

Fig 2.19 Schéma du système de brises thermiques dans la Cordillère des Andes en début d'après midi.

Fig 2.20 Front de confluence sur la plaine du Pô, avril 1994, orienté N-SW, se déplaçant lentement vers le SE par vent de NW. La limite de l'ascendance est env. 2.000 m. Aujourd'hui, cet espace aérien est limité à 600 m MSL.





Fig. 4.1.2 Les fonctionnements possibles de la pyramide à trois pentes de l'aiguille de Scolette.
 A= Versant Nord, siège possible d'ascendance dynamique
 B= Versant Ouest, siège d'ascendance thermodynamique
 C= Versant Sud, siège d'ascendances thermiques et dynamique

4.2 La limite d'autorité de la commande de gauchissement.

Petit rappel : l'autorité, ou l'efficacité de la commande de gauchissement est la vitesse de rotation de l'aéronef autour de l'axe de roulis. Elle est directement liée à la conception des ailerons et elle augmente avec la vitesse. En pratique, les

essais en vol mesurent le temps nécessaire pour passer de 45° d'un côté à 45° de l'autre. Les meilleures valeurs sont de l'ordre de quatre secondes pour un planeur de 15 m vide (non acrobatique), de l'ordre de cinq secondes pour un planeur de 18 m ; elles peuvent aller jusqu'à huit secondes pour un planeur de classe libre d'avant dernière génération (ASW22, ASH25, Nimbus 4, EB28). Ces valeurs doivent être augmentées lorsque les ballasts sont pleins à cause de l'inertie, qui fait doubler, voire tripler, la masse des ailes et donc la portance, alors que la variation de portance produite par les ailerons n'a pas changé. Nous n'avons pas encore de mesures précises concernant les machines de dernière génération dont les ailes emportent une masse supérieure à la masse à vide du planeur ! Par exemple, nous avons mesuré quatre secondes pour une rotation de 90° avec le Quintus ainsi que l'Antarès 23, tous deux à vide à la masse de 500 kg. Ces deux machines peuvent charger jusqu'à 350 kg de water-ballast, ce qui signifie que chaque aile verra sa masse tripler !

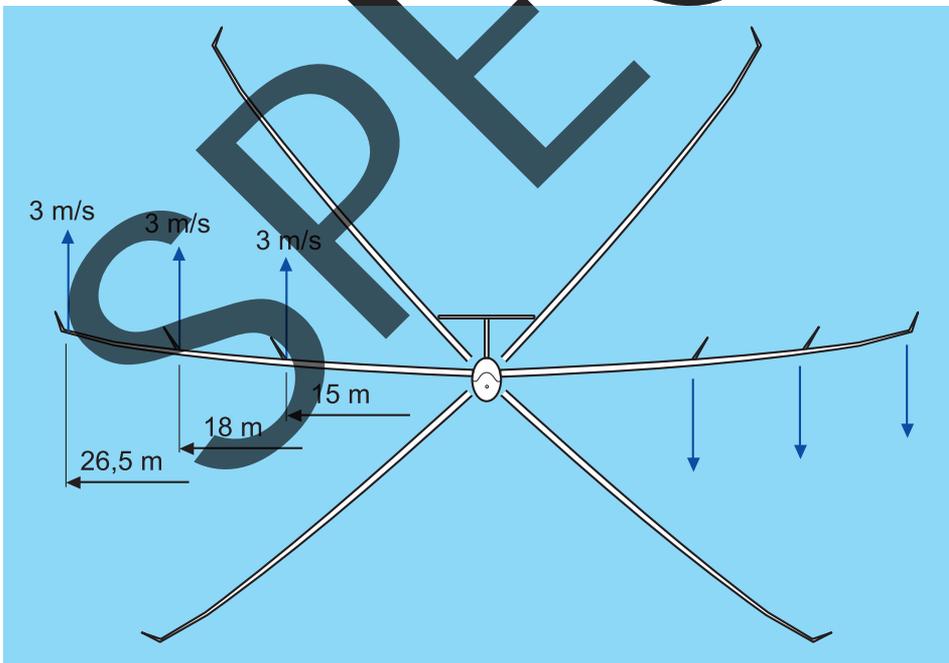


Fig.4.2.1 Schema du principe de l'autorité de la commande de gauchissement

Prenons l'exemple d'un planeur de 18 m qui bascule de ±45° en 4,7 secondes. La vitesse périphérique de rotation en bout d'aile sera donc égale à $(18 \times \pi) / (4 \times 4,7) = 3 \text{ m/s}$.

Le même calcul appliqué au Nimbus 4D de 26,5 m d'envergure qui bascule de ±45° en 7 secondes donne également une vitesse périphérique de 3 m/s en bout d'aile.

En récapitulant pour différentes machines (sans ballast):

Envergure	Temps pour ±45°	Vz en bout d'aile
15 m	4 s	3 m/s
18 m	4,7 s	3 m/s
20 m	5 s	3,1 m/s
26,5 m	7 s	3 m/s
30 m	8 s	3 m/s

est (K).

Cet indice (K) est simplement une indication de la force requise pour obtenir un certain déplacement en compression ou en traction.

Plus le ressort est rigide et plus il oscillera rapidement.

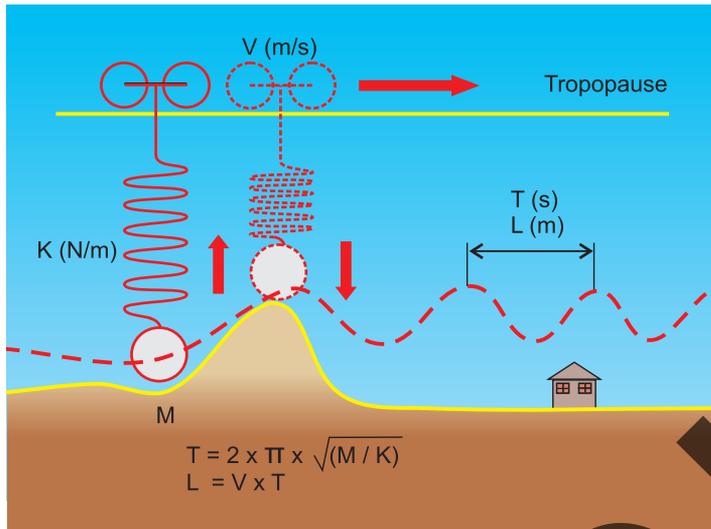


Fig. 5.2.3 similitude mécanique avec une onde de ressaut positive
V = vitesse de déplacement de la masse d'air, à peu près celle du vent
M = masse accrochée au ressort, densité de la particule d'air, fonction de sa température
K = raideur du ressort, c'est-à-dire indice de stabilité de la masse d'air
T = période, temps séparant deux pics, à l'exclusion du premier.
L = longueur d'onde, distance séparant deux pics, à l'exclusion du premier.

La similitude entre le mouvement que va décrire notre boule et une particule d'air sautant une montagne, est donc évidente si le franchissement de l'obstacle est suffisamment rapide. La période de l'oscillation est celle définie en fig. 5.2.4. Ce qui veut dire (et cela tout le monde le sait) que plus la masse est élevée ou plus le ressort est mou, plus la période sera longue, donc plus l'oscillation sera lente, et inversement.

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$$

5.2.4 Période d'oscillation d'une masse *M* pendue au bout d'un ressort de raideur *K*

Mais comment pouvons-nous calculer les paramètres atmosphériques équivalents à la masse et à la raideur de notre res-

sort ? C'est là où interviennent Lyra et Queney qui assimilent la raideur à la stabilité relative, c'est-à-dire la différence entre le gradient de température réelle et l'adiabatique.

La formule de Lyra et Queney 5.2.5 pour le calcul de la période d'une onde d'atmosphérique est donc, dans laquelle :

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{1}{g} \cdot \frac{\Theta}{(\gamma^* - \gamma)}}$$

5.2.5 Période d'oscillation d'une particule d'air, selon Lyra et Queney.

- Θ est la température absolue (° Kelvin, soit °C+273)
- g est l'accélération de la gravité (9,81 m.s⁻²)
- γ^* est le gradient adiabatique, environ 0,01°/m
- γ est le gradient effectif de la masse d'air, entre 0,005 et 0,007°/m environ, selon le sondage du jour.

Nous retrouvons là les mêmes termes de l'équation différentielle 5.2.2.

