



Le vol de durée - Conception d'un modèle et stratégies d'utilisation

Sommaire

<i>Sommaire</i>	<i>1</i>
<i>Qu'est ce qu'un modèle de durée ?</i>	<i>3</i>
<i>Les conditions aérologiques</i>	<i>4</i>
Conséquences sur la conception du modèle	18
<i>Décomposition d'un vol de durée</i>	<i>18</i>
Mise en altitude	18
Energie pour monter	19
Traction et vitesse du modèle (cas du treuillage)	20
Schématisation des forces en présence :	20
Energies en jeux	21
Calcul de la force de traînée du fil	21
Influence du vent lors du treuillage	21
Caractéristiques importantes pour le modèle	22
Recherche d'une ascendance	23
Transition vers une ascendance	23
Caractéristiques importantes pour le modèle	24
Exploitation d'une ascendance	25
Comment vole un modèle en virage ?	25
Optimisation du rayon de virage dans l'ascendance	26
Caractéristiques importantes pour le modèle	31
Retour vers la zone d'atterrissage	31
Caractéristiques importantes pour le modèle	37
Atterrissage	37
Caractéristiques importantes pour le modèle	38
Hiérarchisation des différentes phases du vol	38
<i>Comportement dynamique du modèle</i>	<i>39</i>
Stabilité latérale	40
Stabilité longitudinale	42
Les mouvements d'oscillation sur l'axe de tangage.	42
Comment peut-on maîtriser la phugoïde ?	43
Caractéristiques importantes pour le modèle	46
<i>Construction</i>	<i>46</i>
Sait-on construire des machines de moins de 20 à 23g/dm² ?	47



Le vol de durée – Conception et Stratégie

Relation entre allongement et charge alaire de l'aile	48
<i>Pilotage</i>	50
Stratégies de vol possibles pour exploiter une ascendance	50
Faut-il remonter au vent ou descendre le vent ?	50
Comment bien visualiser son modèle ?	55
Comment centrer une ascendance	56
Comment Sortir d'une descendance ?	58
La tactique de vol à adopter	60
Conséquences sur la conception du modèle	62
<i>Et maintenant que faire de toutes ses analyses ?</i>	62
Quelques pistes d'améliorations	64
<i>Résumer sur le meilleur modèle de durée</i>	65



Qu'est ce qu'un modèle de durée ?

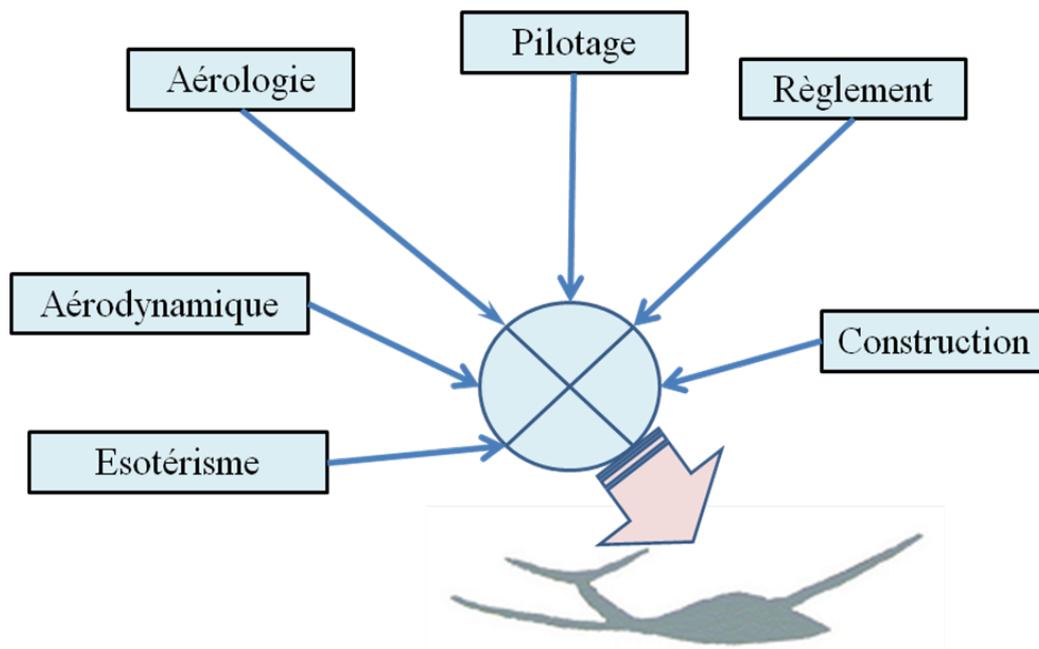
Répondre à cette question paraît simple de prime abord. Il suffit d'un modèle qui ne chute pas.

Mais très vite viennent d'autres questions comme la prise d'altitude, l'exploitation des ascendances, leur recherche, ce qui est permis par la discipline et ce qui ne l'est pas... Un modèle de formule France est différent d'un électro 7, d'un F3J, d'un F5J ou d'un F3K. Et pourtant chacun d'eux fait de la durée.

De même, il est important de bien connaître les conditions de vol et l'aérologie à exploiter. Est-il besoin d'exploiter les très basses couches comme en F3K ? Le vol est-il dans des conditions tropicales, désertiques, océaniques... ?

Enfin, il ne faut pas oublier le pilote avec toutes ses capacités et limitations en termes physiques comme en termes de finance. Avoir une machine aérodynamiquement performante mais impilotable n'aboutit certainement pas à de bons résultats. Par exemple, une grande machine permettra des vols plus éloignés. Une bonne stabilité laissera plus de temps au pilote pour sentir la masse d'air et prendre ses décisions.

La conception d'un modèle de durée n'est donc pas seulement une question d'aérodynamique. C'est le fruit d'un assemblage de paramètres plus ou moins indépendants entre eux voire ésotériques (effet de mode...).



Il est ainsi clair que le résultat n'est pas unique.

Nous pouvons tout de même définir des pistes de raisonnement. A chacun ensuite de les intégrer voire de les compléter pour définir ce qu'est un bon modèle de durée.

Au fait : Comment caractériser modèle ?

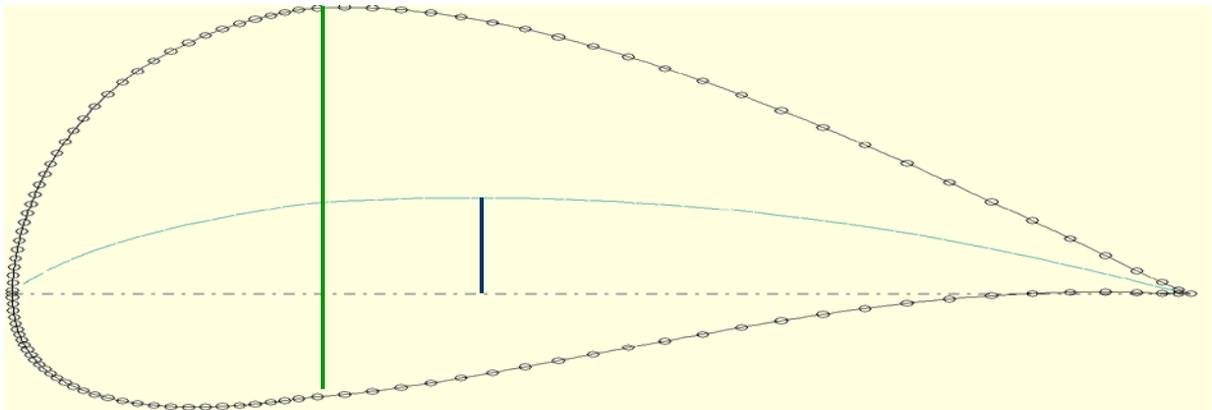
Il y a :



Le vol de durée – Conception et Stratégie

- les caractéristiques dimensionnelles (envergure, allongement, longueur du fuselage, surfaces des empennages (quand il y en a), des gouvernes, et leurs position respectives dans l'espace, les masses et leur répartition),
- Les caractéristiques aérodynamiques (profils. Un profil peut être défini par une courbure, une épaisseur et leur répartition avec les points de maxi d'épaisseur et de maxi de courbure).

Elles permettent d'en déduire le comportement statique et dynamiques (polaire de vitesse ou autres polaires (C_z , C_x , C_m , α)), moments en tangage, roulis, lacet, marge statique de stabilité, fréquences et amortissements dynamiques sur les trois axes).



Définition du maxi d'épaisseur (vert) et du maxi de courbure (bleu foncé). En bleu clair, la ligne moyenne du profil qui coupe le profil en deux surfaces égales.

Définir un modèle c'est jongler entre caractéristiques dimensionnelles, aérodynamiques et le comportement afin d'obtenir une solution répondant au mieux à nos attentes. C'est un savant dosage de chaque paramètre. Le changement d'une variable peut facilement bouleverser les autres et casser le bel équilibre. Il faut donc y aller graduellement et être assez méthodique.

Sachant ce qu'il faut définir, le travail commence par appréhender l'environnement du modèle, c'est à dire l'aérologie rencontrée pendant le vol ainsi que les conditions du vol de durée.

Les conditions aérologiques

Les ascendances sont rarement réparties de façon homogène sur le terrain. Il y a rarement un terrain uniformément plat sans différence de couleur, de texture ou d'humidité. Il y a toujours des zones plus propices que d'autres. Certaines, le sont le matin, d'autres le soir. Et entre le printemps et l'automne, cela peut changer.

Essayons de comprendre un peu.

Une ascendance peut être modélisée par deux phénomènes :



Le vol de durée – Conception et Stratégie

- Une capacité à emmagasiner et à restituer de l'énergie. Chaque surface du terrain a plus ou moins cette capacité. L'accumulation peut être plus ou moins importante et peut prendre plus ou moins de temps.
- Un déclencheur de thermique. L'air a tendance à rester collé au sol. Seulement voilà : Certaines parties du terrain jouent le rôle de tremplin. L'air, en arrivant sur ces zones, se retrouve soulevée. Vous avez bien lu « en arrivant sur ». C'est qu'il y a toujours un peu de vent. L'air glisse donc sur le sol au gré du vent. Ces tremplins sont donc toujours situés sous le vent d'un accumulateur.

Ces zones peuvent se matérialiser par une dénivellation. C'est le cas d'une ligne d'arbre, de la frontière entre un champ moissonné et un autre non moissonné, d'un bâtiment, de la crête d'une montagne, mais aussi d'un fossé (en creux donc).

Mais il existe aussi des déclencheurs plus subtils, sans variation physique de hauteur. Ce sont les déclencheurs dynamiques, qui jouent sur les écarts de températures. C'est le cas par exemple d'une route, d'un champ labouré et d'un autre en herbe rase, de la frontière de l'ombre d'un nuage sur le sol, etc.

Une ascendance se déclenche quand une partie du terrain est plus chaude qu'une autre, qu'il y a un bon écart de température entre l'air collé au sol et l'air un peu plus en altitude, et qu'il rencontre un facteur qui favorise son décollement.

Donc, avant d'être une histoire de température, c'est souvent une histoire de contrastes. Vous avez bien des ascendances en hivers, petites certes, et pourtant la température du sol ne dépasse pas quelques degrés.

Au bout d'un certain temps, la différence d'énergie et la quantité accumulée font qu'une zone peut restituer cette énergie. Sous l'effet du tremplin, l'air du sol décolle. C'est l'apparition d'une bulle. Elle ne dure pas mais, si vous la prenez, elle peut vous emmener assez haut. Si les conditions sont bonnes, la bulle peut s'entretenir assez longtemps. C'est la Pompe qui peut vous tenir pendant une heure au septième ciel !

C'est donc une histoire de zones propices à accumuler de l'énergie et à la restituer, et de zones placées sous le vent qui vont servir au décollage.

Comme vous vous en doutez, le vent joue un certain rôle. Plus il souffle fort et plus il diminue la capacité du sol à emmagasiner l'énergie. Il couche et hache les ascendances naissantes. Mais lorsqu'il est modéré, il peut aussi servir au transport d'air bien chaud vers le tremplin. Il joue alors le rôle de tuyau d'alimentation qui récupère et dirige toute l'énergie accumulée vers le robinet (le tremplin).

Le vent de vallée est une illustration de ce phénomène. L'air chauffé n'arrive pas à se séparer du sol. Avec la pente, il monte en glissant sur le sol jusqu'à rencontrer une crête qui va permettre enfin à l'ascendance de se matérialiser. Tout le flan d'une montagne peut ainsi servir d'accumulateur, et la crête va être le tremplin. L'ascendance va se développer au dessus, inclinée par le vent.

Il faut donc chercher ces deux facteurs et voler dessus, ou, s'il y a du vent, voler sous le vent des zones de déclenchement.



Le vol de durée – Conception et Stratégie

Pour identifier ces systèmes (accumulateur / tremplins), vous avez deux moyens complémentaires pour trouver votre bonheur :

- Internet et ses cartes/images vues du ciel. Attention ! Entre la photo satellite et maintenant, il y a souvent plusieurs années...
- Vos yeux et vos jambes ; Rien de tel qu'une petite ballade autour du terrain pour découvrir ces sources à pompes. Promenez-vous dans un rayon de 500m environ, et observez !

Cherchez :

- Les différences de couleur.
- Les différences de matière (bois, route, champ labouré, champ de blé, de maïs, en fleur, colline, hangar, maisons chauffées, parking, carrière...).
- Les différences de déclivité et leur orientation par rapport au soleil et par rapport au vent. Bien perpendiculaire au soleil, une pente chauffe plus vite que le sol horizontal. Une pente à l'ombre où dont les rayons sont rasants chauffe très mal.
- Les rangées d'arbres ; Placées faces au vent, on peut y faire du vol de pente quelques dizaines de mètres au-dessus. De quoi grappiller quelques secondes voir minutes dans l'attente du déclenchement d'une ascendance due à l'échauffement dans la zone « abritée » de la ligne d'arbre et par le fait que cette ligne est un bon tremplin pour faire décoller l'air chaud poussée par le vent en amont. Si vous savez y faire, vous pourrez attraper cette ascendance naissante au passage.
- Un champ labouré. Les sillons permettent de créer un coussin d'air stagnant qui augmente le potentiel d'énergie restituable. A contrario, laisser les champs où la terre est « tassée » et « lisse ».
- Un parking plein de voitures est aussi un bon endroit. La masse d'air entre les voitures jouent le rôle d'accumulateur d'énergie. C'est bien mieux qu'un parking vide où, si la surface noire est propice à la restitution d'énergie, son côté lisse ne permet pas d'avoir une grande accumulation d'énergie. Les ascendances seront alors fréquentes, mais courtes en intensité et en durée.

C'est en détectant cette aptitude à créer accumuler cette énergie et à identifier les zones de déclenchement sous le vent des accumulateurs que vous trouverez les lieux « à champignons » thermiques.

Une bonne petite promenade vaut bien cela. Faites le une carte à la main, et vous verrez que vous n'aurez plus la même vision de votre terrain de vol habituel.

Repérez ces lieux par rapport au point de décollage.

Appréhender les distances et s'orienter est souvent difficile. Mais avec une carte, un GPS, une boussole ou simplement avec ses yeux, on finit par y arriver. Et puis il n'est pas interdit de faire cette analyse à plusieurs et de définir avec eux la position d'un modèle en vol en envoyant quelques-comparses dans la pampa avec des talkies-walkies !. Vous pouvez aussi embarquer un GPS. C'est plus cher, mais c'est une solution d'avenir amenée à se démocratiser. Vous repérerez les ascendances et comprendrez ce qui c'est passé en une seule fois.



Le vol de durée – Conception et Stratégie

Il y a quelques règles de base.

