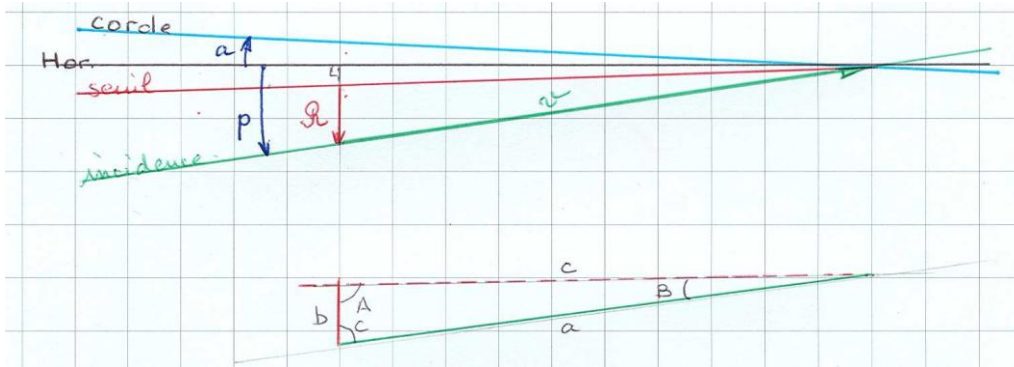
Dans les compléments, nous avons vu que la Rafale de face, efficace, implique des conditions de vol tempétueuses, le calcul dans ce cas n'a pas de sens.

La Rafale du dessus : dans le développement, **R** est le vecteur rafale et **V** le vecteur vitesse-relative.

Calcul du rapport R/V : Convention : nous choisirons des valeurs moyennes d'angle $\hat{i}$.

Finesse max (entre 8 et 10°) : $\hat{i} = 9^\circ$ sous-incidence (4 à 5°) : $\hat{i} = 5^\circ$

Intéressons-nous aux ailes modernes, d'assiette positive :



Dans le triangle extrait, **b** représente **R** et **a** le vent relatif **v**.

$$\text{Loi des sinus : } \frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C} \rightarrow B = p + a - 5 = (i - a) + a - 5 = i - 5,$$

$$A = \pi - (B + C) = \pi - [(p + a - 5) + (\frac{\pi}{2} - p)],$$

$$A = \frac{\pi}{2} - (a - 5),$$

Réécrivons plus précisément l'équation qui va nous donner **R/V** : **le seuil est pris à 5°**

$$\frac{V}{\sin A} = \frac{R}{\sin B} \rightarrow \boxed{\frac{R}{V} = \frac{\sin(i-5)}{\cos(a-5)}} \text{ or } \hat{a} = \hat{i} - p \rightarrow \frac{R}{V} = \frac{\sin(i-5)}{\cos[(i-5) - \text{Arc tan} \frac{1}{f}]}$$

Faisons le calcul pour différentes ailes, en considérant leurs **finesses max** et $\hat{i} = 9^\circ$

$\hat{i} = 9^\circ$	$f = 6,3$	$f = 7,5$	$f = 8,5$	$f = 9$	$f = 9,5$	$f = 10$	$f = 11$	$f = 13$
p	9,02°	7,6°	6,71°	6,34	6,00°	5,71°	5,19°	4,39°
$\hat{a}$	0°	1,4°	2,3°	2,35°	3°	3,3°	3,8°	4,6°
R/V	0,0700	0,0699	0,0698	0,0698	0,0698	0,0698	0,0698	0,0697

Ainsi, la contribution de $\text{Arc tan} \frac{1}{f}$, donc de la finesse, est négligeable compte tenu des arcs traités :

$$\boxed{R/V \approx \tan(\hat{i} - 5)}$$

En rafale de dessus, le rapport $\mathcal{R} / V$ est principalement lié à l'incidence