Prenons l'exemple du vol du 21 mars 1999 (détails plus loin), nous sommes à 4.200 m à la température de -11°C (262°K), le gradient adiabatique est de 1°C par 100 m (0,01°/m) et le gradient réel est de 0,65° par 100 m (0,0065°/m).

Le calcul donne une période d'oscillation de 548 secondes soit 9 minutes et 8 secondes. Nous avons mesuré ce jour-là 9 min. 56 s. sur la première période.

La longueur de l'onde est le produit du temps écoulé (la période) par la vitesse de déplacement, la formule étant L (m) = T (secondes) x V (m/s). Dans l'exemple précédent, la vitesse du vent mesurée par le calculateur de bord était de 67 km/h soit 18,6 m/s donnant une longueur d'onde de 10,2 km, contre 9,6 km mesurés. La correspondance est donc excellente.

Tous les cas particuliers d'ondes, à l'exception du saut hydraulique, peuvent être ramenés à cette situation, nous les étudierons plus tard.

Certains ouvrages de vulgarisation proposent une formule simplifiée dans laquelle la longueur d'onde serait directement proportionnelle à la vitesse du vent, en négligeant les facteurs de température absolue et la différence des gradients de température (l'équivalent de la raideur de notre ressort).



6. Les ondes atypiques

Nous avons, dans les deux cas, vérifié l'existence des ondes de sillage correspondant aux calculs théoriques et aux observations sur les photos satellites. Certes, ces ondes ne sont pas violentes, elles ne permettent pas de s'arrêter pour monter rapidement, si ce n'est pour gagner quelques centaines de mètres.

Elles permettent parfois de cheminer (assez lentement toutefois) si les vagues sont bien formées. Il est important de savoir les identifier et les exploiter pour plusieurs raisons :

- si le pilote souhaite passer au vent du volcan, la route énergétique la meilleure est celle qui le fait passer d'une onde à l'autre, en remontant la génératrice du cône de sillage, dont l'angle est de l'ordre de 20° (enveloppe interne) à 30° (enveloppe externe). Quand cette route est matérialisée (photo 6.5.8), il suffit alors de sauter d'un rotor à l'autre. Sinon, il faut voler en observant le variomètre « netto », en faisant des « zigzags » le long de la route supposée idéale. Le cône de turbulence de sillage est habituellement « mort », inutile d'aller y chercher d'hypothétiques ressauts. L'approche sous le vent du volcan Lanin se fera pratiquement sans perdre d'altitude en appliquant la méthode d'approche diagonale décrite ci-dessus, en sautant sur les vagues situées sur le bord du sillage, matérialisées par des cumulus rotors ; la trajectoire étant convergente vers le cône.



6.5.8 Sillage matérialisé du volcan Lanin. Le cône de turbulence est dépourvu de tout nuage, sur les bords, des cumulus matérialisent les « vagues » du sillage, leurs bords d'attaque sont inclinés symétriquement (miroir) par rapport à l'axe du cône. Les V_z sont faibles (de l'ordre du m/s), mais permettent de cheminer vers le volcan sans perdre d'altitude.

- Si le pilote doit traverser le cône de sillage sous le vent du volcan parce que sa route le lui impose, il devra chercher la « vague » de sillage la plus proche de sa route, en visualisant l'angle par rapport au volcan et au vent (20° à 30°), ce qui requiert une observation attentive des caps, de la route et des relèvements. Le « netto » n'étant jamais à zéro, il lui faudra choisir de se décaler le long de la génératrice du cône à la recherche du meilleur « netto », généralement vent arrière, puis reprendre immédiatement une route convergente au vent d'environ 45° à 60° , ce qui est l'angle des « vagues » par rapport au vent. Il devra se souvenir que ces vagues sont d'autant plus longues qu'elles sont éloignées du volcan, mais que la traversée du cône de sillage sera elle aussi d'autant plus longue. Le volcan Lanin se comporte de façon identique à ceux des Îles Crozet. A une distance de 100 km du sommet, le cône de sillage fait au moins 30 km de long et les vagues sont inclinées d'env. 45° par rapport à l'axe. Voir schéma fig. 6.5.9. Il faut s'entraîner à cet exercice les jours de grand bleu, lorsque l'on n'est pas stressé par le chronomètre. J'ai eu personnellement de très agréables surprises et ai pu clore en toute tranquillité mon badge de 1.500 km en exploitant ce phénomène en ciel clair sur la dernière branche.

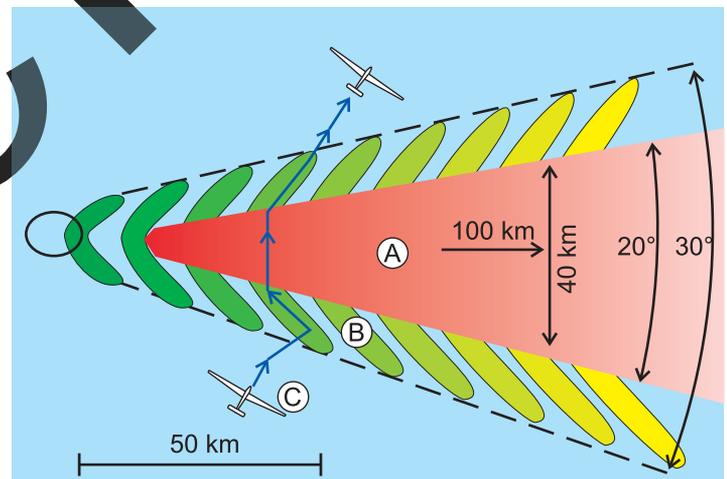


Fig. 6.5.9 schéma de l'onde de sillage, et cheminement pour traverser le cône de turbulence, vent 30 à 50 kt :

A : cône de turbulence de sillage, aucune ascendance organisée

B : vagues latérales

C : cheminement idéal d'un planeur devant traverser le sillage d'un pic isolé. Recherche du meilleur variomètre netto en partant vent $3/4$ arrière, virage de 90° pour revenir « surfer » la vague, une fois dans le cône, le traverser rapidement par le chemin le plus court possible, rechercher la vague de l'autre côté et recommencer le même procédé.

La caractéristique particulière la plus étonnante de ces pics isolés est la présence d'une forte ascendance de convergence qui renforce l'onde de ressaut, située au pied du cône, elle

7. Le saut hydraulique (saut

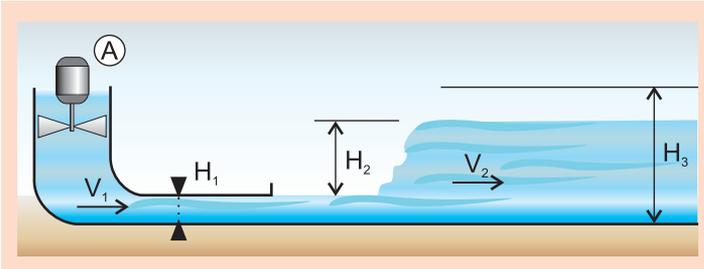


Fig. 7.1.3a Canal de sortie d'une turbine hydraulique (A). La vitesse V_1 est env. 10 fois plus grande que celle du canal de sortie à l'air libre, qui peut aussi être le lit de la rivière. Il faudra concevoir des berges suffisamment hautes (H_3) pour contenir la nouvelle hauteur (H_2) de l'eau. On pourra éventuellement surfer sur la crête de la vague.

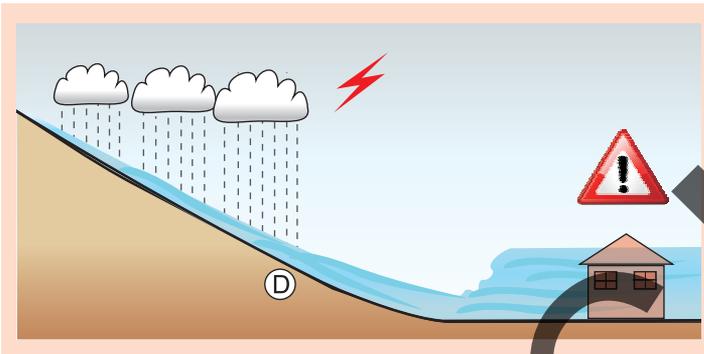


Fig. 7.1.3b L'homme a bétonné les torrents et ruisseaux des collines. Lors de fortes pluies, l'eau descend à grande vitesse et faible épaisseur dans les caniveaux (D), puis doit ralentir en arrivant dans la plaine. Le niveau monte brusquement de plusieurs mètres, les dégâts sont catastrophiques.