- Le foncé emmagasine bien la chaleur. La restitution sera meilleure.
- Une zone avec des replis est préférable à une zone lisse. Vive les pierriers, les parkings avec voitures, les champs labourés, et attention aux parkings sans voitures.
- La pierre met un peu de temps à s'échauffer ; Mais quand c'est bon, c'est du bon, surtout qu'il y a alors souvent plein de replis donc de zones d'accumulation de bonne épaisseur!
- Le côté d'une butte exposé face au soleil est un bon coin. S'il y a de plus une carrière ou une maison ou un hangar en contrebas, c'est du gâteau.
- Les bois sont longs à chauffer. Ils restituent leur énergie le soir et peu dans la journée. Ils absorbent l'énergie le jour. Méfiance donc. Il y a de la descendance potentielle au-dessus.
- Une ligne d'arbre est souvent propice à générer des thermiques derrière. Surtout si cette ligne est située face au vent et bien exposé par rapport au soleil. Nous avons alors un coin qui va emmagasiner la chaleur, puis la restituer et qui de plus permet de faire du vol de pente. Une ligne d'arbre pourra servir de tremplin à l'air chaud poussée par le vent qui roule sur un sol « uniforme »
- Le jaune du Colza en fleur restitue bien. D'autant plus qu'il y a de l'humidité dessous.
- Une surface humide (ou plus humide) mettra plus de temps à s'échauffer mais les thermiques qui s'en dégageront seront plus puissants.
- Les meilleures conditions de vol sont toujours après le passage d'un front (pluies), quand la masse d'air s'assèche progressivement (L'humidité apportée par le front génère de bons thermiques, les risques d'orages sont minimales et les pompes sont bien matérialisées par de petits nuages à leur sommet). Un régale !
- Les hangars ou habitations, surtout quand elles sont chauffées, sont de bons accumulateurs et déclencheurs de thermiques. Si vous rencontrez une habitation ou un hangar chauffé, volez au-dessus en début de journée d'hivers. Cela ne montera pas forcément rapidement, mais il y a de fortes chances pour que vous ayez un léger positif si vous le prenez d'assez haut. Attention toutefois à ne pas gêner les propriétaires. On n'est jamais assez prudent. Vous êtes sûr de vous et de votre machine, mais lui ne le sait pas ou ne veut pas le savoir. Ne les survoler qu'avec autorisation. Les grandeurs font de même alors pourquoi pas nous.
- Un champ fraîchement fauché/moissonné restitue plus vite qu'un champ non fauché.
- Un champ de Colza en fleur restitue bien. Il y a souvent des thermiques qui partent d'eux.
- L'eau est très difficile à échauffer. A éviter. Par contre elle peut diffuser de l'humidité. Cela peut être bénéfique si l'environnement est très sec. Voler sous le vent d'un lac.



Le vol de durée – Conception et Stratégie

Bref ! Fort de vos observations, volez ! Noter les heures, l'orientation du soleil, sa puissance, les endroits où cela va mieux, et, petit à petit, vous comprendrez mieux la respiration de la terre.

D'autres signes extérieurs vous permettront d'identifier la présence d'une ascendance lors de vos analyses ou lors de vos vols :

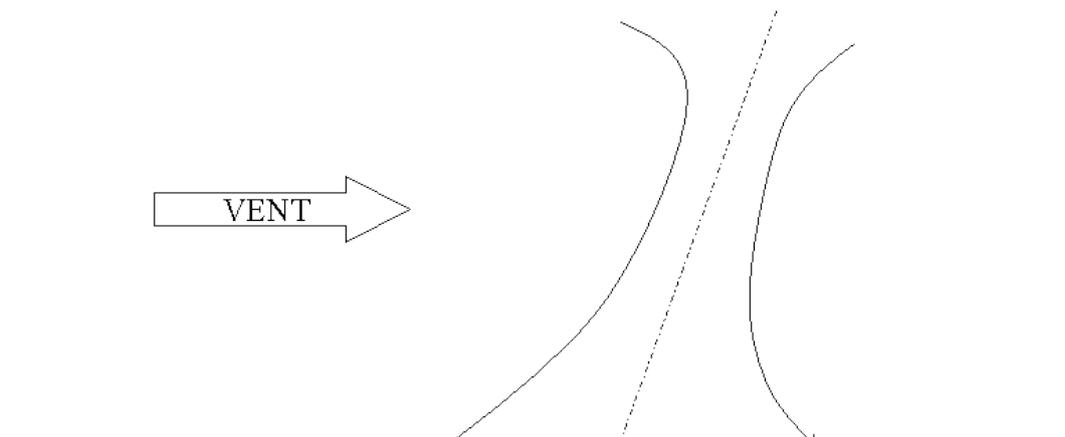
- Le mouvement plus désordonné d'un arbre ou des herbes. D'un côté du terrain l'air est en mouvement, de l'autre c'est plus calme. Vous pouvez être certain que l'ascendance est là où cela bouge.
- Le vol des oiseaux. Les hirondelles, les rapaces sont de très bons détecteurs d'ascendances. Mais méfiez-vous des mouettes. Elles tournent aussi au-dessus de leur garde manger ou pour d'autres raisons et non forcément dans une ascendance.
- Les variations de la direction du vent autour de vous. Si le vent change en force et / ou en direction, c'est qu'une ascendance passe pas loin.

Tout cela s'apprend facilement si le mécanisme de l'ascendance est bien compris.

Compléments sur les ascendances

Il vous faut savoir qu'une ascendance n'est pas verticale. Elle s'incline dans le sens du vent.. Pour un vent de 15 km/h à 20 km/h, l'inclinaison est de l'ordre de 20° avec la verticale. Elle est de plus de 30° au delà.

Il est clair que la force de l'ascendance tend à la redresser. C'est une histoire de composante verticale de l'ascendance et de composante horizontale du vent.



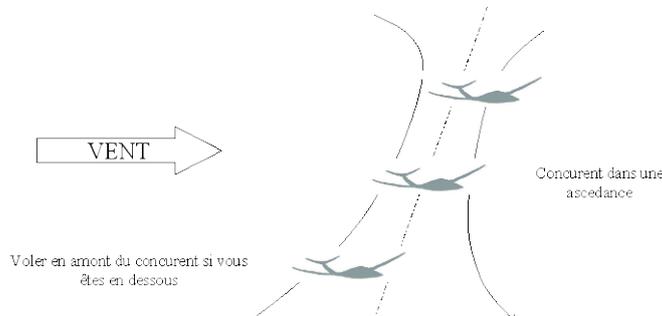
Inclinaison d'une ascendance dans le vent.

Suivant l'altitude ou votre modèle est et en fonction de la force du vent, le point de décoller peut donc être plus ou moins en amont du vent.



Le vol de durée – Conception et Stratégie

En conséquence, si vous voyez un planeur monter dans une ascendance, il vous faudra spiraler en amont si vous êtes plus bas, et aller spiraler en aval si vous êtes plus haut.



En fonction de l'altitude de votre modèle par rapport celui d'un concurrent, il faudra chercher l'ascendance devant ou derrière.

Une ascendance se déplace aussi avec le vent. Quand c'est une bulle non alimentée par le sol ou qu'elle glisse car non accrochée à une zone de déclenchement (tremplin), elle se déplace comme le fait une montgolfière (pratiquement à la vitesse du vent). Quand elle est encore alimentée par le sol, la vitesse est plus lente, voir nulle ou inverse (elle peut remonter le vent), si c'est toujours la même surface qui restitue son énergie et la même zone qui sert de tremplin. Il faut donc connaître le tremplin pour bien identifier l'origine et l'inclinaison de l'ascendance, et sentir sa vitesse de déplacement quand le tremplin n'alimente plus. C'est tout le charme du pilotage !

Tant que l'on parle d'ascendances, apportons quelques précisions supplémentaires :

- Une ascendance est étroite en bas (les colonnes ascendantes sont plus minces) et plus large en haut (des regroupements entre colonnes s'opèrent élargissant le diamètre de la colonne. De même, la puissance (la vitesse ascensionnelle) est plus faible en bas qu'en altitude. Donc, plus le planeur est haut et plus l'exploitation du thermique est aisée. En dessous de 100m d'altitude, raccrocher quelque-chose devient plus difficile. Au-dessus de 200m c'est beaucoup plus simple voir simplissime, à condition de bien visualiser le gain d'altitude, ce qui est beaucoup moins aisé à appréhender qu'au ras du sol (vous n'avez plus le sol pour vous donner une référence fixe).
- Une ascendance n'est pas forcément une colonne homogène. La coupe horizontale d'un tel phénomène est une patatoïde où l'air monte plus ou moins vite. Faites du planeur grandeur et vous verrez que cercler dans une ascendance revient à se promener en voiture dans un champ labouré. Cela remue !
- Au sein d'une ascendance, l'air tourne (comme dans une tornade). Le sens de rotation est aléatoire. Il vous faut donc essayer dans un sens, et, si vous n'arrivez pas à bien centrer la bête, essayez de tourner dans l'autre sens. La différence se voit très bien. Il nous faut donc nous habituer à spiraler dans les deux sens.



Le vol de durée – Conception et Stratégie

- Plusieurs ascendances peuvent fusionner. C'est particulièrement vrai dans les très basses couches de l'atmosphère (<200m sol) où les ascendances sont bien plus étroites. En montant, il y a des regroupements qui s'opèrent.
- Qui dit ascendance dit aussi descendance ! L'air monte au centre et redescend autour. Avec le vent « naturel », il y a des zones où cela peut descendre plus que d'autres. Donc, au raz du sol, puisqu'il y a de petites ascendances, il y a aussi des descendances qui les accompagnent. Cela occasionne un bouillonnement de l'air qui rend le pilotage inconfortable. Il arrive souvent en été que le modèle se retrouve sur la tranche, pris dans un phénomène de cisaillement de l'air. Nous verrons plus loin ce qu'il faut faire pour limiter les dégâts lorsque le modèle traverse une descendance. Sachez qu'il est dangereux de faire demi-tour. Vous venez de vous en prendre plein, ce n'est pas pour remettre le couvert une deuxième fois.
- Une descendance vous emmènera jusqu'au sol. Avec un avion de record de durée, j'ai pu expérimenter ce phénomène à plusieurs reprises. Une descendance peut être efficace jusqu'à une altitude de 5 mètres sol ! En dessous, cela se calme. Enfin !
- Nous avons vu qu'une ascendance était constituée d'une colonne d'air ascendante entourée d'une colonne d'air descendante. On peut dire qu'il y a autant d'air qui monte que d'air qui descend. Certains ont proposé une modélisation mathématique à partir de cosinus qui donne une idée simplifiée de la chose. On considère alors que l'ascendance est droite, sans turbulence, cylindrique, et que les variations sont continues sans discontinuités. Bref, une belle simplification qui a toutefois le mérite de nous faire comprendre les choses.

Avec de telles hypothèses, on peut ainsi modéliser l'ascendance à partir de ses deux paramètres d'entrée que sont le diamètre du phénomène et la vitesse maximale ascendante de l'air.

Si la distance au centre de l'ascendance considérée est inférieure au ½ diamètre du phénomène :

$$V_{air} = 0.4256 * V_{asc\ max} + 0.5743 * V_{asc\ max} * \cos(6.2832 * r)$$

A la périphérie de la colonne montante, on a aussi :

$$V_{air} = -0.0743 * V_{asc\ max} + 0.0743 * V_{asc\ max} * \cos(6.2832 * r)$$

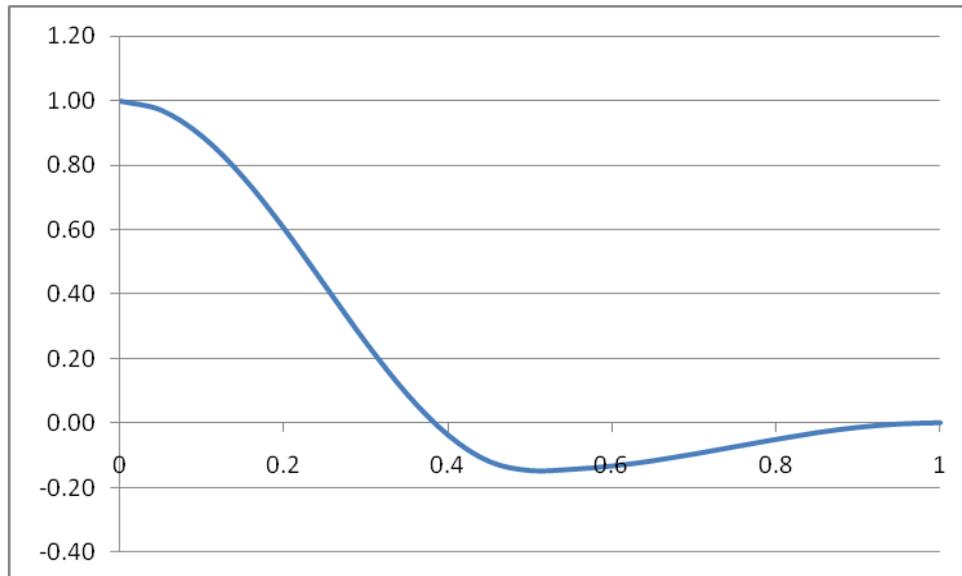
Avec :

- $V_{asc\ max}$ la vitesse maximale ascendante de l'air
- « r » le rayon considéré par rapport au centre de l'ascendance



Le vol de durée – Conception et Stratégie

En prenant une ascendance « unitaire », cela donne le graphique suivant :



La représentation d'une ascendance pourrait donner ceci. En « 0 », le centre du phénomène. Il y a autant d'air qui monte que d'air qui descend. On fait aussi l'hypothèse de continuité (pas de rupture, tout évolue progressivement).

Vous remarquez les choses suivantes :

- La colonne n'est réellement ascendante que sur 40% du diamètre.
- La vitesse descendante est bien plus faible que celle ascendante.

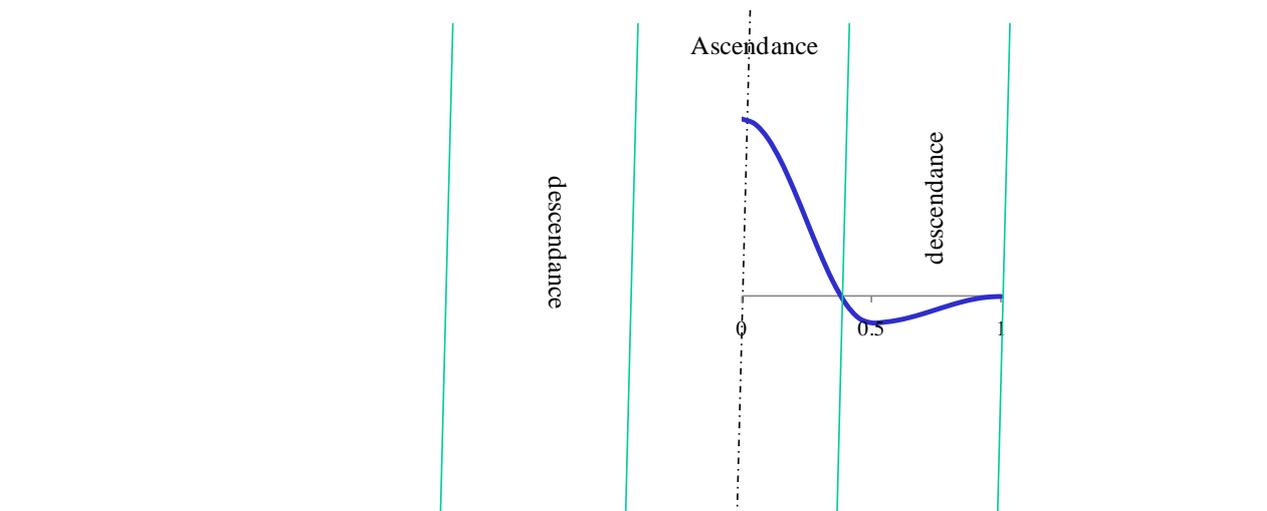
Quelles dimensions prendre ? Et bien, si l'on considère qu'il faut pouvoir exploiter la majorité des phénomènes présents et donc les petits phénomènes, on peut, pour l'Europe de l'ouest considérer une vitesse ascendante maximale de 1m/s et un phénomène d'un diamètre de 50m. Cela correspond à ce que l'on trouve à 50m d'altitude. Pour une telle ascendance de 50m de diamètre, seulement 20m représentent de l'air qui monte. Et pour une vitesse ascensionnelle de l'air de 1m, l'air ne descend que de 0.2m/s au maximum.