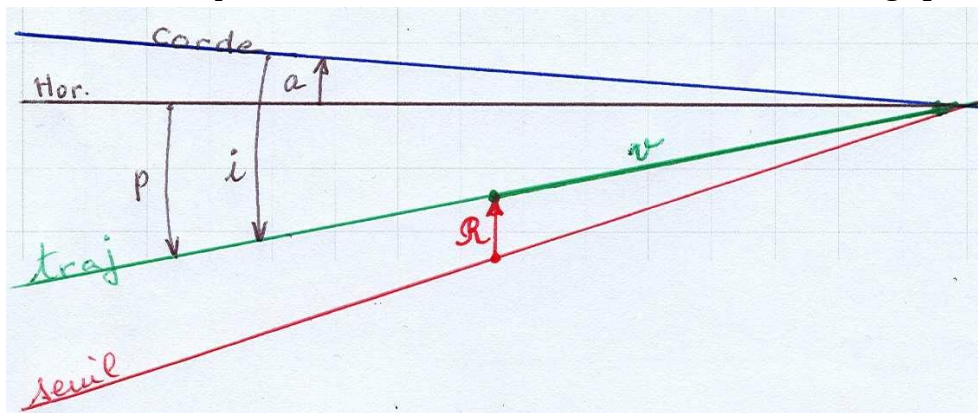
En incidence $\hat{\mathbf{i}} = 9^\circ$, une Rafale descendante supérieure ou égale à 7% du vent relatif, est suffisante pour conduire à la fermeture. Pour $\hat{\mathbf{i}} \sim 14^\circ$, il faudrait que la rafale soit de 16% du vent relatif.

	$\iota = 8^\circ$	$\iota = 9^\circ$	$\iota = 10^\circ$	$\iota = 12^\circ$	$\iota = 14^\circ$	$\iota = 16^\circ$
$(\mathcal{R} / V) \%$	5 %	7%	9%	12%	16%	19%
Si $V_r = 10\text{m/s}$	0,5m/s	0,7m/s	0,9m/s	1,2m/s	1,6m/s	1,9m/s

Bonus Q13 + : Poids d'une rafale montante dans le risque de décrochage.

La méthode de calcul est absolument analogue à celle du risque de fermeture.

Soit le tracé mettant en place la Rafale $\mathcal{R}$ montante et le **seuil de décrochage pris à 18°**



On tire la formule générale : valable pour la rafale montante: $\rightarrow \frac{\mathcal{R}}{V} = \frac{\sin(18-i)}{\cos[18-i - \text{Arc tan} \frac{1}{f}]}$

la contribution de $p = \text{Arc tan} \frac{1}{f}$, donc de la finesse, reste négligeable compte tenu des arcs traités :

$$\mathcal{R} / V \# \tan (18 - i)$$

Sur rafale montante, le rapport $\mathcal{R} / V$ est principalement lié à l'incidence

En incidence $\hat{\mathbf{i}} = 9^\circ$, une Rafale montante supérieure ou égale à 16% du vent relatif place l'aile en sur-incidence. Pour $\hat{\mathbf{i}} \sim 14^\circ$, il suffit que la rafale soit de 7% du vent relatif.

	$\iota = 8^\circ$	$\iota = 9^\circ$	$\iota = 10^\circ$	$\iota = 12^\circ$	$\iota = 14^\circ$	$\iota = 16^\circ$
$(\mathcal{R} / V) \%$	18%	16%	14%	11%	7%	3%
Si $V_r = 10\text{m/s}$	1,8m/s	1,6m/s	1,4m/s	1,1m/s	0,7m/s	0,3m/s