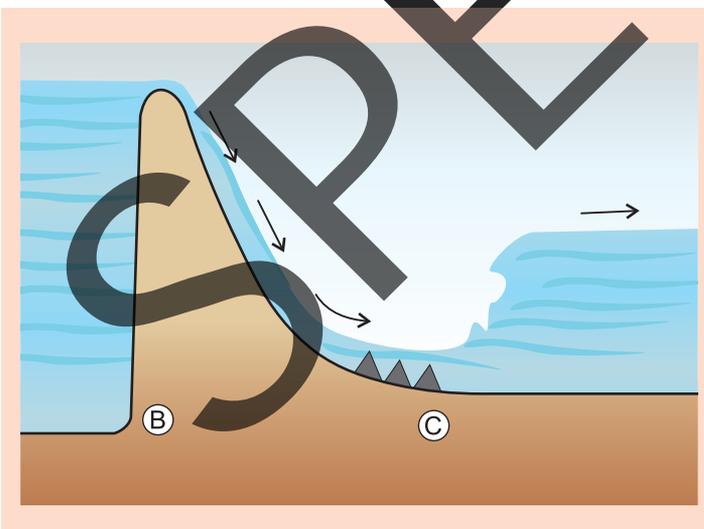


Fig. 7.1.3c Afin d'éviter le danger précédent lors de débordements sur les tremplins des barrages (B), on a volontairement construit des ralentisseurs (C). Le flux à basse vitesse et haut niveau pourra être facilement repris et canalisé en sécurité. La basse vitesse réduira également l'érosion des berges et des canaux.

7.2 Introduction à Froude et à la météorologie des montagnes.

À la même époque (1840 – 1860), l'architecte naval britannique William Froude observe, en tirant un bateau avec un cheval, qu'il existe une vitesse au-delà de laquelle l'écoulement change radicalement. Il construisit alors un laboratoire dans lequel il étudia le comportement de modèles de navires remorqués et découvrit que les phénomènes restaient semblables lorsque la vitesse du navire variait comme la racine carrée de sa longueur. Il définit ainsi le rapport entre la longueur de la carène et la vitesse maximum du bateau.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot h}}$$

Il définit ainsi un nombre caractéristique dans lequel v = vitesse de l'écoulement, g = accélération de la pesanteur et h = longueur caractéristique ou hauteur de l'eau dans le canal.

Pour mémoire le terme $C = \sqrt{g \cdot h}$ exprime la vitesse de propagation des ondes en eau peu profonde.

Si l'on compare cette formule à celle de Bernoulli, $v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$ on voit que le nombre de Froude ne serait autre que le rapport entre l'énergie cinétique et l'énergie potentielle gravitationnelle, en mettant de côté le coefficient $(2)^{1/2}$ soit 1,4.

Lorsque les deux énergies sont identiques, ce nombre devient égal à 1 et il devient la limite entre deux types d'écoulement. Je cite⁴ :

- « $Fr > 1$: régime torrentiel, avec une faible hauteur d'eau et une forte vitesse (équivalent d'un régime supersonique). Dans ce régime, le fluide est «tiré» par les forces qui le meuvent (la gravité le plus souvent), sans que la masse de fluide en aval soit une gêne.
- $Fr < 1$: régime fluvial, avec une forte hauteur d'eau et une faible vitesse (équivalent d'un écoulement subsonique). Ce régime est «piloté par l'aval» : le comportement des particules en mouvement est contraint par celles qui les précèdent.

La transition du régime torrentiel au régime fluvial provoque un ressaut hydraulique où la hauteur d'eau s'accroît brusquement. »

En termes simples, lorsqu'un fluide, quel qu'il soit, de l'eau, de l'air ou par exemple des véhicules automobiles sur une autoroute, arrive à une vitesse supérieure à celle que peut accepter le canal ou l'autoroute, il faudra bien que tout cela ralentisse, et si le fluide est incompressible, que les particules s'empilent les unes au-dessus des autres, ce qui, sur l'autoroute, conduira aux terribles carambolages que l'on connaît.

Dans l'atmosphère, la situation est infiniment plus com-



Fig. 7.4.10a L'extension du nuage du saut hydraulique est sans rapport avec celle des ressauts classiques, dont le bord d'attaque est très en retrait, une dizaine de kilomètres, par rapport au front du saut.

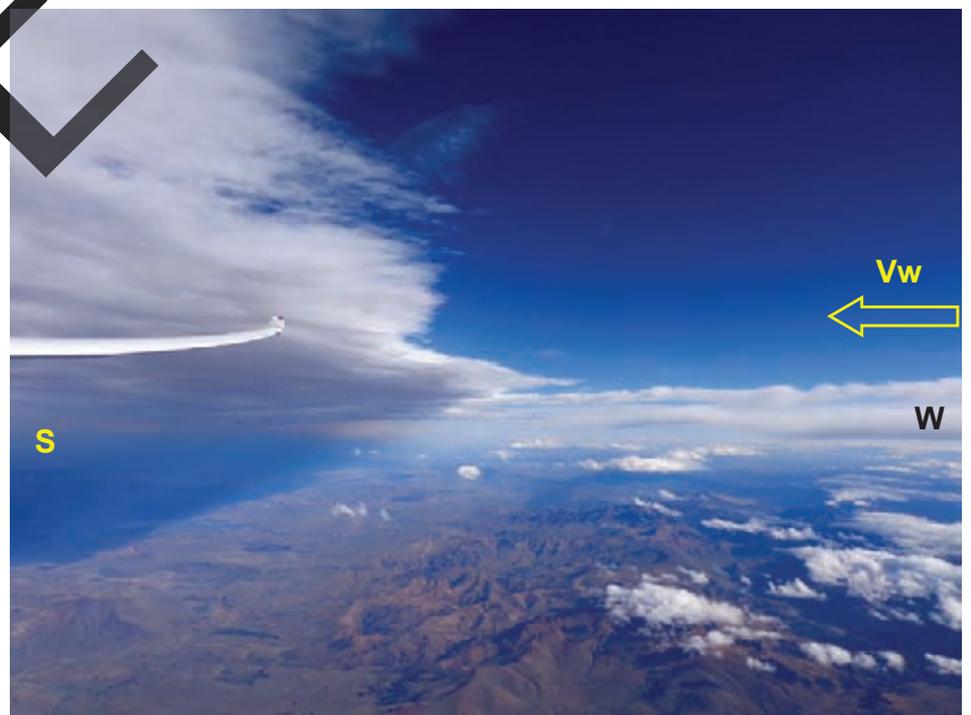


Fig. 7.4.10b Dans la zone ascendante du front du saut de la photo Fig. 7.4.10a, à l'extrémité sud de la chaîne de Catan Lil à 7.000 m le 21 novembre 2012. Le bord d'attaque du pseudo-lenticulaire est presque à la verticale de la crête, le nuage est plat, il n'y a pas de bord de fuite (toute la plaine est dans l'ombre), il se prolonge bien au-delà de la chaîne, vers le sud, sur la pampa. C'est bien un saut hydraulique, il nous accompagnera sur plus de 200 km. On observe même la présence de nuages de Kelvin Helmholtz une centaine de km au Sud, sur la pampa, qui confirment la nature du phénomène.

advenir juste à la hauteur de la base la plus élevée. Il arrive souvent que ces nuages soient renforcés par une convergence, car le vent en altitude provoque souvent des aspirations à la surface du sol si la plaine est bien dégagée, lesquelles vont générer une convergence en synergie avec le thermique.