Est-ce représentatif ? Certainement. Un modèle chute en général autour de 0.5m/s à 1m/s. En traversant la descendance il va chuter de $0.2+0.5= 0.7$ m/s. Et quand il sera dans la zone porteuse, il montera de $1-0.5=0.5$ m/s. Or on observe en général que le planeur chute autant qu'il monte. Et pour ceux qui ont enregistré leurs prises d'altitude, monter de 1m/s nous apparaît comme étant une assez belle ascendance. L'œil arrive en effet sans problème à discerner une montée de seulement 0.1m/s. On est donc avec notre phénomène pas très loin d'une certaine réalité.

Pour modéliser les autres types d'ascendance, il suffit de changer le diamètre et la vitesse max de monté.



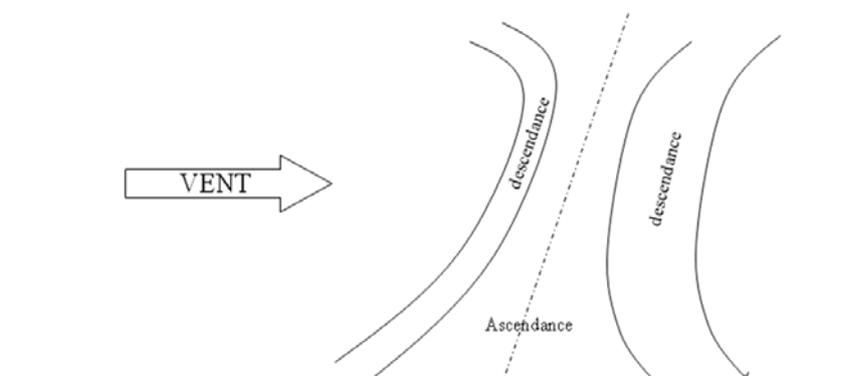
Le vol de durée – Conception et Stratégie



Modélisation simplifiée d'une ascendance.

En Europe de l'ouest, il n'est pas rare de rencontrer une ascendance de 1m/s (vitesse maximale au centre) et d'un rayon de 50m. Cela correspond à ce que l'on peut trouver à 50m d'altitude. On voit alors que la colonne d'air est ascendante sur un rayon de 20m seulement. Il va falloir pouvoir virer plus serré sans trop chuter si l'on veut obtenir un gain d'altitude... On pressent qu'il y a un angle d'inclinaison de la spirale optimale. Les calculs montrent qu'il faut en général virer avec un modèle incliné entre 40 et 60° pour obtenir cet optimum.

- La répartition de la force et de l'épaisseur d'une descendance n'est pas non plus constante tout autour d'une descendance. En particulier, le vent, qui incline l'ascendance, modifie aussi la forme et l'intensité de la descendance. Le vent, en appuyant sur l'ascendance pour la déplacer, comprime aussi la descendance. L'épaisseur de la descendance est ainsi plus faible au vent que sous le vent. Il est donc plus facile d'aborder une ascendance en descendant le vent qu'en le remontant.



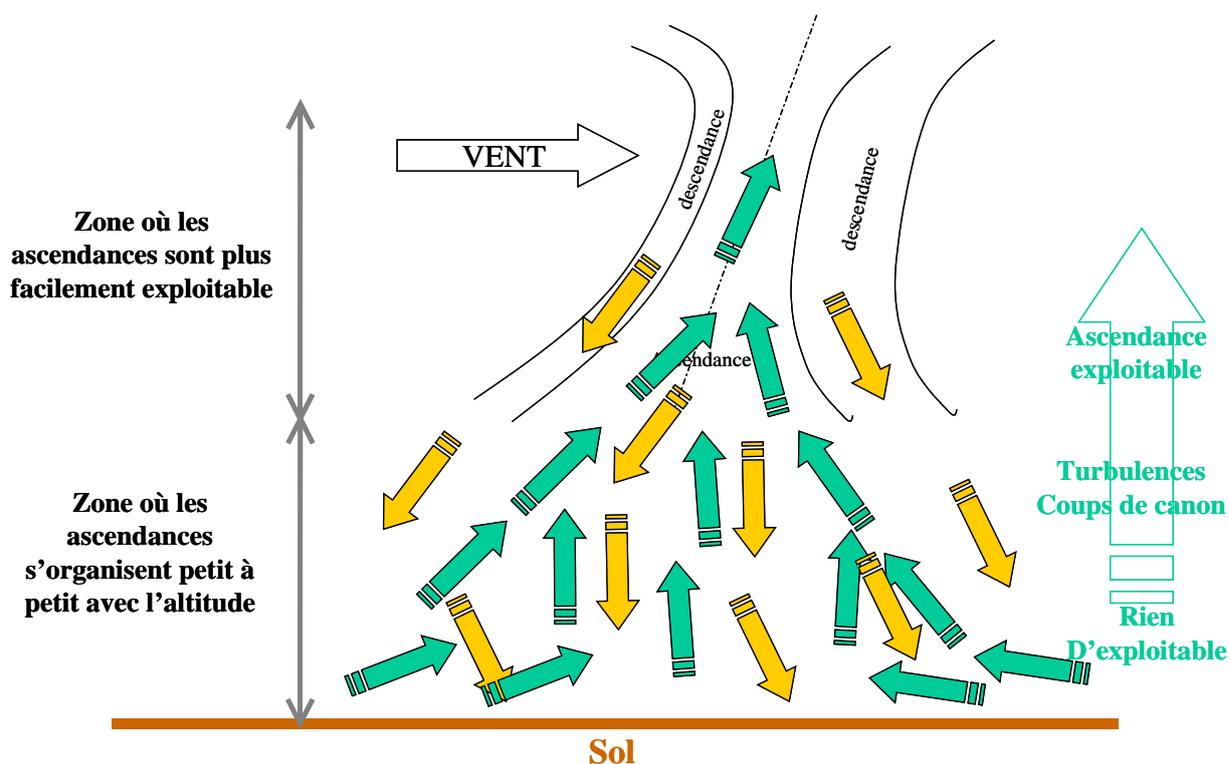
Autour d'une ascendance se trouvent des zones de descendance. Leur épaisseur est plus importante sous le vent qu'au vent.

- Une ascendance n'est pas forcément exploitable à partir du sol. Le vent, en balayant le sol, désorganise la belle colonne d'air. Elle met plus de temps à



Le vol de durée – Conception et Stratégie

retrouver un mouvement plus régulier. Donc, plus le vent est fort, et plus la masse d'air ne peut s'exploiter qu'à partir d'une certaine altitude, voir d'une altitude certaine. Par vent faible, on arrive à raccrocher lors du dernier virage à moins de 20m, en bout de piste. Mais par vent fort, leur exploitation demande plus d'altitude et il faut des fois atteindre 150m au moins pour trouver quelque chose. Il y a donc, au niveau du sol une couche où l'ascendance, balayée par le vent, est hachée et difficilement exploitable. Elles sont étroites, des fois violentes, voir comme des coups de canon à vous mettre sur la tranche, et en tout cas difficilement centrable. Un vrai bouillon. Puis tout cela s'organise, se regroupe, et devient plus facile.



Plus le vent est fort, et plus l'ascendance est difficilement exploitable à faible altitude. Il y a trop de turbulence dans les très basses couches. L'air est totalement désorganisé. Il faut attendre que tout cela se calme (et donc attendre que l'air soit un peu plus « organisé » en altitude) pour pouvoir exploiter l'ascendance. A titre d'exemple, par un vent de 20 km/h et plus, il n'est pas rare de ne rien pouvoir exploiter en dessous de 100m voir 150m d'altitude.

- Méfiez-vous des nuages. Il est très difficile d'apprécier leur éloignement et leur taille. Entre l'altitude, l'inclinaison de l'ascendance par le vent et les erreurs de parallaxe, vous avez plus de deux chances sur trois de vous tromper. Donc, ne pas chercher l'ascendance avec la stratégie d'aller sous le nuage.
- Enfin, il faut savoir qu'en régime stabilisé, les thermiques reviennent très régulièrement. Selon que l'on est en été ou en hiver, le matin ou le soir, ou que la pression atmosphérique soit « haute » ou « basse », une ascendance peut revenir toutes les ½ heures ou toutes les 5 minutes. Si les pressions sont



Le vol de durée – Conception et Stratégie

hautes, le cycle est long. Si elles sont basses, le cycle est court. Bien sûr, l'hiver, le cycle est de période plus longue. Bref, bien repérer la période de développement des ascendances avant de voler. En Europe, on peut dire qu'à la bonne saison pour voler, le cycle est en général compris entre 10 et 15 minutes. Donc ce n'est pas parce qu'il n'y a rien, qu'il n'y aura rien plus tard. Par contre, si vous trouvez quelque-chose, revenez dans un quart d'heure et, si les nuages n'ont pas perturbé le cycle de vie des thermiques, il y a de fortes chances pour qu'il y ait à nouveau du plus dans les mêmes parages. Il y a donc un très grand intérêt à noter les heures de passage des thermiques. Et si un thermique est passé il y a près de 10 minutes, aller au vent des fois que le train arrive !

Bref, les coins à champignons thermiques se chassent comme le font tous bons mycologues, à pieds, le nez sur le terrain et en l'air.

Un petit plus sur les ascendances :

Vous avez sûrement remarqué que la biroute de votre terrain changeait de direction dans le temps d'environ +/- 15° par rapport au lit du vent. Pourquoi ce phénomène ? Et bien, à cause des ascendances qui passent. En s'élevant, la bulle crée un appel d'air au niveau du sol. Ce vent d'ascendance s'ajoute avec la composante du vent « naturel » et nous donne l'impression de vent plus fort ou plus faible.

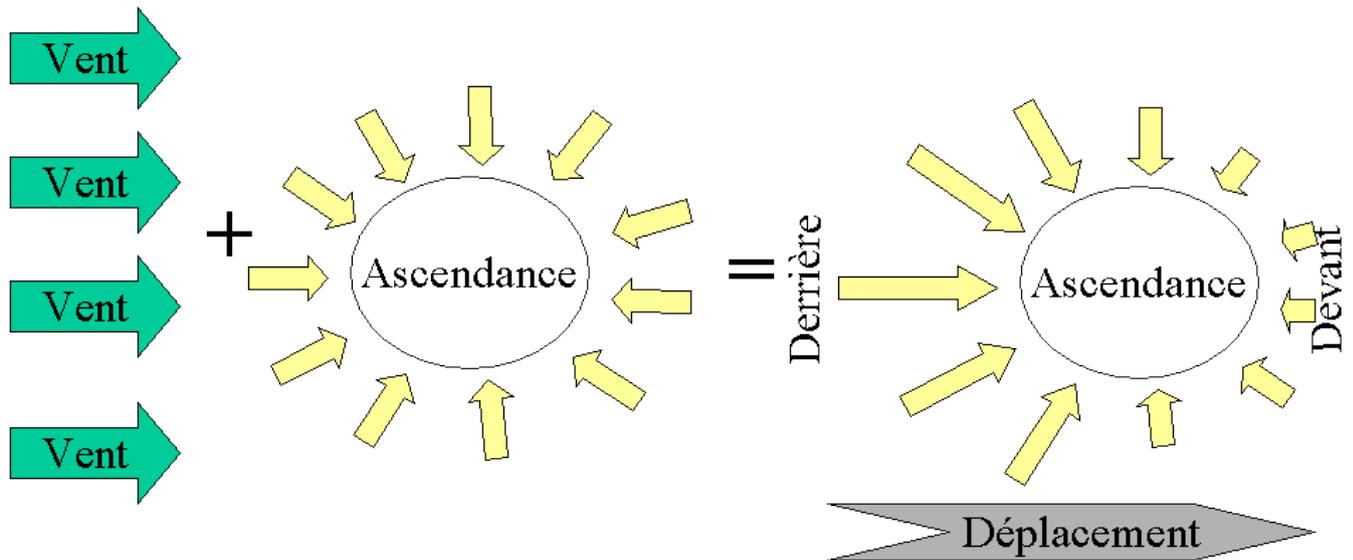
Quand vous faites face au vent et que vous ressentez une baisse du vent, c'est que l'ascendance est devant vous à quelques dizaines de mètres. Il est urgent de décoller. En altitude, elle est déjà au-dessus de vous. Et au moment où le vent est minimal, voir nul, c'est qu'elle est sur vous.

Quand le vent se renforce, c'est que l'ascendance est passée derrière vous. Si vous partez maintenant, il vous faudra vite aller sous le vent pour l'attraper. Et avec son inclinaison, il vous faudra aller assez loin derrière.

Si le vent change de direction (par exemple le vent vient de la droite), c'est que l'ascendance est sur votre gauche. Combinez force et direction et vous pouvez savoir si elle est devant ou derrière, à gauche ou à droite.



Le vol de durée – Conception et Stratégie



Variation du vent autour d'une ascendance au niveau du sol.

Exemple d'Interprétation de terrain du Chouette club

Voici ci-dessous une petite analyse du terrain du Chouette Club qui applique l'ensemble des règles énoncées.

Attention ! Cette analyse fait fi des zones de vol autorisée et de celles interdites. Il faut bien sûr tenir compte de cela lorsque l'on établit une analyse et une stratégie de vol.



Le Terrain du Chouette Club dans le 91. Tenir compte des zones de vol autorisée et des zones interdites pour établir sa stratégie (non fait ici).

J'ai choisi de ne retenir que 7 zones. C'est déjà pas mal pour une analyse dans un rayon de 300m autour du point d'envol.

- Zone 0 : La zone de décollage.

Notre terrain est situé sur une butte à une petite dizaine de mètre au-dessus de la plaine environnante. Un vrai porte avion. Cela génère de forts contrastes tout autour comme nous allons le voir. Déjà, le terrain en herbe rase contraste avec les cultures alentour. Il n'est ainsi pas rare, lors du circuit d'atterrissage, de devoir refaire un 360° en finale courte, car tout à coup, cela porte. J'ai même plusieurs fois raccroché à 20 m d'altitude.

- Zone 1 : L'ancienne fosse.

Au matin, ce petit bassin en béton d'une dizaine de mètre de diamètre, niché au pied de la butte, chauffe plus vite que l'environnement. Il n'est pas rare d'y trouver une petite ascendance étroite mais régulière sur les coups de 10h. L'après midi, elle est à l'ombre... A exploiter avec un lancer main ou une machine qui vire dans un mouchoir de poche.

- Zone 2 : Une haie d'arbre et un parking.

Orientée nord / sud, cette haie a un double emploi. Avec un vent venant de l'est, vous pouvez surfer sur la haie. Le jeu consiste alors à longer la pente du nord vers le



Le vol de durée – Conception et Stratégie

sud, de transiter pour récupérer la haie d'arbre, et de revenir ensuite soit par le même chemin, soit en rejoignant la pente derrière la haie. Un vrai petit circuit. Au milieu, le parking en terre battue. Les voitures du centre de tir s'y garent. De vieux pneus sont entreposés sur les pentes. Tous les ingrédients pour créer un bon chaudron à thermiques le matin jusque vers 14 à 15h. C'est le deuxième emploi de cette zone.

- Zone 3 et 4 : Le champ de tir.

Par vent du Sud à Sud Ouest, une rangée de peuplier et une mini-falaise créent un effet de pente du plus bel effet. Attention aux balles perdues ! Dommage. De plus orienté plein sud, le champ de tir est une bonne champignonnière à thermiques et la ligne d'arbre ou la crête est un bon tremplin. Avec le vent dominant cette zone génère des thermiques réguliers qui passent au-dessus du terrain. Tout n'est donc pas totalement perdu !