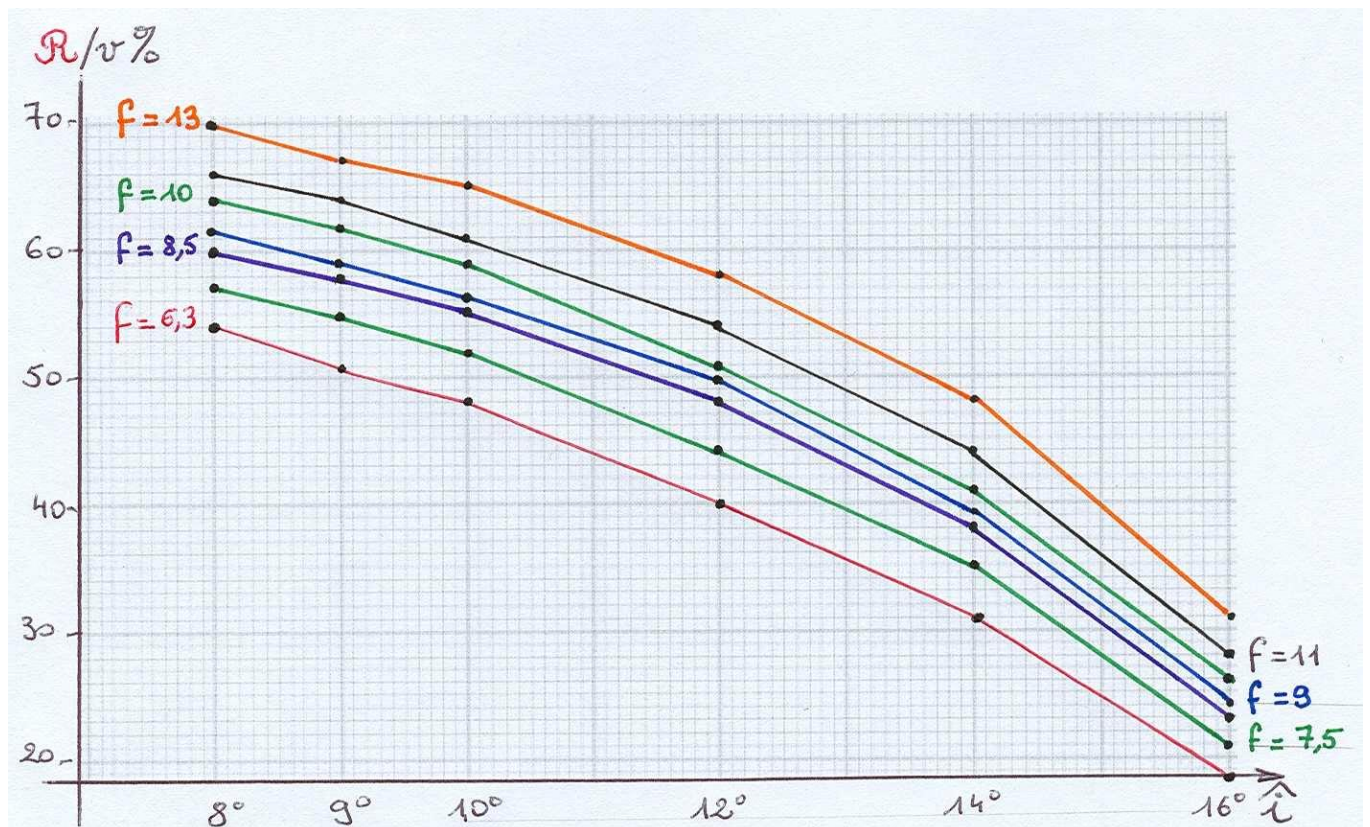
Bonus Q13 ++ : Poids d'une rafale arrière dans le risque de décrochage.

Soit le tracé mettant en place la Rafale $\mathcal{R}$ arrière et le seuil de décrochage mis à 18°



On peut établir la relation $\rightarrow \frac{\mathcal{R}}{V} = \frac{\sin(18-i)}{\sin[(18-i) + \text{Arc tan} \frac{1}{f}]}$

Calculons ce rapport sur ailes de finesse 6.3 7.5 8.5 9 10 11 13 aux incidences : 8, 9, 10, 12, 14 et 16° , on obtient :



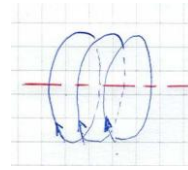
Dans le cas d'une rafale arrière, la finesse de l'aile apporte une amélioration de la tenue au risque de sur-incidence :

Exemple : $f=6.3$ à $i=10^\circ$ il faut une rafale d'amplitude 48% de la Vitesse relative,
 $f=11$ à $i=10^\circ$ il faut une rafale d'amplitude 61% de la Vitesse relative.

Suppléments pour Météorologie

Bonus Q6 : Axes rotors et rouleaux.

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



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

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

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

Bonus Q11 : définition de l'Advection et du Rayonnement.

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

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.