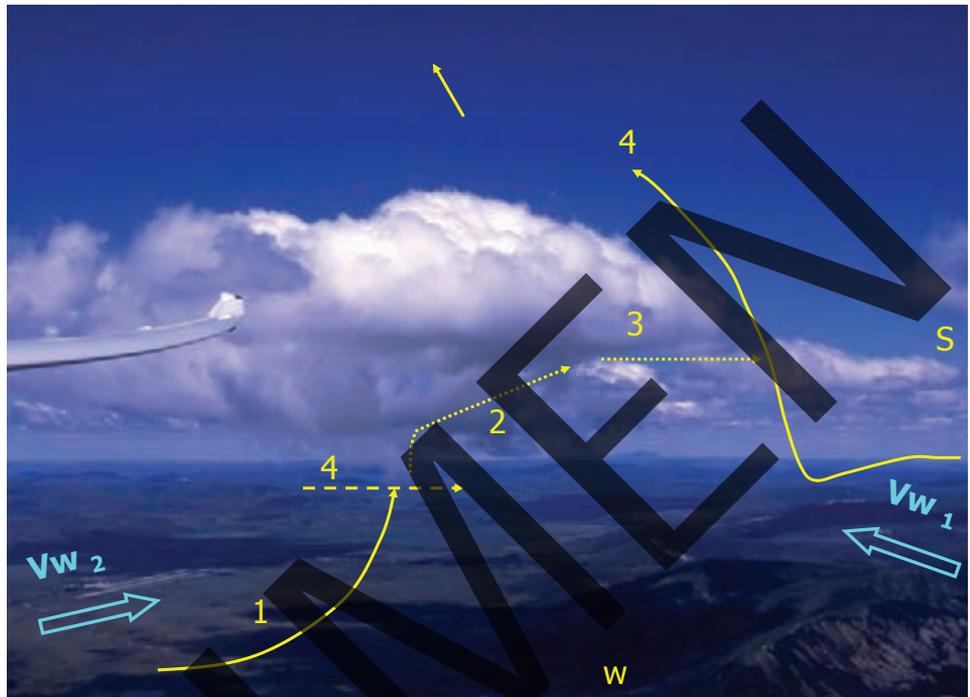
8.5 Exploitation sous le vent de crêtes non perpendiculaires au vent.

Nous avons vu au chapitre 3, fig. 3.4.1, que par effet de frottement sur la surface des parois au passage de la crête, le vent (ou tout fluide) tend à quitter la crête perpendiculairement à celle-ci. Cette loi physique fonctionne aussi bien pour les fluides que pour les solides et on l'utilise en milieu industriel à des angles qui normalement ne dépassent pas une trentaine de degrés, essentiellement pour des raisons mécaniques. Ce qui ne veut pas dire que cette loi ne s'applique pas pour des angles plus élevés.

La plupart des spécialistes admettent qu'une inclinaison de 30° par rapport à la perpendicularité du vecteur vent n'est pas un facteur particulièrement négatif pour la formation de l'onde. C'est également l'avis de l'excellent Tom Bradbury qui indique à la fig. 97 p. 122 de la référence (14) un angle d'environ 30°, voir fig. 8.5.1.



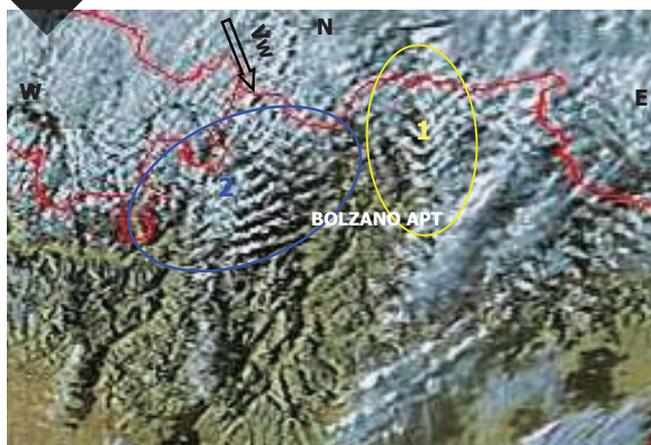
Fig. 8.5.1 Selon Tom Bradbury (14), schéma d'un système ondulatoire lorsque la crête n'est pas à angle droit avec le vent. On notera que l'écart est d'environ 30°.



8.4.1 Exemple de cumulus rotor en synergie avec une convergence. Le vent en altitude Vw_2 est du 240°, celui au sol Vw_1 provient du 300°. La plaine est thermiquement très active et l'on voit bien que tous les cumulus sont peignés par un vent de secteur Ouest. La technique d'exploitation sera donc (1) montée en thermique à la première base, environ 1.500 m, (2) montée dans la convergence jusqu'à la base la plus haute, environ 2.500 m, puis (3) se déplacer devant le nuage et (4) entrer dans le système ondulatoire.

La réalité n'est pas aussi catégoriquement tranchée et nous avons eu la surprise d'observer que des crêtes inclinées de 45° de part et d'autre du vent pouvaient générer des systèmes ondulatoires résonnants.

La photo satellite fig. 8.5.2 montre un bel exemple d'onde en chevrons au nord de Bolzano que j'ai exploitée régulièrement pendant la vingtaine d'années où je volais dans cette région.



8.5.2 Photo satellite d'un exemple de ressauts en forme de chevrons à 90° (ellipse jaune 1), inclinés à 45° de part et d'autre du vecteur vent. L'onde classique perpendiculaire au vent est celle contenue dans l'ellipse bleue (2). Le passage dans la zone jaune est une des clés du succès pour poursuivre sa route vers l'Autriche.

9. Détermination des vitesses

mentation de la charge alaire est encore mieux mis en évidence, et le sera d'autant plus que le décalage le long de l'axe des Vz sera plus important.

La finesse sol passe de 13,3 à 16,7 (+25%), pour mémoire elle est de 15,8 pour l'ASH 25.

La vitesse de transition est de 194 km/h contre 162 km/h, les vitesses de croisière en circuit sont respectivement de 30 et 40 km/h (+33%). Cela représente un gain de 15 minutes et 460 m d'altitude tous les 30 km, c'est énorme. Rappelons qu'elle est de 37 km/h pour l'ASH 25, le petit monoplane a donc de meilleures performances.

Le calage du Mc Cready équivalent sera (E) = 3,6 m/s pour le planeur léger et (B) = 3 m/s pour le planeur chargé, qui volera donc moins vite par rapport à l'air et malgré tout plus vite par rapport au sol.

Le pilote de ce petit planeur sera toujours gagnant par rapport au grand biplace. L'instructeur pourra donc utiliser ces quelques lignes pour convaincre son élève qu'il aura une meilleure machine le jour de son lâcher en onde. La condition toutefois de voler chargé.

Dorénavant, toutes les études et leurs conclusions feront exclusivement référence au planeur à sa charge maximum autorisée, sauf indication expresse.

9.5 Influence directe de l'altitude

La démarche est identique à celle exposée ci-dessus : par effet de la diminution de la densité avec l'altitude, les vitesses horizontales et verticales augmentent de la même quantité à peu près proportionnellement à l'altitude, d'environ 5% chaque 1.000 m, soit environ 30% à 6.000 m. La polaire subit une translation homothétique totalement identique à celle provoquée par l'augmentation de la masse, et ceci à partir de l'origine des coordonnées, 0 km/h et 0 m/s.

En absence de vent ou en vol en ther-

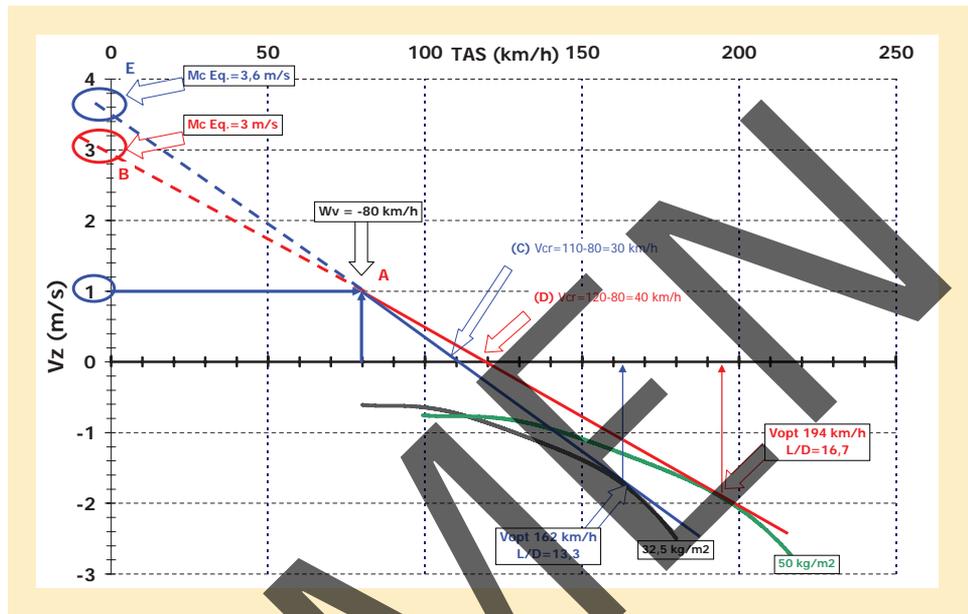


Fig. 9.4.2 Polaires Discus 1 à 32,5 et 50 kg/m², vent de face 80 km/h, niveau mer, ascendance moyenne 1 m/s, recherche de la meilleure vitesse de croisière.

mique de plane, lorsque l'on vole par rapport à l'air et non par rapport au sol, l'effet sur la finesse est nul, en négligeant l'amélioration aérodynamique. Seule la vitesse de croisière augmente, mais également la vitesse de chute, et le bénéfice en termes de vitesse de

croisière en circuit sera d'autant plus important que le temps passé en ligne droite sera plus élevé.