- Zone 5 : Pente ouest à nord-ouest. Elle est bien orientée pour faire du vol de pente quand le vent daigne s'orienter comme il faut. Malheureusement, pour le thermique, ce n'est pas top. Le terrain est en dévers et orienté vers le nord-ouest. Il a donc du mal à chauffer. Pas de thermiques le matin et peu l'après midi, sauf en soirée, par vent de nord Ouest, lorsque la crête sert de tremplin.

Ces 5 zones permettent à un planeur léger, comme par exemple un volenbulle, de rencontrer des conditions très variées. De beaux vols sont réalisés en été comme hivers grâce à cette diversité. Les atterrissages sont plus difficiles car effectués dans les tourbillons générés par les pentes. Et puis, si vous êtes trop long ou trop court, cela fait plouf ! Mais on s'y fait très bien. C'est juste un bon apprentissage.

Avec des planeurs plus grands et plus chargés, il est possible d'explorer plus de terrains. Si à l'ouest et au sud les champs sont assez grands (plus de 300 m de côté), une bande au nord et une à l'Est sont intéressantes à observer.

- Zone 6 : Bande Nord.

La bande Nord est constituée de plusieurs champs. Un chemin d'accès au terrain y passe. Qui dit plusieurs champs dit aussi plusieurs cultures ! Nous avons donc là des conditions propices à la création de thermiques. Ces terrains sont malheureusement placés « sous le vent » par rapport aux vents dominants du sud-ouest. Mais avec une machine qui transite bien et avec quelques précautions, on y trouve en général son bonheur.

- Zone 7 : La carrière.

A l'est du terrain se trouve une carrière à Sablon. Elle est encadrée par deux bois au nord et au sud. La carrière se retrouve ainsi abritée du vent du sud-ouest. Si le matin, le terrain a des difficultés à chauffer, à partir de midi, l'air commence à vibrer, à bouillonner et c'est un endroit merveilleux pour les thermiques. La zone est située assez loin du terrain. Il faut donc pouvoir y aller et en revenir en cas de besoin. De plus, centrer un thermique en limite de visibilité, est un bon challenge. Faut-il insister plus loin, revenir ? Voilà les questions à gérer à chaque fois. Heureusement les risques sont faibles car la récupération des modèles en perdition est facile.

Entre le terrain et la carrière, un champ tout en longueur. Coincé entre le terrain, la carrière et les champs à son nord, cette bande participe à la création de contrastes thermiques. Il n'est pas rare de trouver quelque-chose dans ses parages.



Conséquences sur la conception du modèle

Quelque soit la catégorie, il va falloir pouvoir aller chercher l'ascendance et l'exploiter.

Ce qui fera la différence entre deux machines c'est leur capacité à aller un peu plus loin que les autres et celle à exploiter une ascendance un peu plus faible et un peu plus étroite.

Le matin, lorsqu'il n'y a pas ou peu de thermiques, il faut absolument ne pas chuter. C'est là que le planeur a le plus d'importance.

Dans la journée, c'est un peu plus compliqué. Le pilote et sa stratégie prend toute son importance. Le modèle, s'il est alors un peu plus en retrait, doit rester optimisé.

Mais sont-ce les seuls paramètres à prendre en compte ? Certainement pas.

D'autres phases du vol comme la mise en altitude, l'atterrissage, sont potentiellement aussi importantes.

Décomposition d'un vol de durée

Le vol de durée ne se résume pas seulement à tenir en l'air sans chuter. On peut le décomposer en plusieurs phases depuis le décollage jusqu'à l'atterrissage :

- Mise en altitude
- Recherche d'ascendance
- Exploitation s'ascendance
- Retour vers la zone d'atterrissage
- Atterrissage.

Selon chaque règlement, chaque phase est plus ou moins prépondérante et influe sur la conception du modèle. Par exemple, un modèle qui a le temps pour monter ne doit pas encaisser les mêmes efforts qu'un autre pour lequel le temps de montée est décompté du temps de vol. La charge alaire minimale étant alors différente, le comportement en vol des deux types de modèle seront différents permettant d'ouvrir ou de fermer certains choix techniques.

Pour définir le modèle, il nous faut donc bien analyser chaque phase du vol et, au regard du règlement, donner une importance à chacun d'eux.

Mise en altitude

Suivant les catégories, la mise en altitude est décomptée du temps de vol (ex : Electro7, F3J). Il y a alors intérêt à monter vite.

Pour d'autres catégories, il faut monter le plus haut possible (F3B,F3K).

Pour la Formule France on dispose d'un élastique et d'une tension maximale. On dispose alors d'une certaine énergie qu'il faut exploiter au mieux.



Le vol de durée – Conception et Stratégie

Enfin pour d'autre, une altitude maximale est fixée (F5J, F3Q)

Lorsque le temps de montée est compté ou quand il faut monter le plus haut possible, il est primordial de bien comprendre ce qu'il se passe pendant cette phase du vol et de l'optimiser. Le moindre petit détail compte comme le choix du centrage et la position du crochet (cas des treuils) par rapport à ce centrage.

Cette phase du vol a donc un intérêt essentiel pour beaucoup de catégories.

Pour répondre à leurs besoins et en déduire les caractéristiques influentes du modèle, nous allons aborder différents points comme le temps de monté, l'énergie en jeux, les vitesses de vol, les forces qui s'exerces.

Energie pour monter

Quelle est l'énergie nécessaire pour monter à une certaine altitude et être largué à une certaine vitesse ?

Assez simple. Ajoutons l'énergie potentielle correspondant à la mise en altitude à l'énergie cinétique correspondant à la prise de vitesse plus le fait qu'il y a des pertes dans le vol que l'on retrouve sous la forme de vitesse de chute.

$$Energie = 0.5 * m * V^2 + m * 9.8 * (h + V_z * t)$$

Où « h » est la hauteur atteinte, « V » la vitesse de vol, Vz la vitesse de chute, t le temps du treillage, et « m » est la masse du modèle.

Prenons une masse moyenne de 1.9Kg, une vitesse de 40m/s, une Vz de 1m/s, un temps de treillage de 3 secondes et une altitude de 100m pour avoir un ordre de grandeur (c'est le cas type du treillage de F3J). Le treillage met alors en jeu une énergie de 3450 Joules.

Cette énergie est dépensée en 3s (c'est ce qui est envisagé en F3J par exemple),

$$Puissance = Energie / temps$$

On obtient donc dans notre exemple la puissance mécanique moyenne de 1150W. Dans notre exemple, ceci représente l'énergie dépensée par 2 costauds (Un homme est capable de développer environ 400 à 500w sur une courte période).

Pour passer à des puissances électriques, il faut juste diviser cette puissance par les différents rendements des organes participant à la mise en altitude (ex : batterie, fils, réducteur, hélice...).

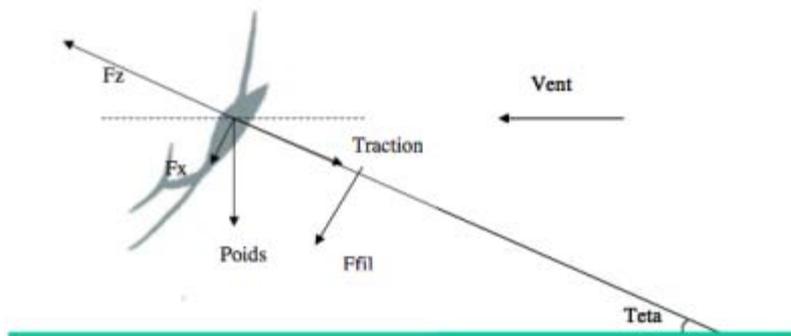


Traction et vitesse du modèle (cas du treuillage)

Schématisation des forces en présence :

Dans un premier temps nous prendrons la ligne de vol constante pendant toute la montée. Les forces en présence sont :

- La portance (F_z)
- La traînée du planeur (F_x)
- La traînée du fil (F_{fil})
- Le Poids
- La traction du fil
- Le vent qui augmente la vitesse du planeur.



forces en présence

Lors de la montée, le modèle se comporte comme si il avait un poids égal à la traction (plus la projection du poids sur l'axe de traction) et une traînée qui est celle du planeur, plus du fil plus la projection du poids sur l'axe de traînée.

Les choses sont donc variables et totalement différentes du cas habituel d'un modèle volant.

Dans un premier temps, nous allons négliger la traînée du fil et ne regarder que l'influence de la traction.

Soumis à une traction donnée, le modèle va donc voler à une vitesse donnée selon la formule bien connue. Il suffit de remplacer le poids par la traction*9.81 dans :

$$V = 4 * \sqrt{\frac{Ch}{Cz}}$$

Avec Ch la charge alaire en Kg/m^2 et Cz le coefficient de portance.

On voit alors que les vitesses de vol sont assez importantes pour les tractions de 40kg comme cela est constaté en F3J par exemple.



Energies en jeux

L'énergie potentielle lors de la montée peut aussi s'exprimer de la façon suivante :

$$Energie_{pot} = Traction * Dist_parcourue$$

Les mesures faites avec un peson enregistrant la traction pendant un treuillage ont montrés qu'en F3B ou F3J, la traction peut être prise constante.

Avec un sandow, on peut assimiler le caoutchouc comme étant un ressort avec une traction fonction linéaire de l'allongement. La traction moyenne est alors la traction maxi divisée par 2. On peut alors facilement retomber dans le cas d'une traction constante.

La distance parcourue est une sorte de portion de cercle. Simplifions et disons que c'est une portion de cercle avec un rayon moyen.

La puissance nécessaire est toujours l'énergie divisée par le temps du treuillage.

Calcul de la force de traînée du fil

La force de traînée est fonction de la vitesse du planeur. On considérera le coefficient de traînée constant ce qui n'est pas le cas compte tenue des phénomènes physiques de sifflement du fil que l'on constate aux fortes vitesses (Mise en résonance du fil).

La vitesse du fil est proportionnelle à la distance entre le point d'ancrage du renvoi du treuil et le point du fil considéré pour atteindre la vitesse du modèle au niveau du crochet.

On a donc :

$$F_{fil} = \int_0^{longueur_totale_fil} 0.5 * \rho * (V * \frac{l}{longueur_totale_fil})^2 * C_{x_{fil}} * \phi_{fil} * dl$$

Soit en considérant la longueur constante (on néglige la perte d'altitude) et en considérant le C_x constant, on a :

$$F_{fil} = 0.5 * \rho * longueur_totale_fil * \phi_{fil} * C_{x_{fil}} * V / 3$$

Quelle valeur de C_x prendre pour le fil ? La littérature donne un C_x du fil de l'ordre de 1. Faites le calcul, avec un tel C_x , la traînée totale du fil est au moins égale à celle du modèle.

En conséquence, lors du treuillage, la montée est optimale lorsque les volets sont abaissés de 12 à 15° (meilleur C_z^3/C_x^2) et non avec 4 à 6° comme on a l'habitude de le voir pour le vol.

Influence du vent lors du treuillage

Le vent (prenons-le de face) joue un rôle important :



Le vol de durée – Conception et Stratégie

- Au début du treuillage, il vient se soustraire à la vitesse de chute. Le vent joue alors un rôle de fournisseur d'énergie. Ceux qui font du sandow le savent bien car en faisant des S à faible altitude, on arrive à tellement tendre l'élastique qu'il peut arriver à se rompre.
- En fin de treuillage, il diminue la vitesse sol apparente comme pour le vol.

Le vent apporte donc l'énergie :

$$Energie_{vent} = (Traction + mg * \sin(\theta)) * V_{vent} * \cos(\theta) / t$$

Avec « t » le temps du treuillage.

Caractéristiques importantes pour le modèle

Il faut bien sûr disposer de la plus grande puissance et la consommer le mieux possible. Partant de cela, le modèle devra résister aux différents efforts (ressources, traction du fil...).

Pour les différentes catégories, nous avons alors les conséquences suivantes sur la catégorie :

	Temps de monté décompté du temps de vol	Monter le plus haut possible	Disposer d'une énergie fixe pour monter	Disposer d'une altitude maximale
Masse	La plus faible	La plus faible	La plus faible	-
Charge alaire	Est la conséquence de la résistance à la traction du treuillage (40kg) de l'allongement de l'aile, de l'épaisseur du profil et du mode de construction	Est la conséquence de la résistance à la traction du treuillage (25 à 40 kg) de l'allongement de l'aile, de l'épaisseur du profil et du mode de construction	La plus faible	-
Cz (modèle complet)	Le plus élevé	Le plus élevé	Le plus élevé	-
Cz ³ /Cx ² (modèle complet)	Le plus élevé pour la charge alaire donnée (≈traction/S _{aille})	Le plus élevé pour la charge alaire donnée (≈traction/S _{aille})	Le plus élevé	-
Cx	-	Le plus faible entre Cz=0.2	-	-



		et 0 (Zoom à 300km/h)		
Stabilité lacet	Attention au dutch roll	Attention au dutch roll	Bonne pour pouvoir faire des cercles et tendre l'élastique dans le vent	-
Stabilité longitudinale	Bonne (mais secondaire).	Bonne (mais secondaire)	secondaire	-

Les profils pour le F3B ou F3J sont donc assez différents entre eux de par les vitesses atteintes. Un profil de F3B aura un bord de fuite plus épais qu'un profil type F3J.

Recherche d'une ascendance

La recherche d'une ascendance est une chasse. C'est comme les champignons. Une technique, une science, de l'expérience.

L'influence de cette chasse sur le modèle est une question de distance entre deux ascendante, de diamètre et de force de la colonne ascendante.

Transition vers une ascendance

Distance entre deux ascendances et capacité à transiter sont très liés. En Europe de l'ouest compte tenu de la taille moyenne des champs, il n'est pas rare de voir des ascendances distantes entre elles de 1000m. Il faut donc parcourir à peu près cette distance (distance sol) si l'on considère que l'on fait quelques crochets avant de la trouver. Il est fort probable que le modèle aura alors perdu quelques 100m d'altitude.

Pour les modèles types F3K, c'est un peu différent. Il faut considérer l'environnement très proche (haies, arbres, fossés...) comme un monde à part entière et jouer avec... Les distances sont alors moins grandes, les phénomènes aussi. Tout est miniaturisé. Et quand on attrape un truc, on peut passer dans le grand bain, tout là haut... Mais ce n'est alors plus très drôle.

Transiter se fait à priori à V_z min dans un air neutre ou porteur. En effet, il ne faut pas trop perdre de temps de vol en volant à finesse max.

Il faut donc le meilleur rapport CZ^3/CX^2 .

En air moins calme (quand il y a des ascendances) il peut être intéressant d'aller un peu plus vite et d'être à finesse sol max histoire de balayer la plus grande surface, propice aux ascendances, possible.

Ce qui est certain c'est que dès qu'il y a un air « déporteur », il faut filer au plus vite et retrouver rapidement des conditions plus favorables.



Le vol de durée – Conception et Stratégie

Le vent et la probabilité de trouver une ascendance vont donc jouer un rôle. Plus il y a de vent et moins vous disposez de temps pour trouver une ascendance (l'altitude minimale pour raccrocher augmente avec la force du vent). Il vous faut donc bien saisir votre chance à exploiter l'ascendance en allant directement dessus et de façon optimale.

Qui dit ascendance dit aussi descentance. Là encore, il ne faut pas rester planté dans une descentance mais s'en sortir le plus vite possible tout en perdant le minimum d'altitude.

Dans ces conditions, le vol est similaire à la phase de retour vers le point d'atterrissage. Il y a du « Mac Cready » dans l'air. Rendez vous au chapitre « Retour vers la zone d'atterrissage ».