Suppléments pour Pilotage

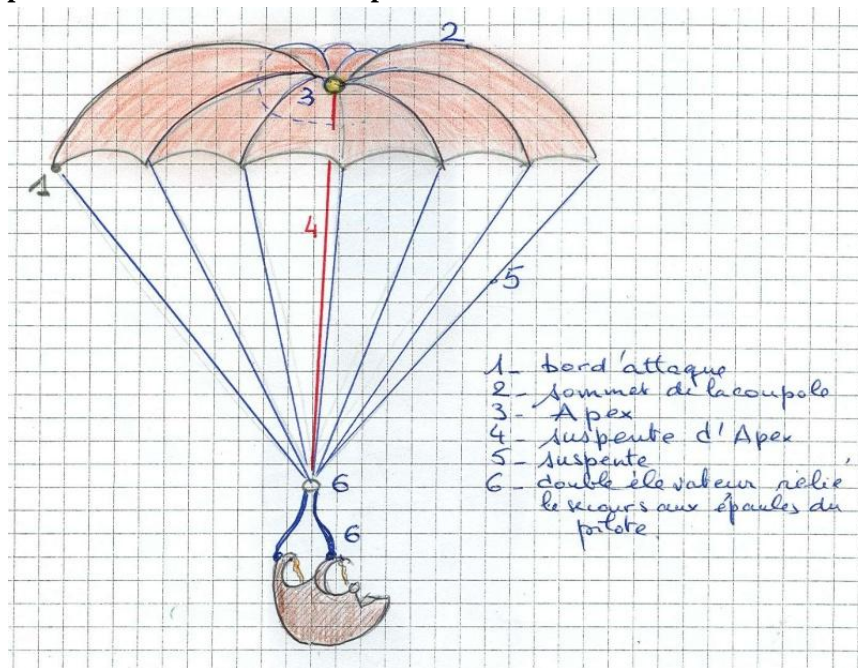
Bonus Q3 : cas d'un petit thermique

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 maîtrisant le tangage et la vitesse.

Bonus Q5 : Le parachute de secours : description



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

Bonus Q13 : Eléments de choix de la sellette.

Types de sellettes : standard ou cocon

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

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

..

Index

- 360 engagés, 53
Abattée, 21
abattre, 11
accélérateur, 54, 60, 62
adiabatique humide, 100
adiabatique saturée, 100
adiabatique sèche, 50, 100
Advection, 124
AGL, 76
aile cabre, 56, 61, 67
air instable, 38, 42
Airways (AWY), 106
allongement, 120
Allongement (grand), 25
altocumulus, 33
AMSL, 76, 111
angle de plané, 82, 83, 84
anti-g, 54
approche, 59
Arrondi, 57
ascendance, 56
ASFC, 76, 111
assiette, 56, 82
Assiette, 93
atmosphère standard, 98
atterrissage, 57
autorotation, 25
AWY, 76
base du nuage, 47, 49
brèche de Foehn, 40
Brise, 45
Brise de mer, 31, 45
Brise de pente, 46
Brise de terre, 45
Brise thermique, 31
Brises de vallée, 31, 45
brouillards d'advection, 48
brouillards de rayonnement, 48
cap à la sellette, 67
Caractéristiques de l'air, 97
Carte, 105, 111
Carte aéronautique, 73, 74, 75
Carte IGN OACI, 73
Carte VAC, 73
Cartes SIA, 73
castellanus, 33
centre de gravité, 13
centre de poussée, 13
chaotique, 35
charge Alaire, 16, 17, 18, 26
chute mini, 16
ciel de Traîne, 34, 35
cisaillement, 43
cisaillement Horizontal, 43
cisaillement Vertical, 43
classe E, 79
classe G, 79
Cocon_couché-dos, 125
compression adiabatique, 39, 100
condensation, 33, 38, 49
condensation, base du nuage, 49
confluence, 31
Congestus, 38
Convergences, 43
couche d'Inversion, 43
couches de l'atmosphère, 97
courant ascendant, 119
cravate, 55
crête, 31, 66
croisement, 31
CTR, 73, 74, 107
CumuloNimbus, 33, 37, 38, 42, 47, 48
cumulus humilis, 49
déco pentu, 63
déco peu alimenté, 65
déco peu pentu, 65
décrochage, 11, 17, 18, 22
Décrochage, 90
décrochage asymétrique, 22
Dérive, 17
descente aux B, 53
descentes rapides, 53
détente, 49
détente adiabatique, 39, 47, 100
Développement vertical, 47
directions des vents :, 102
drag-chute, 54
effet bagnard, 66
Emagramme, 47, 49, 50, 97, 99
Emagramme 45°, 102
espace aérien, 105
espace militaire, 77
espaces aériens, 69, 74
extrados, 24
FA, 56, 117
fermeture, 27
fermeture asymétrique, 19
Fermeture en parapente, 85