Mais lorsque le vent de face est significatif, le point d'origine de la tangente est décalé et la finesse augmente avec

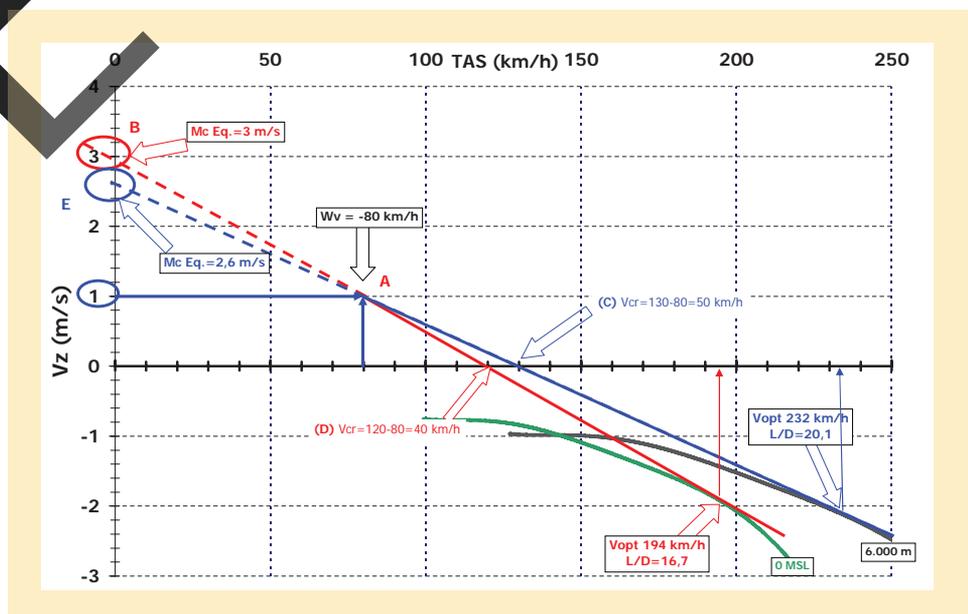


Fig. 9.5 Polaires Discus 1 à 50 kg/m², vent de face 80 km/h, niveau mer, et 6.000 m, ascendance moyenne 1 m/s, recherche de la meilleure vitesse de croisière.

Fig. 9.10.3 Tableau Vne (vitesse indiquée) en fonction de l'altitude, à coller en face du manche, bien en vue (Nimbus 4D modifié TN 868-29)

ALT	Vne
3	285
4	273
5	266
6	260
7	253
8	247
9	241
10	235

eux-mêmes, les tuyauteries et les prises de pression sont également toujours une source d'imprécision que l'on peut toutefois quantifier, sauf les problèmes d'étanchéité qui doivent impérativement être résolus.

Le manuel de vol doit obligatoirement indiquer la correction à appliquer à la lecture de l'anémomètre, c'est-à-dire l'erreur de mesure de pression en fonction de la position de la sonde (dans le nez ou sur la dérive). Voyons par exemple les diagrammes de correction du Discus 1, fig. 9.10.4 et du Nimbus 4D, fig. 9.10.5.

Fig. 9.10.4 courbes d'étalonnage anémométrique du Discus 1.

Les deux positions (nez et dérive) donnent exactement la même erreur. A partir de 110 km/h, la vitesse indiquée est toujours supérieure à celle réelle, ce qui est bon pour la Vne puisque le trait rouge sera environ 5 km/h en dessous de la vitesse réelle. L'erreur aux basses vitesses est de signe opposé, de l'ordre de 3 km/h à la vitesse de décrochage.

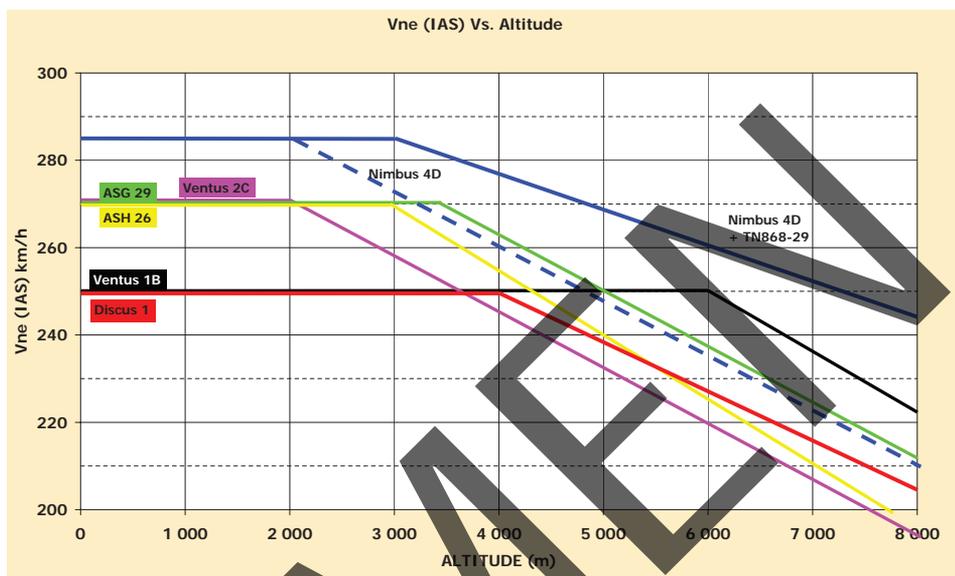
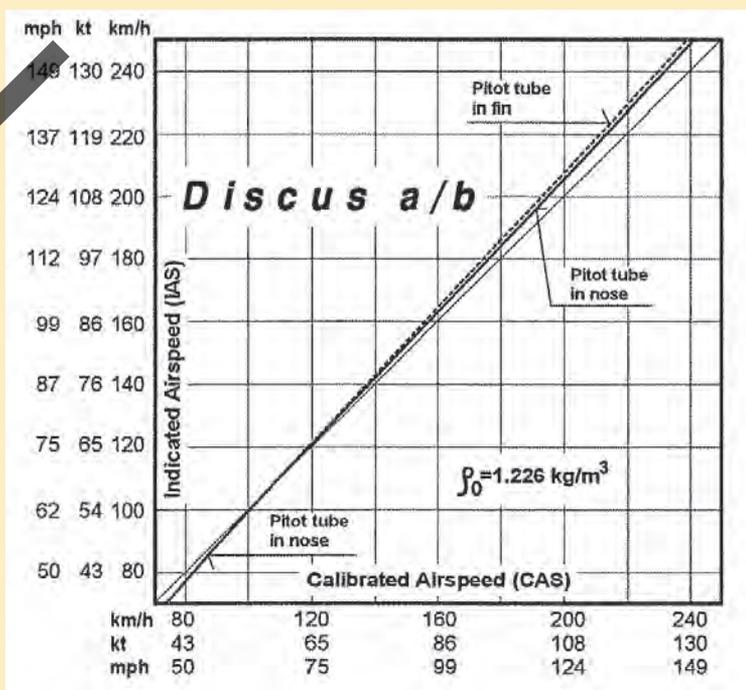