Le but de la transition est aussi, ne l'oublions pas, de trouver la zone porteuse. Il faut donc un modèle qui puisse marquer clairement les changements de l'air ambiant. Pour cela, il ne faut pas que le pilote soit tout le temps à donner de petites corrections. Elles pourraient masquer ce qu'il se passe dans l'air. Il faut donc regarder avec soin la stabilité longitudinale mais aussi latérale. Un modèle qui n'est pas bien équilibré sur cet axe demandera plus d'ordres et de temps pour changer d'attitudes.

La stabilité longitudinale est importante pour un autre aspect. Celui de la variation de vitesse en vol plané. Des mesures ont montré que la vitesse sur une trajectoire rectiligne pouvait varier naturellement de +/-1m/s autour de la vitesse moyenne. A la vitesse donnant la V_z min, la vitesse de décrochage est en général à moins d'1m/s en dessous de cette vitesse. Cela veut donc dire que sans intervention du pilote qui tentera de supprimer cette oscillation naturelle de vitesse (y arrivera t'il tout le temps ? La lecture de l'air ne s'en trouve t'elle pas affectée ?), le modèle ne pourra pas voler à la vitesse donnant la plus faible vitesse de chute. A titre d'exemple, vous avez une aile capable de donner du -0.3m/s mais vous ne pouvez pas obtenir mieux que -0.4 ou 0.5m/s pour des raisons de dynamique de vol et d'impossibilité à toujours maîtriser la machine. Sans commentaire ! Je vous renvoie donc au chapitre sur la stabilité longitudinale et latérale.

Caractéristiques importantes pour le modèle

Transiter vers une ascendance demande de :

- Avoir la meilleur V_z min demande un bon c_z^3/C_x^2 et une faible charge alaire.
- Ne pas traîner en chemin demande une vitesse sur trajectoire élevée et donc une forte charge alaire et un faible C_z .
- La transition optimum demandera ainsi un profil qui permettra d'avoir la meilleur V_z min au plus faible C_z possible.
- Le modèle devra avoir une capacité à voler à vitesse constante avec la plus faible variation de vitesse (<0.5m/s). Une marge statique longitudinale nulle ou faible est donc à privilégier.



Le vol de durée – Conception et Stratégie

Une façon d'améliorer les choses est de travailler sur l'allongement. Augmenter l'allongement diminue la traînée induite. Mais cela augmente la charge alaire (voir chapitre construction).

La charge alaire est à la fois un allier et un problème pour la transition. Là, il y a un équilibre à trouver en fonction de la vitesse du vent et des descendance. Si certains modèles type F3K peuvent avoir une charge de l'ordre de 13 g/dm² (leur transition ne se fait pas sur quelques centaines de mètres), les catégories utilisant un terrain de jeu plus grand vont devoir avoir une charge alaire plus grande afin de transiter correctement dans des vents souvent supérieurs à 5m/s. Il semble qu'une charge entre 20g/dm² et 40g/dm² soit à envisager.

Exploitation d'une ascendance

La capacité à exploiter une ascendance consiste à pouvoir rester dans la zone porteuse en optimisant le taux de monté.

L'ascendance peut être « modélisée » d'une façon assez simple. Voir le chapitre aérologie.

On peut alors regarder comment se comporte le modèle en virage dans l'ascendance et les caractéristiques importantes pour cette phase de vol.

Comment vole un modèle en virage ?

Regardons maintenant le comportement du planeur en spirale. A quelle vitesse chute-t-il ?

Ce n'est pas très difficile à calculer.

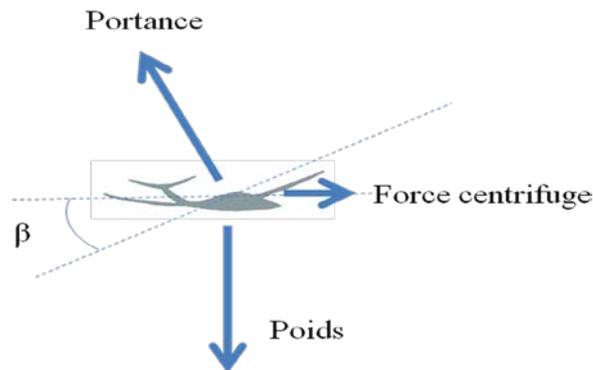
$$Forcecentrifuge = \frac{m * v^2}{r}$$

En virant, le modèle doit compenser la force centrifuge.

Les autres forces sont la portance et le poids. La traînée est dans un autre plan.



Le vol de durée – Conception et Stratégie



Quand un modèle vire, il faut qu'il combatte la force centrifuge.

Nous la laissons donc de côté.

Donc, pour un angle d'inclinaison « β », le modèle va donc s'équilibrer en virage.

Le rayon de ce virage est donné par :

$$r = \frac{1.63 * Ch_{\text{alaire}}}{C_z * \sin \beta}$$

Où 1.63 est une constante intégrant la densité de l'air, etc,

Ch_{alaire} est la charge alaire en kg/m^2

C_z la portance du modèle

Nous voyons donc que le rayon du virage ne dépend pas de l'envergure. Un 4m virera de la même manière qu'un lancer main s'il a la même charge alaire et développe la même portance.

La V_z du planeur en virage devient :

$$V_z(\beta) = 4 \sqrt{\frac{Ch_{\text{alaire}} * C_x^2}{\cos \beta * C_z^3}} = \frac{V_z}{\sqrt{\cos \beta}}$$

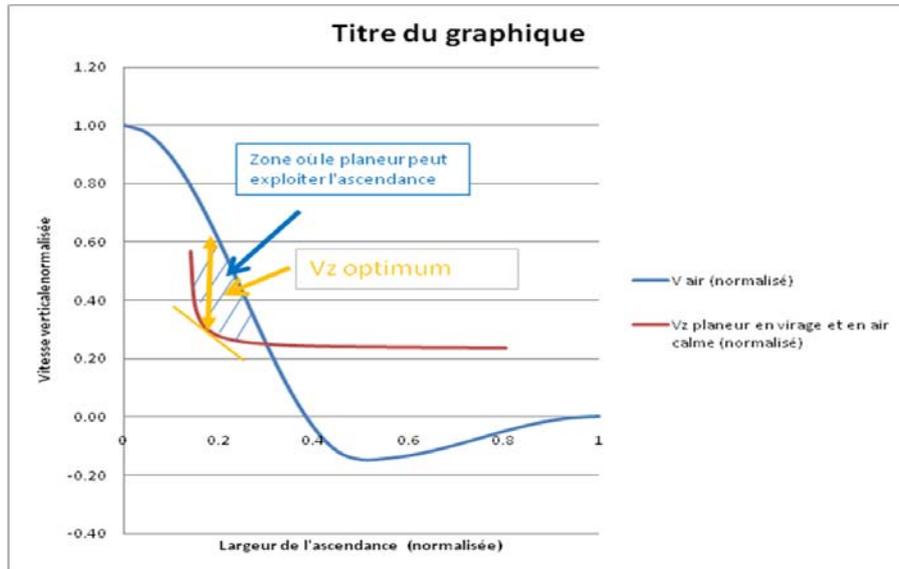
Plus le modèle vire serré, et plus il chute.

Optimisation du rayon de virage dans l'ascendance

Graphiquement, cela peut se représenter de la façon suivante e juxtaposant la vitesse de l'air et la vitesse de chute du planeur en virage :



Le vol de durée – Conception et Stratégie



Superposition du mouvement de l'aire et du mouvement du modèle en virage. Seule la zone hachurée permet un gain d'altitude. Il existe un optimum ascensionnel représenté en Orange.

Nous voyons donc que pour exploiter une ascendance, il faut virer assez serré afin d'être dans le cœur de l'ascendance, mais que ceci va augmenter la vitesse de chute. A ce petit jeu, il doit y avoir un angle de virage optimum.

Regardons cela en détail.

Prenons différentes charges alaires et supposons que chaque modèle développe la même portance.

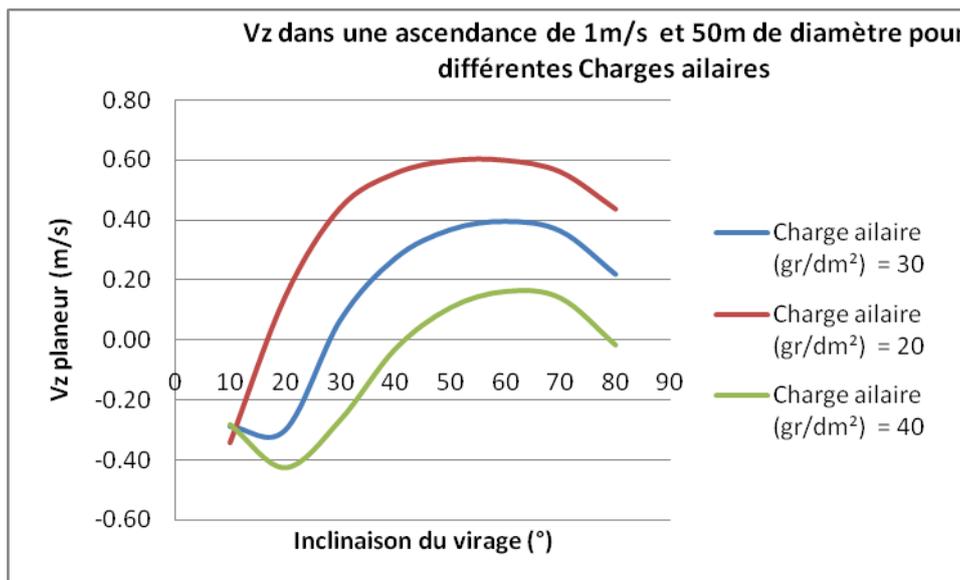


Illustration de l'influence de la charge alaire sur la capacité à exploiter une ascendance. Les planeurs chargés sont défavorisés !

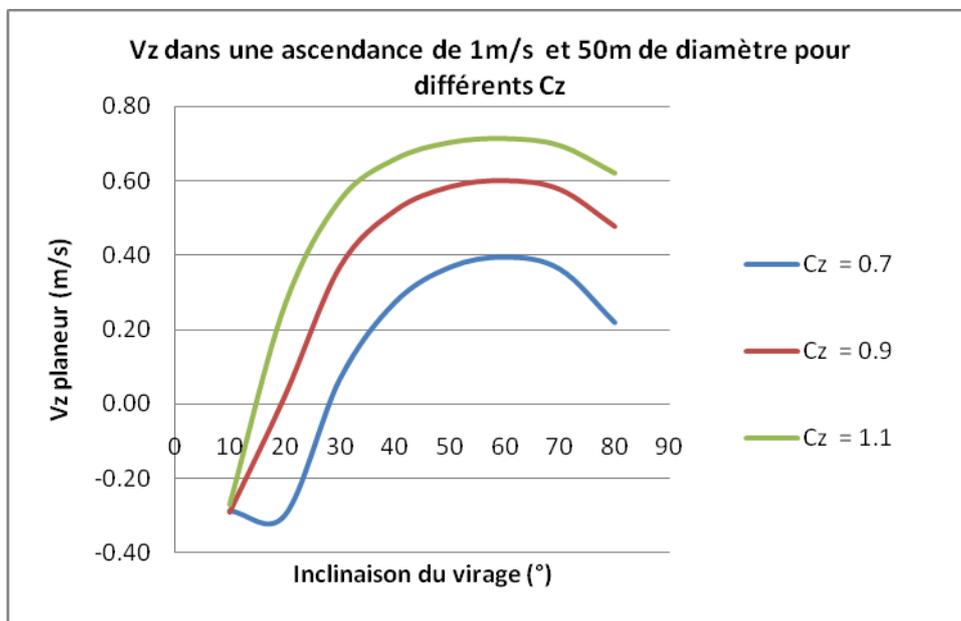


Le vol de durée – Conception et Stratégie

Un modèle de 40g/dm² a bien du mal à monter dans une ascendance de 50m de diamètre et 1m/s de vitesse max. Il lui faut virer à 60°. Par contre, un modèle à 20gr/dm² montera bien mieux et ne demandera qu'une inclinaison de « seulement » 50°.

Nous voyons tout de suite que l'exploitation des petits phénomènes demande de serrer les virages. L'exploitation des ascendances à faible altitude demande donc de spiraler aux grands angles sauf si le phénomène est du type « grande zone porteuse ». Il faut donc un modèle stable sur tous les axes pour pouvoir réaliser ce type de virage en continu.

De même suivant la capacité à générer de la portance, l'exploitation d'une petite ascendance est plus ou moins facile :



Avoir un planeur qui développe de la portance est une autre clé pour exploiter les petits phénomènes thermiques.

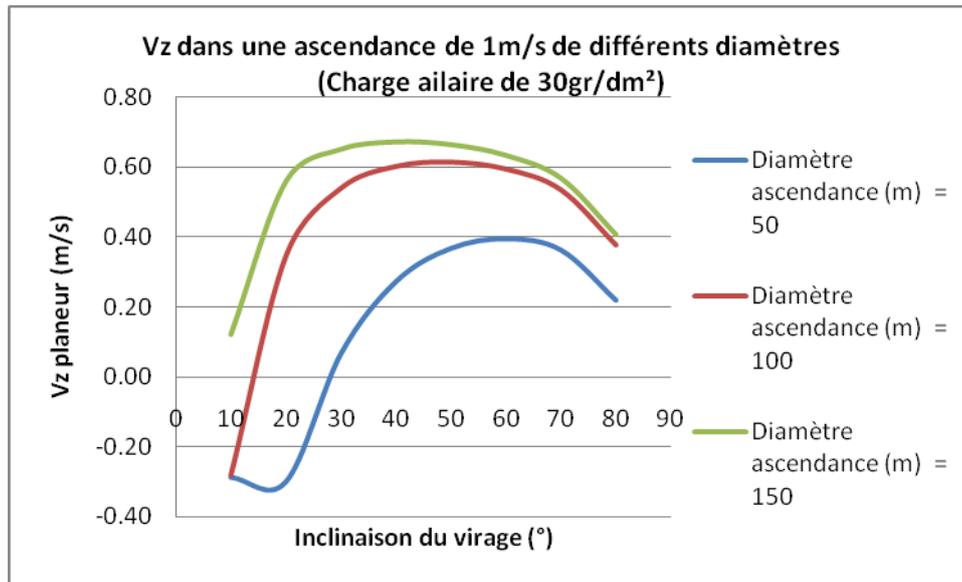
Nous comprenons ainsi très bien pourquoi il faut « sortir » les volets quand le modèle est dans l'ascendance. Cela permet d'augmenter la portance, donc de diminuer la vitesse et ainsi diminuer le rayon de virage et être un peu plus dans le cœur de l'ascendance.

Dans une ascendance de 50m de diamètre (avec seulement 20m ascendant), il faut alors un rayon de virage de l'ordre de 5 à 8 mètres suivant les modèles. C'est ce que l'on appelle virer sur le saumon. A la vitesse de vol de 8m/s, un tour de spiral demande 4 à 6 secondes environ. C'est donc assez rapide.

Bien sûr, si le phénomène est plus large, le virage peut être moins serré. Remarquez qu'il faut quand même être à 40° d'inclinaison pour un phénomène de 150m de diamètre (colonne ascendante de 60m).