Fermeture frontale, 21
 fermeture latérale, 55
 fermeture massive, 21
 Finale, 13
 Finesse, 14, 15, 16, 26, 117
 finesse air, 14, 15, 62
 finesse max, 13, 16, 27
 finesse sol, 12, 14, 15
 FL, 76, 111
 FL115, 105, 106
 FL195, 105, 106
 Foehn, 39, 40, 41
 force, 13
 force centrifuge, 13, 54
 force centripète, 13
 forces, 81
 Front chaud, 33, 36, 37
 Front froid, 34, 36, 37
 goupille, 58
 GPS, 68
 gradient, 57
 gradient dans thermique, 20
 gradient de vent à l'atterrissage, 11
 gradient du vent, 11
 Gradients adiabatiques, 97
 grandes oreilles, 67
 huit, 66
 Humidité relative, 98
 IFR, 79
 impulsion, 65
 incidence, 20, 56, 82
 inclinaison, 115
 information aéronautique, 73
 instabilité (réglage sellette), 70
 instabilité de l'air, 33, 35, 37, 47, 49, 50
 instable (aérodynamique), 50
 intrados, 24
 lenticulaires, 40, 42
 lest, 26
 lester, 26, 27
 maniable (l'aile sera moins), 17
 maniable (l'aile sera plus), 16
 masse d'air, 47
 masse sous le vent, turbulente, 40
 masses d'air (Front), 34
[MECAVOL \(rappels\)](#), 81
[Mécavol \(suppléments\)](#), 115
[MÉTÉO \(compléments\)](#), 97
[Météo \(suppléments\)](#), 124
 montagne, 33
 mouvement pendulaire, 56
 neutralité spirale, 54
 NimboStratus, 37, 42
 niveaux de vol, 76
 Norme (réglage sellette), 70
 NOTAM, 73, 105, 111
 nuages, 41
 nuages particuliers Cb Ns, Lenticulaires, 41
 nuelle, 49
 oreilles, 28, 53
 oreilles accélérées, 53
 parachute de secours, 58, 125
 Paramètres de l'air, 98
 parcs nationaux et régionaux, 105, 113
 particule d'air, 50
 pendulaire, 56
 perte de connaissance, 54
 perturbation, 36
 Phénomène transitoire, 56
 pieds (ft), 76
[Pilotage \(suppléments\)](#), 125
 plané équilibré, 15
 POD, 58
 Poids apparent, 13
 poignée d'extraction, 58
 Polaire, 16
 Polaire des vitesses, 13, 16
 Portance, 11, 14
 préparez le vol, 78
 Pression atmosphérique, 97, 98
 prise de vitesse, 12, 57
 pseudo-adiabatique, 100
 PTU, 59
 QFE, 111
 QNH, 111
 Rafale de dessus, 19
 Rafale de face, 87
 Rafale de vent de face, 19
 Rafale descendante, 88, 91, 118
 Rafale descendante $\hat{i}$, 21
 Rafale efficace, 86, 88
 Rafale montante, 20, 56
 Rayonnement, 124
 références altimétriques, 76
[RÈGLEMENTATION / ESPACE AÉRIEN \(compléments\)](#), 105
 réglementation aérienne, 78
 règles VMC, 106
 Rose des vents détaillées, 97
 rotors et rouleaux, 124
 RTBA, 77
 sellette, 70
 SFC, 111
 SIA, 73
 site nouveau, 73
 sous-incidence, 21, 23
 sous-ondulatoire, 41
 SUP AIP, 73

sur-incidence, 22, 23, 24
 système nuageux, 36
 Système ondulatoire, 40
 taux de chute mini, 17, 18
 temporisation, 63, 64
 thermique, 20, 56, 60, 66, 118
 TMA, 74, 76, 106, 107
 Traîne, 36
 traine derrière le Front froid, 37
 Trainée, 14
 trajectoire, 56
 trajectoire nouvelle, 19
 trajectoire sol, 17
 transitions, 60
 Trim, 60, 61
 tropopause, 38, 41, 97
 troposphère, 41, 97
 trou de Foehn, 40
 tumbling, 85, 120
 turbulences, 13, 17
 vallées, 31
 variomètre, 68
 vecteurs, 81, 82
 vent météo, 31
 vent relatif, 19
 vent soutenu, 63
 VFR, 79
 virage équilibré, 13, 115
 vitesse, 13
 vitesse max, 17, 18
 Vitesse sol, 69
 Vitesse, rayon et poids apparent, 115
 voile noir, 54
 vol équilibré rectiligne, 82
 vol de distance, 73
 vol IFR, 106
 vol turbulent, 19
 volumes, 73, 74, 107, 108
 zone active, 77
 zone inactive, 77
 zones à statuts particuliers, 105, 108

Remerciements :

Didier DOMERGUE

Moniteur fédéral deltaplane et parapente DTE club-école 'les Migrateurs'

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

à Danielle.

Mai 2014