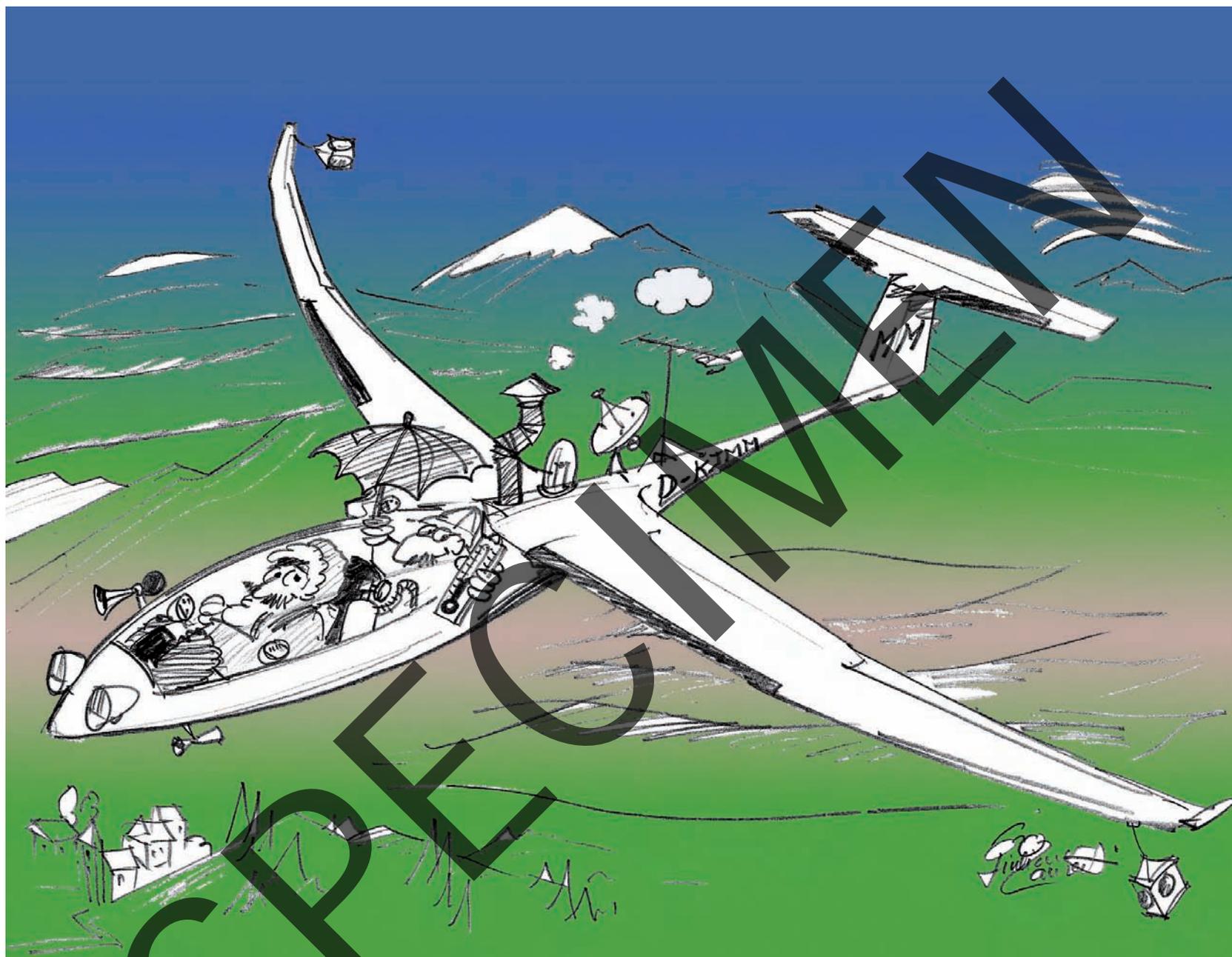
Fig. 9.10.2 Évolution de la Vne (IAS, vitesse indiquée sur l'anémomètre) en fonction de l'altitude, pour quelques machines modernes très utilisées en vol d'onde.

Pour le Nimbus 4D la modification TN 868-29 consiste simplement en l'équilibrage des ailerons intérieurs de l'aile externe, le gain est extraordinaire puisqu'il permet de gagner 37 km/h à 6.000 m, portant la vitesse soit à 360 km/h. J'ai effectivement lu assez souvent plus de 450 km/h sur le compteur du GPS, avec un peu de vent arrière. A ne pratiquer qu'avec circonspection et délicatesse car toute anomalie météorologique imprévue peut être fatale en quelques secondes.

On notera la performance du Ventus 1 qui conserve sa Vne jusqu'à 6.000 m, confirmant ainsi sa réputation de machine extrêmement rigide. Son successeur, le Ventus 2C, au profil beaucoup plus fin et l'axe plus flexible, affiche la plus mauvaise performance.

L'ASG 29 (qui est en fait une extension en 18 m de l'ASW 27), semble être aujourd'hui le meilleur monoplace du marché, en attendant la certification du planeur américain Duck Hawk conçu par Greg Cole, qui annonce une Vne de 405 km/h au niveau de la mer.





Le 4 juin 2001, le météorologue Giuliano Laurenti m'accompagne lors d'un aller et retour de 1.000 km entre Varèse (Italie) et Koflach (Autriche). Quelques minutes après l'atterrissage, le sourire jusqu'aux oreilles, il avait déjà synthétisé le modèle du planeur idéal pour ce genre de vol !

Un beau vol en onde ne s'improvise pas, l'homme et sa machine devront vivre en parfaite harmonie pendant une journée entière dans des conditions totalement inhabituelles tant pour le pilote que pour sa monture. Il va falloir voler très vite et quelquefois très lentement, commencer le vol peut être en ciel clair avec une température de 40°C au sol et se retrouver quelque heures plus tard à -30°C, au-dessus d'une couche de nuages totalement soudée, en naviguant grâce à l'écran électronique et en négociant des clairances en Anglais avec un contrôleur napolitain incompréhensible. Tout doit donc fonctionner parfaitement et s'il s'agit d'un planeur de club, il faudra le préparer les jours précédents afin d'éviter les mauvaises surprises.

s'attendre à des mauvaises surprises !

Je croyais que ce problème était relégué au musée avec ces beaux planeurs en bois et toile qui m'ont fait rêver quand j'avais quinze ans, mais c'était sans compter avec l'extrême modernité des commandes à branchement automatique, en particulier des aérofreins qui possèdent un verrouillage du type à «à genou» dont l'efficacité dépend de la longueur de la barre de commandes, couplée à une structure en fibre de carbone dont le coefficient de dilatation est opposé à celui de l'acier.

Résultat : si les aérofreins sont réglés au sol en été pour être verrouillés avec la force indiquée dans le manuel de vol, ce verrouillage aura totalement disparu vers 6.000 m en hiver ou au printemps ! Pire encore, j'ai dû voler pendant des dizaines d'heures et des milliers de kilomètres non seulement sans verrouillage, mais avec le couvercle des aérofreins sortant de l'extrados de quelques dixièmes de millimètre au centre et plusieurs millimètres sur les bords. Quel gâchis !

Il n'a pas fallu longtemps pour comprendre l'origine du problème et appliquer une solution consistant à allonger la commande en dévissant la biellette de la quantité nécessaire, ce qui implique de démonter totalement la machine. Évidemment, la force de verrouillage au sol a été significativement augmentée, mais il restait encore un minimum de verrouillage à -25° - -30°C .

Malheureusement, le remède s'est avéré pire que le mal et un beau jour, nous nous sommes trouvés pratiquement sans verrouillage, la liaison du branchement automatique de l'aérofrein du côté droit, en forme d'entonnoir, s'était fissurée suite aux contraintes excessives. Voir fig. 10.2.3A et B.

L'aspect le plus surprenant est que cet incident est survenu au début d'une tentative de record du monde de vitesse sur aller et retour de 1.000 km, le 12 décembre 2012, et que nous avons battu ce record avec un aérofrein qui sortait de plusieurs millimètres, en témoigne la fig. 10.2.4 !

Cerise sur le gâteau : le constructeur était parfaitement au courant du problème pour un autre modèle utilisant le même principe et avait émis un bulletin de révision pour le remplacement de cet entonnoir par un autre, renforcé.

Conclusions : tout comme il y a soixante ans, les tiges de commande des aérofreins doivent être rallongées en hiver et au printemps et raccourcies en été, si le branchement est du type «poussé». Cette opération requiert le démontage total de la machine.