Le vol de durée – Conception et Stratégie

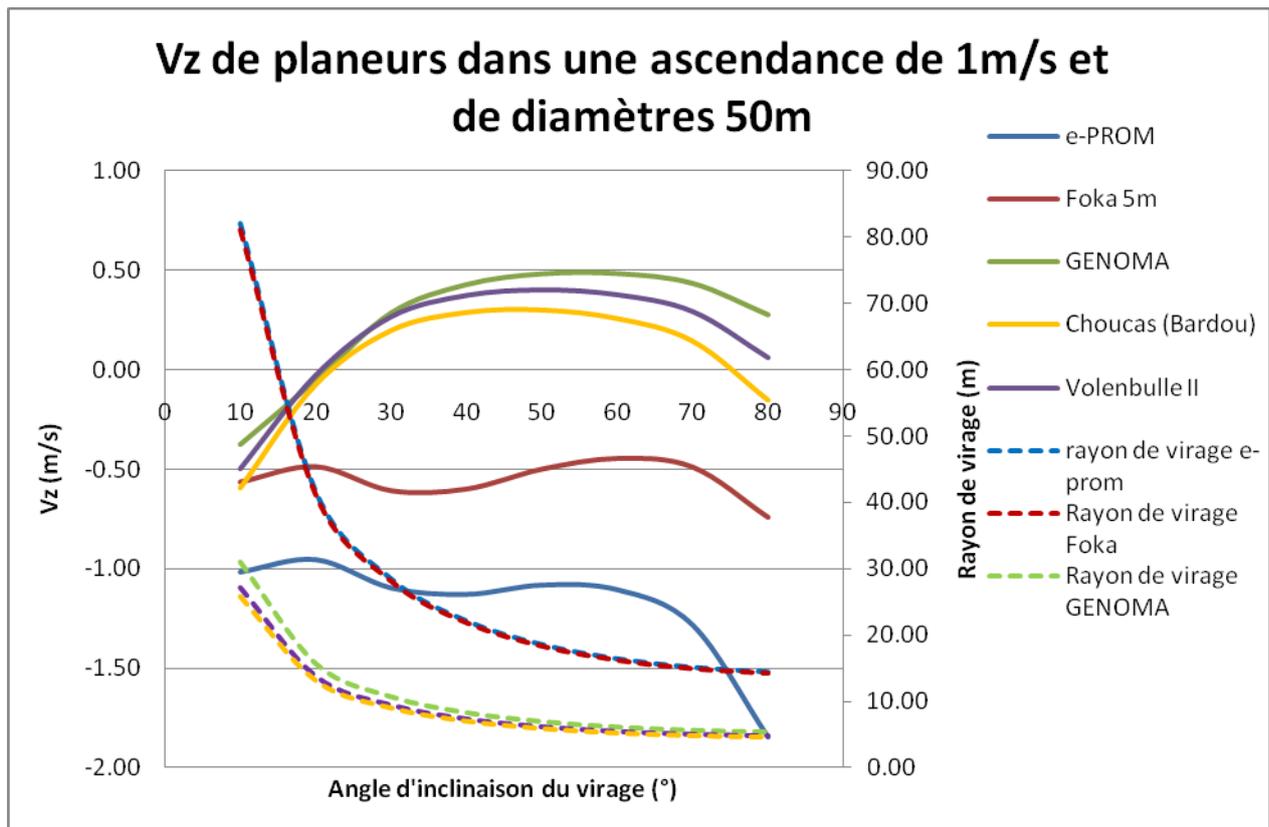


Plus le phénomène est petit et plus il faut virer serré. Donc spiraler à faible altitude demande de voler à grande inclinaison.

Y a-t-il un modèle plus apte que les autres à spiraler ? Certes, oui ! Il faut qu'ils soient légers et qu'il porte beaucoup. Je me suis amusé à modéliser différents modèles. Depuis l'électro 7 jusqu'à la grande plume en passant par le modèle de début, le racer et le F3J. Les résultats sont instructifs et surprenant pour certains modèles. Jugez plutôt :

Les modèles en présence sont :

- Un racer de 1m d'envergure aux ailes carrées de 20dm² et chargé à seulement 35g/dm².
- Une grande plume de 5m (un FOKA) chargé à 68gr/dm²
- Un planeur type F3J/F5J de 3.65m d'envergure et 28gr/dm² de charge ailaire
- Un bon vieux Choucas de R. Bardoux (1978) avec son profil Jedelski et son aile en Balsa plein
- Un Electro7 type Volenbulle II de 1.7m d'envergure et chargé à 22g/dm²



Modélisation de la capacité à exploiter une petite ascendance (1m/s 50m de diamètre) pour différents modèles. Les modèles de début ne sont pas ridicules loin de là. Par contre, les grandes plumes sont à éviter.

Premier constat : Un racer n'est pas fait pour spiraler. Ca, on le savait déjà ! Il faut vraiment des conditions « fumeuses » pour faire du thermique avec.

Deuxième constat : Même avec toute la finesse de ses 5m, le Foka ne peut exploiter une petite ascendance. Et ce n'est pas du à son envergure. C'est juste la conséquence de sa charge alaire. Mission impossible que de raccrocher au raz du sol sauf si c'est du gros !

Troisième constat : Le bon vieux Choucas qui a servi d'apprentissage à certains d'entre nous dans les années 80 n'est pas ridicule du tout. Certes, il monte moins qu'une machine plus légère, mais la portance générée par le profil Jedelski compense pas mal. Pour un modèle vraiment rustique, c'est une sacrée surprise ! Comme quoi, il n'est pas forcément nécessaire d'avoir la dernière machine ultra moderne... Bien sûr, entre la théorie et la réalité, il y a souvent une petite différence. Mais en dimensionnant correctement les stabilités en lacet et en roulis, un tel planeur serait tout à fait capable de spiraler dans du très étroit. Notez aussi qu'un planeur de début avec un bon vieil E385 (profil fin, très creux donc très porteur) aurait fait jeu égale avec les meilleurs.

Dernier constat : Les deux machines que sont l'Electro-7 et le F3J/F5J sont les plus aptes à exploiter les petits phénomènes. Elles sont légères et leurs profils permettent de générer de fortes portances. Comme leur fuselage est bien long, la dérive bien dimensionnée et le dièdre important, les spirales par 50° d'inclinaison sont même faciles à tenir.



Caractéristiques importantes pour le modèle

La facilité à exploiter une ascendance demande donc :

- Un fort Cz^3/Cx^2
- Une faible vitesse de trajectoire soit :
 - Une faible charge alaire
 - Un fort Cz
- Une bonne stabilité longitudinale et latérale. Le modèle doit répondre sans délais sur tous les axes à de petits ordres. Il doit de plus rester sur sa ligne de vol une fois celle-ci établie et ne dévier que sur une perturbation.

Retour vers la zone d'atterrissage

Exploiter correctement les petits thermiques est une nécessité. Si vous avez déjà enregistré vos vols de loisir avec un GPS, vous verrez que la spirale occupe en général plus de 75% du temps de vol. En compétition, la phase de retour vers la zone d'atterrissage peut prendre facilement 3 minutes (20 à 40% du temps). Ce n'est pas négligeable.

Une fois monté au firmament, il faut rentrer. En général, il y a toujours un petit vent qui a emmené le modèle loin sous le vent. Alors rentrera ou ne rentrera pas ?

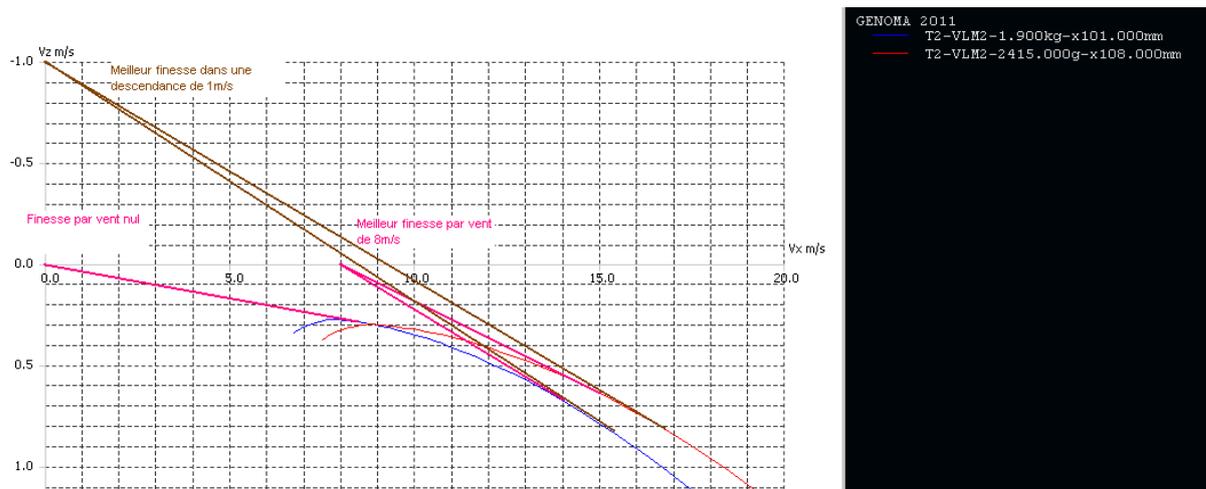
A ce jeu, il faut de la finesse et de la vitesse (en tout cas plus que le vent à remonter).

Qui dit finesse dit :

- aile à fort allongement pour minimiser la traînée induite de l'aile (le modèle ne vole pas à faible Cz),
- profil à faible épaisseur pour minimiser la traînée de profil,
- de l'envergure pour optimiser les Reynolds,
- et, quand cela ne suffit pas, de la charge alaire. Augmenter la charge alaire ne va pas augmenter la finesse. Cela va augmenter la vitesse de vol tout en gardant à peu près la même finesse. Certes le modèle chutera plus chaque seconde de vol, mais cela peut permettre de remonter le vent et de rentrer. Au passage, en reprenant la définition de la vitesse du modèle, vous voyez qu'il faut pas mal de plomb pour augmenter la vitesse de vol d'1 ou 2m/s. Pour un modèle type F3J/F5J, il en faut de 250 à 500g environ.



Le vol de durée – Conception et Stratégie



Comment trouver la meilleure finesse par vent de face (avec les droites en roses) ou dans une descente (courbes en marron). Suivant la charge alaire (28 ou 35gr/dm²) la meilleure finesse s'obtient avec un écart d'1 à 2 m/s. Un écart qui permet de faire la différence.

Trouver la meilleure finesse est assez simple avec les outils de calcul modernes. Elle s'obtient avec le graphique dit des « polaires de vitesse » donnant la vitesse horizontale et la vitesse de chute. Sur notre graphique, le positif dit que cela chute... La meilleure finesse par vent nul s'obtient au point d'intersection de la polaire et de la droite passant par l'origine. Dans notre exemple, on trouve 8.5m/s pour un planeur de 1915gr (28g/dm²). La vitesse de chute est alors de l'ordre de 0.3m/s. Notez que ces polaires sont calculées sans le fuselage. La vitesse de chute réelle du planeur complet est d'environ 20% plus grande (autour de 0.4m/s).

Vous pouvez donc voler jusqu'à des vents de 8.5m/s. Là, c'est le « sur-place » face au vent, sauf à voler plus vite en poussant sur le manche. Une solution pour rentrer par vent fort consiste à mettre 500gr de plomb. La meilleure finesse par vent nul est alors à 10m/s. La vitesse de chute est augmentée de quelques cm/s. Rien de bien grave. Le modèle va alors rentrer gentiment par un vent de 8m/s en gagnant 2m de terrain toutes les secondes. Si cela ne va pas assez vite, vous pouvez pousser sur la profondeur pour aller plus vite. La polaire étant plus plate, la perte d'altitude sera plus limitée qu'avec une masse plus faible.

Vous avez vu que nous n'avions pas touché à la profondeur et que nous avons considéré la finesse par vent nul comme étant aussi la meilleure finesse par vent de face. Ce n'est pas vrai. La meilleure finesse par vent s'obtient en décalant l'origine sur l'axe horizontal. Pour un vent de face de 8m/s, il faut la décaler vers la droite (comme dans notre exemple). Par vent de dos, il faut la décaler vers la gauche (non représenté). En conséquence, la meilleure finesse sol par vent de face de 8m/s s'obtient à 14 et 15m/s pour nos deux charges alaires. La vitesse de chute sera autour de $0.55 \cdot 1.2 \approx 0.7$ m/s pour le modèle complet. Là, le taux de chute commence à être important !

Pour les petits malins, la meilleure finesse par vent de dos s'obtient à une vitesse proche de la vitesse de chute minimale. Donc, par vent de dos, je cabre, et par vent de face, je pousse.



Le vol de durée – Conception et Stratégie

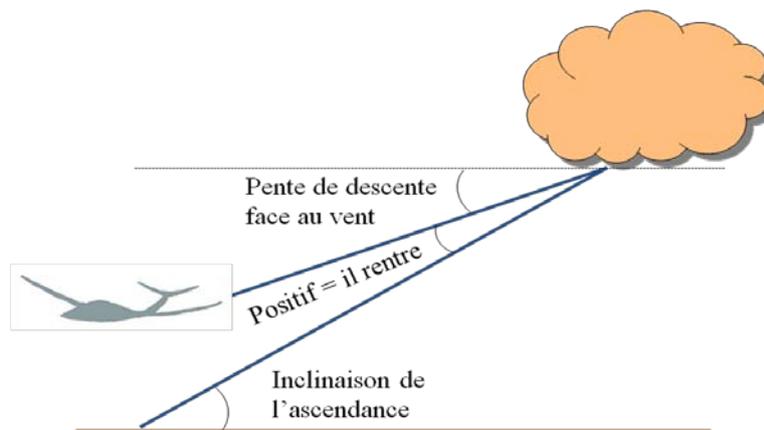
Dans une descentance, il faut décaler l'origine sur l'axe vertical vers le haut (droites marrons sur le graphique). Dans notre exemple, rencontrer une descentance de 1m/s demande de franchement piquer pour aller à 15 et 17m/s suivant la charge alaire (vitesse de chute de l'ordre de $1+1=2$ m/s... Et c'est un optimum qui va vous faire perdre le moins d'altitude possible !).

Toujours pour les petits malins, la meilleure finesse dans une ascendance s'obtient à... la vitesse proche du décrochage ! A éviter quand même.

Donc dans une ascendance, je tire, et dans une descentance, je pousse sur la profondeur.

La capacité à rentrer peut s'exprimer ainsi : Ayant exploité une ascendance d'une certaine force et inclinaison (on part du principe que tous les modèles y sont arrivés même si c'est plus ou moins facilement), il faut rentrer à la meilleur finesse sol. Le modèle monte donc dans l'ascendance inclinée d'un certain angle et redescend sous un autre. Au bilan, la différence des deux angles montre si l'on rentre ou si l'on ne rentre pas.

L'inclinaison de l'ascendance est donnée par l'angle entre la vitesse horizontale du vent et la vitesse verticale de l'air.

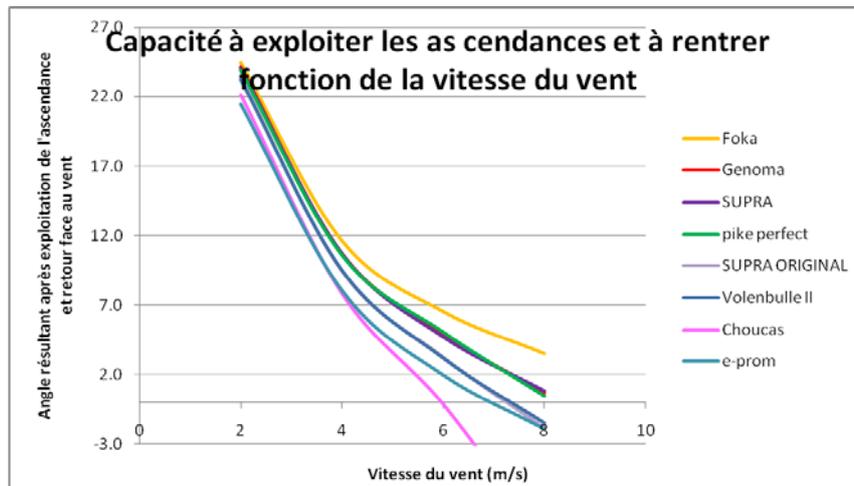


Rentrer veut dire que la dérive due à l'inclinaison de l'ascendance peut être compensé par une pente de vol à finesse max face au vent plus faible. En général, jusqu'à des vents de 6 à 8m/s, les planeurs arrivent à rentrer.

Si l'on reprend nos différents modèles, celui qui permettra le mieux de rentrer est sans conteste le Foka de 5m. Puis viennent les planeur F3J/F5J, le Volenbulle II, l'Eprom, et enfin le Choucas (et oui ! Il n'aime pas le vent fort).

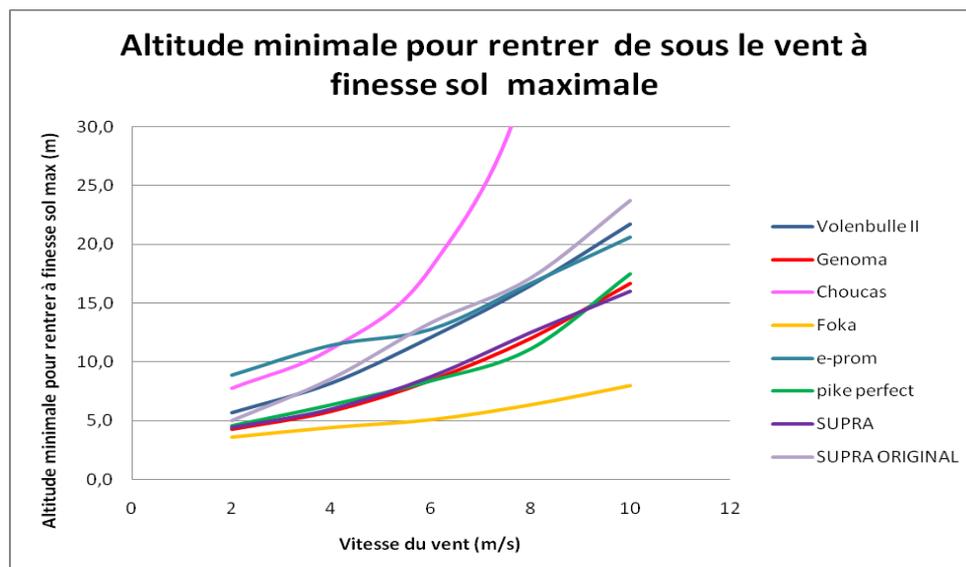


Le vol de durée – Conception et Stratégie



Modélisation de la capacité à rentrer après avoir exploité l'ascendance de 1m/s pour différents modèles. Là encore, les fuselages n'ont pas été modélisés. Les courbes sont donc sûrement un peu optimistes. Mais il y a de l'idée.

Une autre façon de présenter les choses est de trouver l'altitude minimale pour rentrer à finesse sol max :



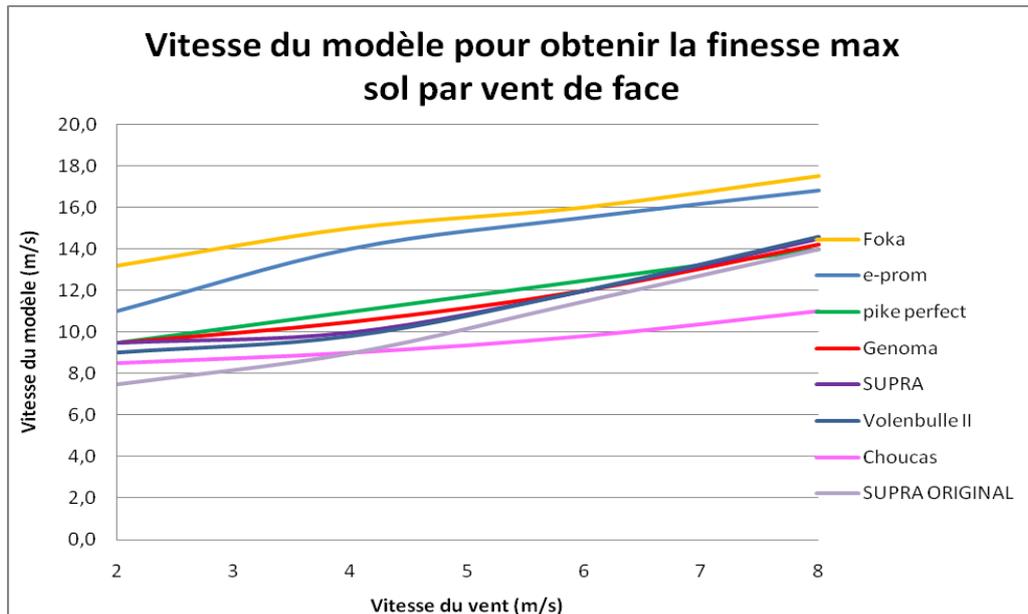
Altitude minimale pour rentrer à finesse sol max. Calculs faits sans intégrer le fuselage. Pour connaître la valeur réelle à prendre, multiplier ces hauteurs par 1.2 et ajouter une marge de sécurité pour le circuit d'atterrissage (30m)

Tout ceci correspond à des vitesses « air » du modèle, comprises entre 8 et 14 m/s (pour des charges alaires proches de 30gr/dm²). Il est clair que pour un Foka de 5m les choses sont différentes. La forte charge alaire fait que le modèle est « insensible au vent ». Un vrai voilier.

Quand au choucas, s'il tire son épingle du jeu par faible brise, par vent supérieur à 4 m/s, la très forte courbure du profil empêche le modèle d'aller plus vite. Le modèle plafonne en vitesse, n'a plus de finesse, et demande donc une bien plus grande hauteur pour rentrer.

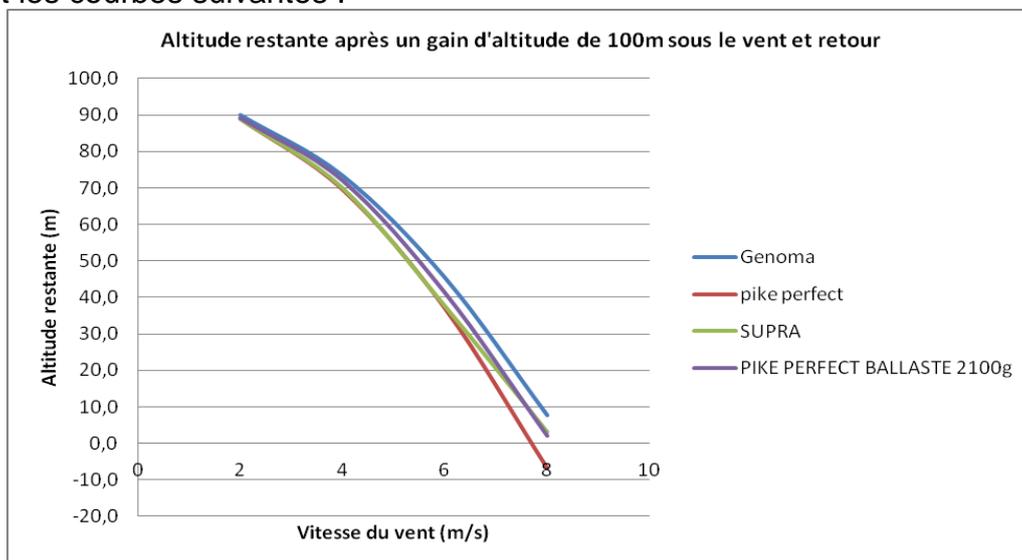


Le vol de durée – Conception et Stratégie



Vitesse que le modèle doit adopter pour être à la finesse sol max face au vent. Pour nos modèles chargés autour de 30gr/dm², cela va en moyenne de 8 à 14m/s pour un vent de face de 2 à 8m/s. Au-delà, il faut impérativement ballaster. Mais qu'est ce que la durée par un vent de plus de 8m/s ?

Une autre façon de présenter les choses est de regarder l'altitude restante après un gain d'altitude sous le vent de 100m. Si l'on regarde différents modèles type F3J, on obtient les courbes suivantes :



Le Pike Perfect est la machine qui monte le mieux. C'est aussi la plus limitée en termes de capacité à rentrer. Même à iso charge alaire, les épaisseurs de profil utilisées font que le modèle rentrera moins bien par vent fort qu'un autre plus fin. Il y a jusqu'à 6m d'écart entre le Pike et le Génoma. Cela représente alors une distance supplémentaire face au vent de l'ordre de 40m. C'est donc énorme.



Le vol de durée – Conception et Stratégie

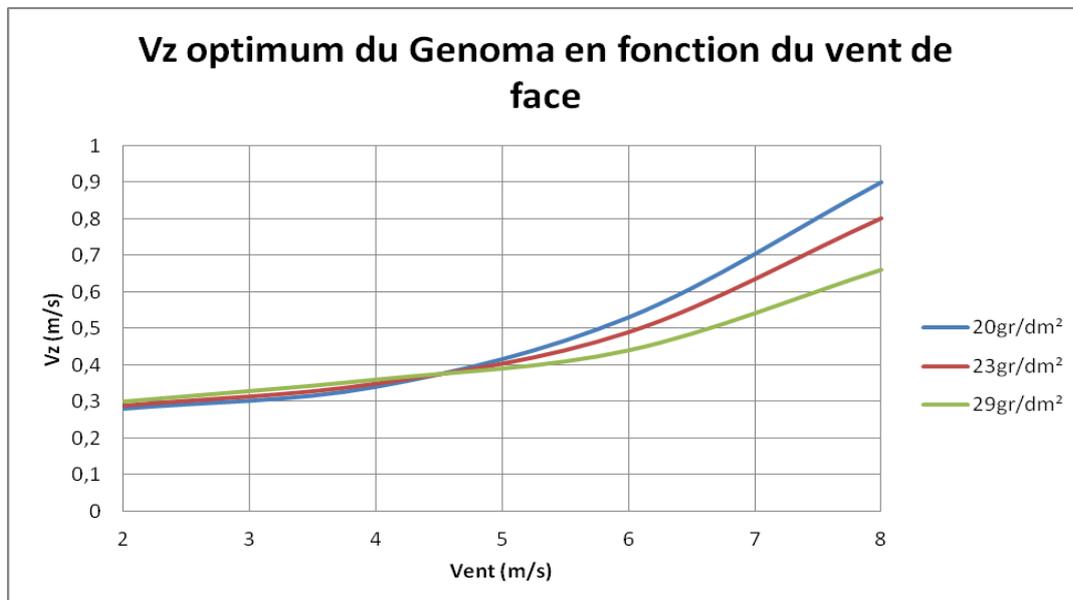
Les écarts d'altitude semblent faibles. Mais ces machines ont de très bonnes finesses. Quelques mètres de plus représentent vite de grandes distances parcourues, même face au vent. 6m équivaut à près de 40m de distance. C'est clair, d'un côté cela rentre, de l'autre c'est un vol hors cible. Avoir ne serait ce qu'un point de finesse supplémentaire où une vitesse de vol 0.5m/s plus vite à iso finesse fait toute la différence.

La capacité à rentrer avec cette nécessité d'aller plus vite à iso finesse va aller à l'encontre de la capacité à spiraler. Ce qui permettra de favoriser l'un ou l'autre, ce sera l'aérologie qui sera rencontrée. Un fort vent et des ascendances bien présentes demanderont un planeur privilégiant le retour. Un jour avec de très petites ascendances demandera un modèle plus typé pour la spirale. Monter ou rentrer tel est le dilemme.

Charge alaire mini pour remonter au vent.

Y a-t-il une charge minimale pour nos modèles pour qu'ils puissent voler dans le vent ?

Pour cela regardons la V_z optimale pour rentrer sous le vent pour différentes charges alaires de 20 à 30 g/dm². Pourquoi 20gr/dm² ? Parce qu'il est difficile de faire moins sans avoir une machine fragile à manipuler à transporter et à faire atterrir.



Pour de grands modèles, jusqu'à des vents de 5m/s, les différentes charges alaires sont assez équivalentes pour rentrer de sous le vent. S'il y a une différence entre, c'est au niveau du rayon mini de virage qu'il faut aller chercher. Au-delà, il est clair que les différences se font sentir. A 8m/s de vent, il faut une machine de 30g/dm² minimum.

Pour un modèle type F3J / F5J de plus de 3.5m d'envergure, le fait d'être léger voir très léger ne serait pénalisant qu'au-delà de 6m/s de vent. Bien sûr ceci doit être



Le vol de durée – Conception et Stratégie

étudié à l'aune de chaque catégorie. Les petits modèles seront plus sensibles au vent que les grandes.

Les jours avec un vent de moins de 5m/s tout au long de la journée sont assez rares.

Nous rencontrons vite des vents de l'ordre de 6 à 8m/s surtout à l'intersaison.

N'oubliez pas que le vent en altitude peut être jusqu'à deux fois plus fort qu'au niveau du sol. Il faut alors adopter des charges autour de 30gr/dm² voir plus.

Si vous voulez voler été comme hivers, une machine de 20 à 23g/dm² avec une capacité à ballaster jusqu'à 35g/dm² vous permettra de voler en toutes circonstances.

Caractéristiques importantes pour le modèle

Le retour vers la zone d'atterrissage demande un modèle capable de peu chuter à forte vitesse.

Il faut donc :

- Une bonne finesse sol à forte vitesse
 - Meilleur rapport C_z/C_x par vent de face à
 - C_z le plus fort possible pour les conditions
 - Charge alaire adaptée aux conditions
- Une vitesse de chute inférieure à 0.7m/s à finesse sol max.
 - Charge alaire adaptée
 - Rapport C_z^3/C_x^2 adapté pour le C_z de vol

Il faut pour cela privilégier l'envergure, l'allongement et les profils fins en épaisseur.

Atterrissage

L'atterrissage peut être une phase importante s'il y a une précision d'atterrissage à la clé. Pour les autres, Cette phase n'apporte pas de contrainte particulière.

Lorsque la catégorie envisagée comporte l'obligation de se poser au plus près d'une cible, il faut absolument ne pas perdre de points dans cette phase du vol et faire un « 100points » à chaque fois. 100 points, c'est 100 secondes de vol. Pratiquement 2 minutes ! Même si en termes de points c'est moins que les points de vol, aucune compétition ne peut se gagner sans un score excellent à cette phase.

Cela demande bien sûr beaucoup d'entraînement mais aussi un modèle adapté.

Atterrir correctement c'est à la fois faire ce que l'on veut de l'appareil et éviter certains écueils comme :

- Une aile touche le sol au dernier moment et fait dévier le modèle de sa trajectoire.
- Le modèle glisse sur l'herbe rase et humide sur une distance inhabituelle
- Le modèle est déséquilibré par une rafale et change de trajectoire au dernier moment
- ...



Le vol de durée – Conception et Stratégie

Pour contrer ces aléas, les pilotes ont mis au point une parade : Le posé « planté ». Cela demande des aérofreins crocodiles qui ont la particularité de ne pas faire prendre trop de vitesse au modèle si celui-ci pique franchement. L'atterrissage, qui s'apparente alors à un « poireau » et non à un « kiss-landing » évite tous ces obstacles (pas de glissade, pas de possibilité d'avoir une aile qui touche en premier, peu de sensibilité aux rafales...). Il faut juste un modèle « solide » et bien tout immobiliser à l'intérieur.

Reste que cela ne suffit pas. Il faut quand même amener le modèle sur la cible. Pour cela, il faut de la maniabilité et de la précision.

Caractéristiques importantes pour le modèle

L'atterrissage ne demande donc pas de profils particuliers. Les performances aérodynamiques courantes (finesse, Vz...) passent au second plan. C'est plus la dynamique (le mouvement) qui intervient. Il faut alors :

- Un bon dimensionnement des gouvernes d'aérofrein (Butterfly).
- Une maniabilité en roulis (bon taux de roulis)
- Une bonne stabilité en lacet
- Une bonne stabilité en tangage

Hiérarchisation des différentes phases du vol

Nous avons vu que chaque réglage peut avoir pour conséquence de rendre plus ou moins importante telle ou telle phase.