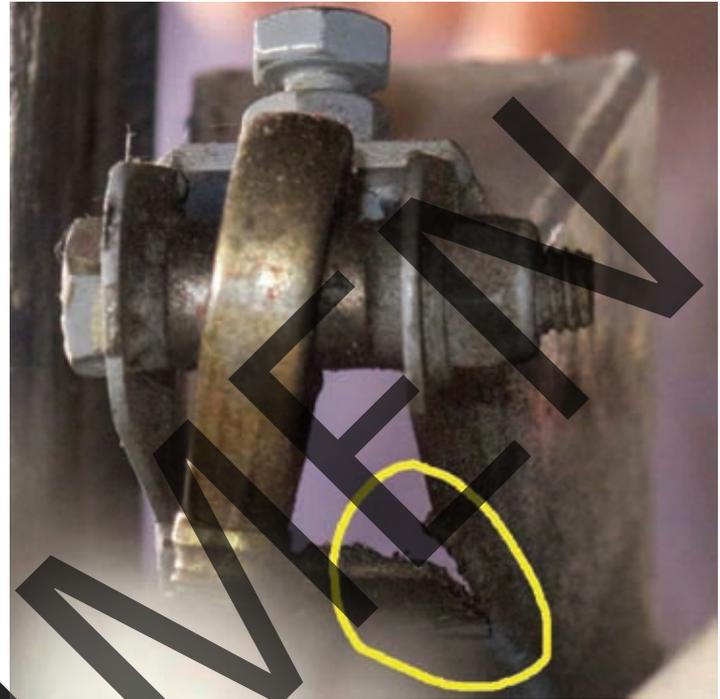


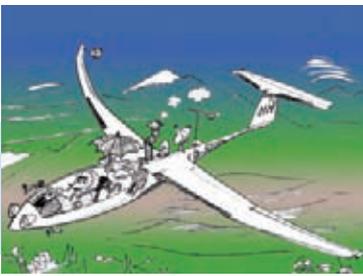
Fig. 10.2.3A Entonnoir du branchement automatique des aérofreins vu de l'intérieur du fuselage. La soudure a cédé sous la pression de la tige de commande lors du verrouillage à haute température.



Fig. 10.2.3B. Détail de la pièce après démontage et nettoyage.



Fig. 10.2.4. Malgré ce frein aérodynamique, avec Philippe Athuil, nous avons tourné un aller et retour de 1.000 km à 214,8 km/h, record du monde.



10. Préparation du vol, gestion de

- La dernière décennie a vu l'apparition des batteries au lithium qui ont pratiquement résolu tous les problèmes d'effet mémoire et sont peu sensibles à la basse température. Le meilleur rapport énergie/volume est offert par la technologie Lithium-Ion qui demande toutefois une grande attention de charge et décharge ; la présence d'un module de protection électronique intégré (PCM) est obligatoire, le tout pour un prix très élevé, de l'ordre de 1.200 € pour deux unités de volume standard, offrant une capacité nominale 280% plus élevée que le plomb, laquelle ne chute que de d'environ 10% vers -20°C.

Nous avons comparé la décharge d'un groupe de deux batteries au plomb de dernière génération, neuves, à celle d'un de nos groupes au Li-Ion de trois ans d'âge, Module SAFT 4S2P MP. Toutes maintenues au congélateur à -18°C pendant 24 heures avant le test, décharge à courant presque constant de 1,5 A (charge résistive de 8 Ohm). Voir fig. 10.7.4. Ce test est donc tout à fait représentatif de la quantité maximum d'énergie dont on peut disposer avec deux modules standards de 65 x 151 x 95 mm, au plomb (40 €) ou au Li-Ion (1.200 €). En termes simples, il faut dépenser 30 fois plus pour obtenir 3 fois plus.

La capacité nominale est de 14 A.h par module standard soit 28 Ah installés. Cette capacité n'est pas encore tout à fait suffisante pour fournir l'énergie électrique d'un vol de 16 heures en onde en biplace avec toute l'instrumentation en service (calculateur, deux loggers, transpondeur, ADSB, radio, PDA's, Flarm, TCAS, EDS, un peu de chauffage). Il faut de temps en temps recourir à des délestages ou passer sur les cellules solaires, lesquelles ne fonc-

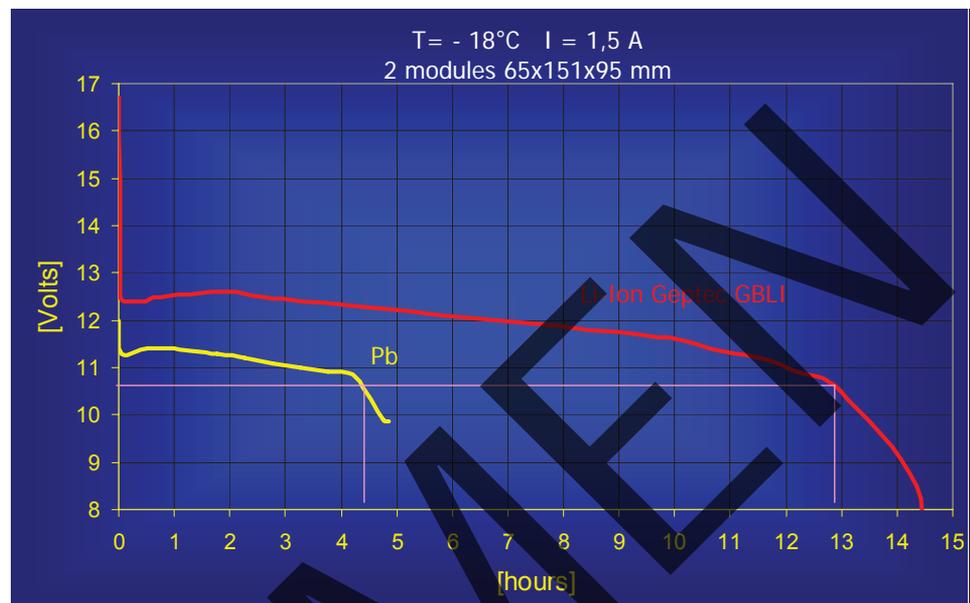


Fig. 10.7.4 Caractéristique de décharge sous un courant de 1,5 A à la température de -18°C d'un couple de batteries neuves au plomb de dernière génération (courbe jaune) comparée à un couple au Li-Ion GEPTEC GBLI, (courbe rouge), éléments SAFT du planeur Antares.

En Europe, les Li-Ion garantiront la totalité d'un vol en onde de l'aube au crépuscule. En Patagonie, il faut une énergie complémentaire ou procéder à des délestages.

tionnent qu'en milieu de journée.

Attention: cette technologie présente trois inconvénients majeurs:

- 1- La tension de fin de charge est 16,8 V. Or, la quasi-totalité des instruments de bord est garantie pour une tension maximum de 15,0 V. Aucun des constructeurs interrogés n'a souhaité faire un essai ou prendre une quelconque responsabilité. J'ai donc personnellement pris ce risque, et par chance, tout a fonctionné. Sauf pour la bille aiguille, mais c'était prévu et j'ai donc installé un convertisseur DC/DC stabilisé à 12 V en sortie.
- 2- La tension de fin de décharge est de l'ordre de 10,5 V et une décharge profonde peut signifier la mort subite de la batterie. Il faut donc s'équiper non seulement d'un système de coupure automatique, mais également d'une préalarme vers 11,0 V, qui, dans notre cas, laisse environ

une heure pour gérer la suite. Nous avons vécu ces coupures automatiques lors d'une traversée de TMA et avons involontairement semé la panique dans la tour de contrôle. En effet, lors des transmissions radio, la coupure intervenait et tout s'éteignait, y compris le transpondeur ; puis tout rentrait dans l'ordre une minute plus tard. Après identification du phénomène, le problème a été résolu d'abord en utilisant la radio portable pour les communications avec la tour, ensuite en passant sur la batterie du moteur.

- 3- Malgré toutes les assurances des fournisseurs, le risque incendie lors de la charge n'est pas nul. Nous connaissons deux cas de feu au sol dans des planeurs, mais c'étaient des produits chinois «bricolés». Les GEPTEC sont contenues dans des boîtiers en acier, c'est mieux, mais je n'ai toujours pas confiance. Les incidents répétés sur le Boeing 787



L'être humain n'est conçu ni pour voler, ni pour rester assis immobile pendant seize heures dans un congélateur exposé aux rayonnements UV ou autres passant au travers du trou d'ozone. Tout comme le monde végétal complexe, la vie sur la planète à nos latitudes s'arrête vers 2.000 – 2.500 m, laissant place au monde minéral. Notre curiosité étant sans limites (nous préparons aujourd'hui des expéditions humaines vers la planète Mars dans seulement une dizaine d'années), il est donc fondamental de bien maîtriser tous les éléments afin que ce milieu hostile à toute vie puisse devenir notre terrain de jeu de prédilection.

Nous ne sommes pas dans le cas du touriste qui monte à pied sans oxygène à l'Aconcagua (6.962 m) en une semaine : d'une part, il ne doit rien faire d'autre que mettre un pied

devant l'autre, et au pire, il s'arrête s'il ne se sent pas bien. Tout au contraire, notre pilote devra gérer une machine complexe utilisée à ses limites extrêmes dans un environnement où tout se passe très vite, tant du point de vue de la météorologie que de l'aéronautique puisqu'il utilise le même espace aérien que les avions de ligne dont les pilotes sont confortablement installés dans leur fauteuil, une tasse de café ou un bon repas à portée de main ; et en cas de besoin, la toilette ou la couchette les attendent.

Nous allons donc faire l'inventaire de tous les facteurs négatifs pour la santé psychique et physique, avec solutions et applications pratiques. Les mises en œuvre demandent une certaine préparation et un entraînement dont on prendra très vite l'habitude avec le plus grand plaisir.



Photo 12.0

Le Dr Heini Schaffner en conditions réelles d'expérimentation dans son laboratoire volant. L'EDS D1 alimente les canules nasales portées sous un masque A-14 étanche dont les flux ont été inversés, le gros tuyau plissé faisant office de sortie vers trois filtres successifs, piégeant l'humidité expiratoire (et par conséquent, réduisant le givrage de la verrière) et assurant un frein expiratoire (meilleure oxygénation dans les poumons, gagnant 4-5 % au saturomètre). Efficacité et marge de sécurité améliorées, mais difficilement applicable au grand public.

¹ **EDS (Electronic Delivery System):** Distributeur électronique d'oxygène commercialisé par Mountain High E&S Co., 2244 S.E. Airport Way, Suite 100, Redmond, Or. 97756 USA.

L'utilisation intelligente de l'oxygène semble avoir été oubliée des manuels de pilotage. Le manuel français (11e et dernière édition) ne consacre en tout et pour tout qu'une page et demie (sur un total de 320) sur ce qu'il ne faut pas faire, mais pas une ligne sur ce qu'il faut faire ni comment utiliser intelligemment l'oxygène. Pire encore, il laisse croire au pilote que l'hypoxie hypobare du pilote ne commencerait qu'à partir de 3.800 m sans oxygène supplémentaire. Cette appréciation, vieille de 50, ans ne garantit guère la meilleure vigilance requise en vol dans les basses couches et s'est avérée accidentogène dans le passé.

Ce même manuel consacre moins d'une colonne à l'hyperventilation et à peine cinq lignes sur son interaction avec l'hypoxie. Heureusement, le seul conseil «respirer de l'oxygène et réduire la fréquence et l'amplitude respiratoires» est juste, mais pas toujours applicable puisqu'il faut, d'une part, avoir de l'oxygène et, d'autre part, être conscient de ce qui se passe, difficile pour un phénomène pratiquement indécélable.



12. L'oxygène : aspects physiologiques,

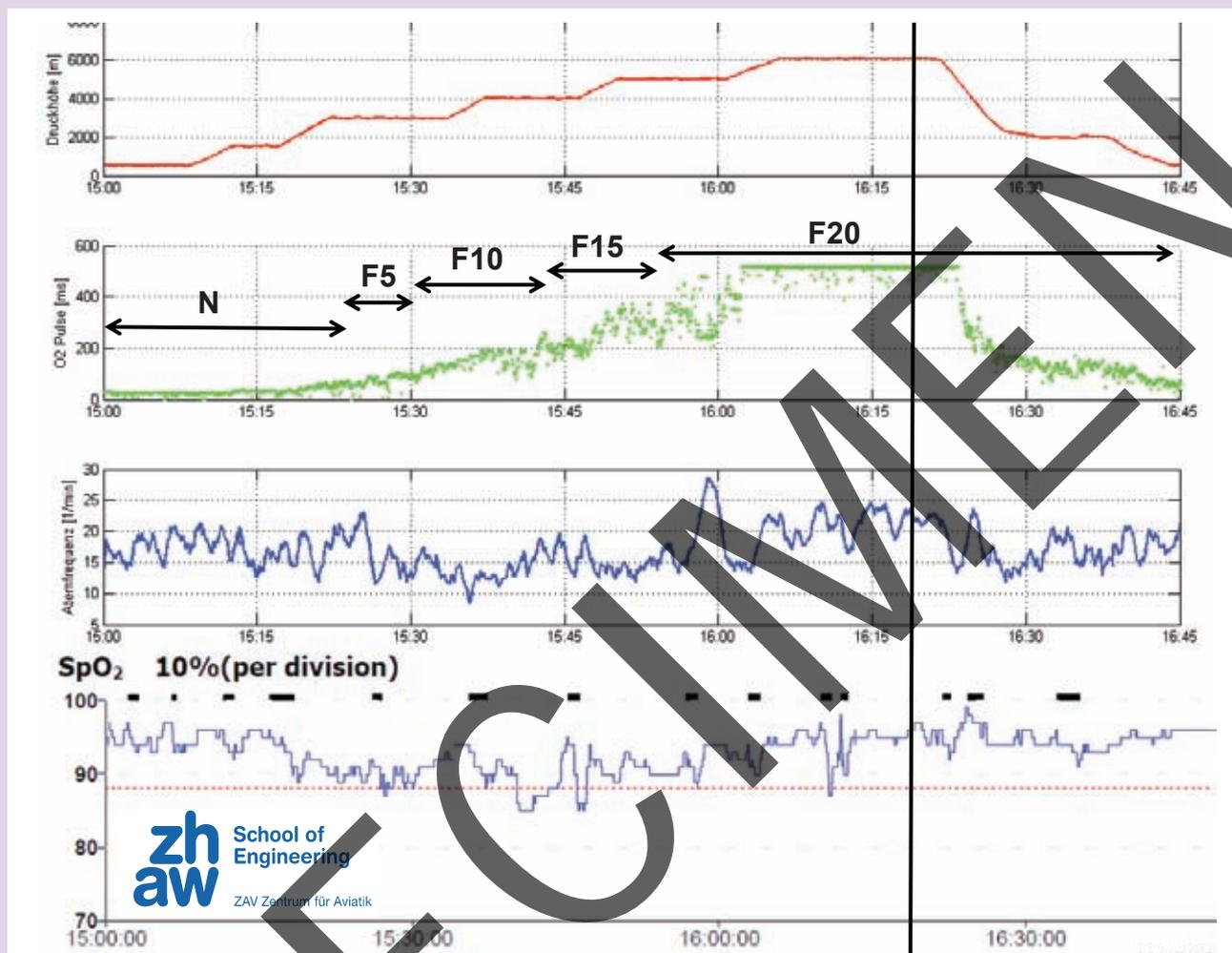


Fig 12.9.3 Homme, 69 ans, 1,72 m, 78 kg, IMC 26,3 (corpulence presque normale), non-fumeur.

EDS au départ sur N et saturation décroissant à 88 % à 3.000 m, puis EDS passé sur F5 pour maintenir 88 %, puis sur F10 vers 4.000 m avec 90 %, puis F15 vers 5.000 m pour maintenir 90 %, puis F20 à mi-palier de 5.000 m. La saturation remonte à 95 %. La respiration devient par contre assez chaotique à 4.000 et 5.000 m, oscillant entre 10 et 28/min, un épisode typique de la respiration périodique. Comme observé aussi en anesthésiologie, la fonction pulmonaire diminue invariablement avec l'âge !

son activité cérébrale redémarre tout doucement, il me dit d'arrêter la descente pendant qu'il respire mieux (EDS sur R/M) et il termine sa miction. Au bout d'une demi-heure, tout va bien et il décide que nous pouvons rentrer, il restait encore 400 km à parcourir et il fallait remonter à 6.000 m. Pas de problème ultérieur. En monoplace, cet incident lui eût été fatal.»

Voyons en fig. 12.9.6 le saturogramme d'un autre pilote de 70 ans en bonne santé, IMC normal, lors d'une miction dans un Stemme, altitude 6.500 m. En prévision de l'apnée d'effort, il avait réglé son EDS sur R/M (100 % d'oxygène) avant de commencer la manœuvre. On voit que pendant

4 minutes, le pilote (alors passager) retenait souvent son souffle pour exercer une pression abdominale (ce qui est la raison du tracé horizontal entre 20:37 et 20:39), puisque la SpO2 est égale à celle qu'il aurait eue à 6.000 m sans aucun oxygène d'appoint, soit 75-80 % (fig. 12.2.1). Selon le tableau 12.3.5, il aurait pu s'évanouir et perdre toute capacité de pilotage comme dans l'exemple précédent. En monoplace, cet incident aurait pu avoir de graves conséquences !

➤ **Manger un sandwich.**

Fig. 12.9.8. En prévision de cette action fortement hy-