Afin d'éviter d'avoir une machine performante mais qui somme toute n'est pas optimale pour la phase prépondérante du vol, je vous invite à hiérarchiser les phases entre elles.

Comment faire ? Voici 2 méthodes.

La première consiste à comparer chaque phase aux autres. Mettre une croix pour le paramètre le plus important puis compter les croix.

Si vous trouvez que cela ne permet pas de bien différencier les phases entre elles, remplacer ou compléter la croix par une note de 1 à 3 par exemple (pour « un peu plus », « bien plus », « beaucoup plus ») et compter les points.

Vous saurez alors, ce qui, à vos yeux est le plus important et ainsi mettre l'accent sur 1 ou 2 phases du vol.

Exemple de hiérarchisation pour le F5J unlimited



Le vol de durée – Conception et Stratégie

Est plus important que	Mise en altitude	Recherche de l'ascendance	Exploitation de l'ascendance	Retour vers la zone d'atterrissage	Atterrissage
Mise en altitude					
Recherche de l'ascendance	X (3)		X (1)	X (1)	X (1)
Exploitation de l'ascendance	X (3)			X (1)	X (2)
Retour vers la zone d'atterrissage	X (3)				X (2)
Atterrissage	X (3)				

Comptons les points et établissons le classement :

Recherche de l'ascendance	4 croix 6 points
Exploitation de l'ascendance	3 croix 6 points
Retour vers la zone d'atterrissage	2 croix 5 points
Atterrissage	1 croix 3 points
Mise en altitude	0 croix 0 point

Pour la catégorie citée, il faut, selon les personnes interrogées (votre serviteur, mais il est intéressant d'élargir le sondage aux autres modélistes), il faut privilégier la recherche de l'ascendance et l'exploitation de l'ascendance avec peut être un peu plus d'importance pour la recherche d'ascendance sur son exploitation. Vient tout de suite après le retour vers la zone d'atterrissage, et loin ensuite l'atterrissage. La mise en altitude est considérée comme sans importance par rapport à la conception du modèle.

Vous pouvez ensuite reprendre chaque caractéristique importante du modèle pour chaque phase et faire votre alchimie.

Comportement dynamique du modèle



Stabilité latérale

Le vol de durée est un vol où plus de 60% du temps de vol se fait à fort Cz et en virage. Les changements de cap sont donc monnaie courante. Changement de direction et fort Cz implique une forte sensibilité au lacet inverse.

Pour qu'une spirale soit facile à exécuter, surtout à forte incidence, il faut de la stabilité en lacet. En effet, le vol va se faire à faible vitesse (la vitesse à Vz min est souvent proche de la vitesse de décrochage). Si le modèle part en dérapage sous l'effet d'une turbulence par exemple, la vitesse sur trajectoire aura vite tendance à passer sous cette vitesse. Comme l'aile intérieure volera moins vite que celle extérieure. Le risque de décrochage est réel. Si de plus la direction est molle (une des caractéristiques d'une faible stabilité en lacet), il faudra beaucoup d'ordre et de temps pour corriger le mouvement (si le décrochage n'arrive pas avant).

Pour contrer le lacet inverse comme pour faciliter la spirale et plus généralement aider au pilotage, il faut aller au-delà des études classiques à base de calculs statiques et passer au comportement dynamique du matériel. Il faut étudier la stabilité sur l'axe de lacet.

Si la stabilité est « faible », le modèle :

- Aura tendance à partir facilement en dérapage
- Restera plus longtemps en dérapage
- Oscillera plus longtemps. La distance parcourue en oscillation sera plus grande.

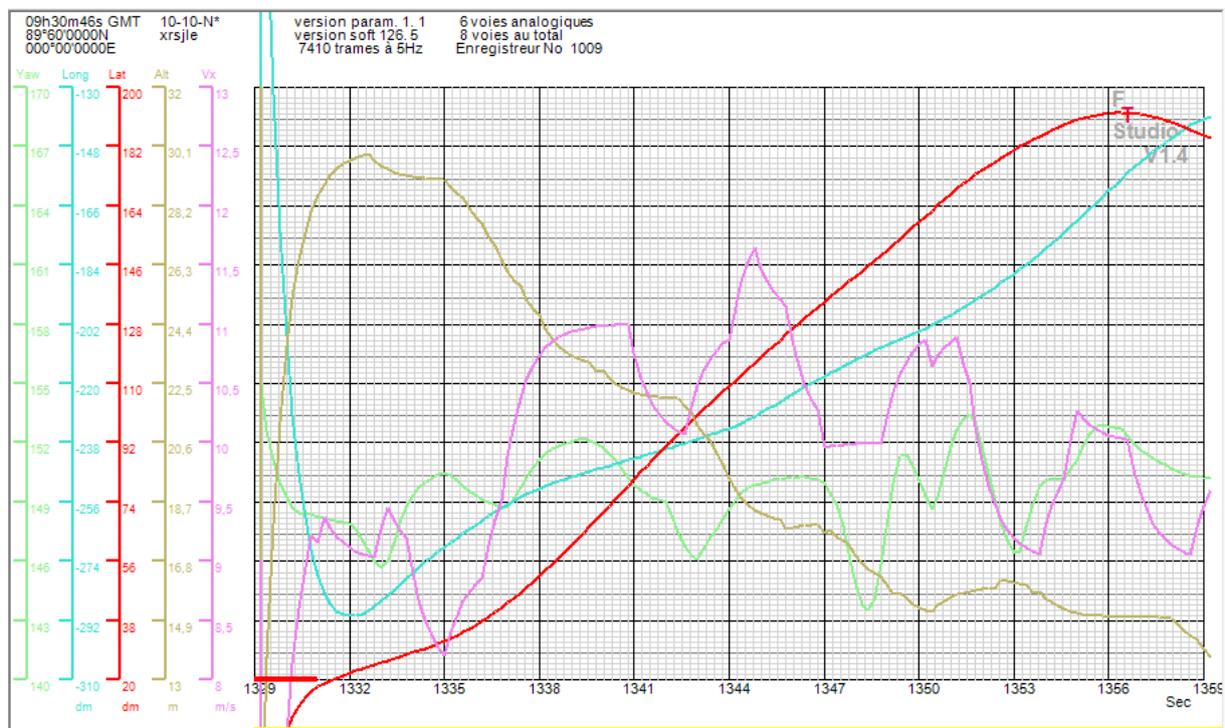
Des mesures du mouvement en lacet on montré que le vol rectiligne n'existe pas. Comme nous sommes constamment à piloter notre modèle, et comme l'air est rarement absolument calme, le modèle est toujours en situation d'oscillations en lacet.



Le vol de durée – Conception et Stratégie



Le capteur en lacet de Xerivision. Un drapeau monté sur roulement. Dans un boîtier de potentiomètre, un aimant lié au drapeau influence la « puce » qui va bien. Ceci est un prototype. On peut faire plus compact.



Le vol en ligne droite (représentée ici par une variation « linéaire » de la latitude et de la longitude), montre un mouvement du planeur en phugoïde (oscillation longitudinale matérialisée par la vitesse en rose) et en dutch roll (oscillation mesurée ici sur l'axe de lacet en vert).



Le vol de durée – Conception et Stratégie

Le vol en ligne droite, est donc entre autre constitué d'oscillations en lacet avec des amplitudes de $\pm 3^\circ$. Et dès qu'il y a mise en virage (ou une légère correction de trajectoire), les oscillations vont rapidement jusqu'à 5° . Pour un modèle avec une faible stabilité en lacet, ce dérapage a été mesuré à ± 7 degrés.

Stabilité longitudinale

La stabilité sur l'axe longitudinal est importante dans toutes les phases de vol. Il faut en particulier que le modèle n'ait pas tendance à partir en un vol en montagne russe pour un rien (la phugoïde), et, que sur une petite perturbation, il revienne facilement à une situation stable avec uniquement de petites corrections aux commandes.

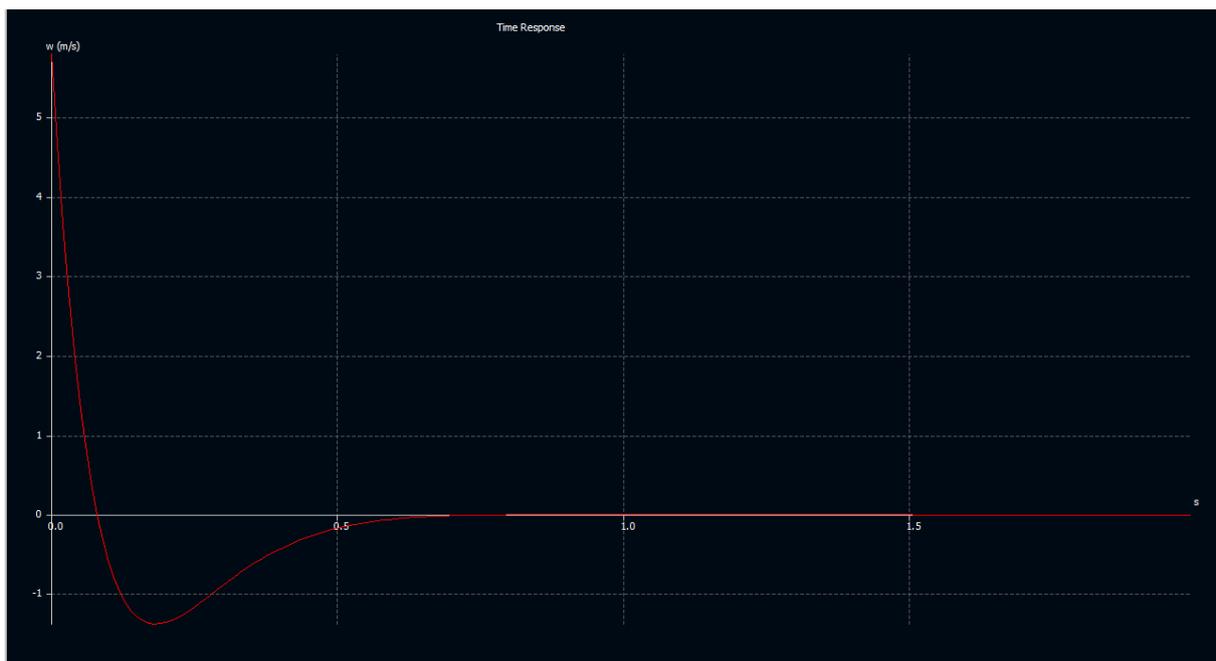
Cette stabilité est d'autant plus importante que le modèle est loin ou qu'il faille apprécier la masse d'air : Le mouvement est il du à la phugoïde naturelle ou à un mouvement d'air. Si le pilote est constamment à corriger la trajectoire, il ne peut détecter le moment où le modèle traverse de petites ascendances. De même, si le modèle oscille en vitesse sur trajectoire, on ne peut lire correctement le passage dans une ascendance de faible intensité.

Il est donc important de connaître comment on peut concevoir son modèle pour que l'aspect dynamique du vol corresponde à ce qu'il est souhaité. Il serait en effet dommage d'avoir une modèle dont l'aile est optimisée mais dont la dynamique d'ensemble du modèle en fait quelque chose de difficilement pilotable.

Les mouvements d'oscillation sur l'axe de tangage.

Il existe deux types d'oscillation sur l'axe de tangage :

- Une oscillation très amortie en moins d'une seconde.
- Une oscillation avec une période plus longue de l'ordre de 5 à 30 secondes.



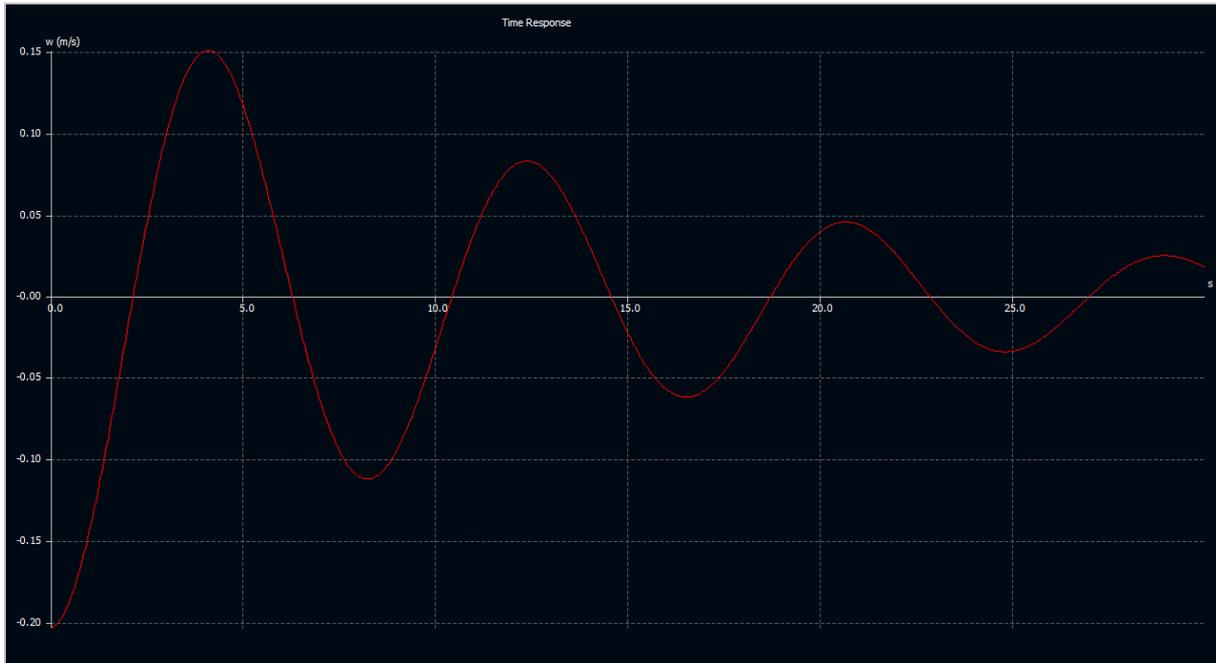
Premier mode d'oscillation longitudinale pour un modèle.



Le vol de durée – Conception et Stratégie

Le premier mode n'est pas forcément très important pour nous. Nous le laisserons de côté dans un premier temps.

Le second mode est la phugoïde. C'est elle qui nous intéresse. Avoir un modèle qui vole tout seul revient à avoir un modèle qui, a une période de phugoïde grande et qui a un bon amortissement de ce mouvement.



Deuxième mode d'oscillation en tangage, la phugoïde modélisée ici pour un modèle à 8m/s. Ici, le mouvement est faiblement amorti. Quand le modèle tombe dans un tel mode, le vol n'est pas très beau à voir. Il faut quelques secondes pour l'arrêter. Autant de moins pour bien exploiter la masse d'air. Et un air turbulent peut réactiver ce mode assez facilement.

Comment peut-on maîtriser la phugoïde ?

Bien sûr, plus le volume de stab est grand, et plus les choses iront bien. Mais cela ne suffit pas. Il y a une relation directe entre la phugoïde et la marge statique.

Définissons ce qu'est le volume de stab et la marge statique.

$$V_S = \frac{BL_{stab} * S_{Stab}}{MAC_{aile} * S_{aile}}$$

Avec

- BL_{stab} la distance entre le foyer de l'aile et le foyer du stabilisateur,
- S_{stab} et S_{Aile} les surface du stabilisateur et de l'aile,
- MAC_{aile} , la corde moyenne de l'aile.



Le vol de durée – Conception et Stratégie

Le volume de stabilisateur donne la capacité à générer un couple de rappel et donc à « stabiliser » le vol. C'est un paramètre « statique » car il caractérise non pas le mouvement mais la force.

Si cela est important pour nous, cela n'est pas suffisant car le vol peut être stabilisé mais avec des ondulations...

La marge statique est donnée par

$$M_s = \frac{d(CG, P_{t_{neutre}})}{MAC_{aile}}$$

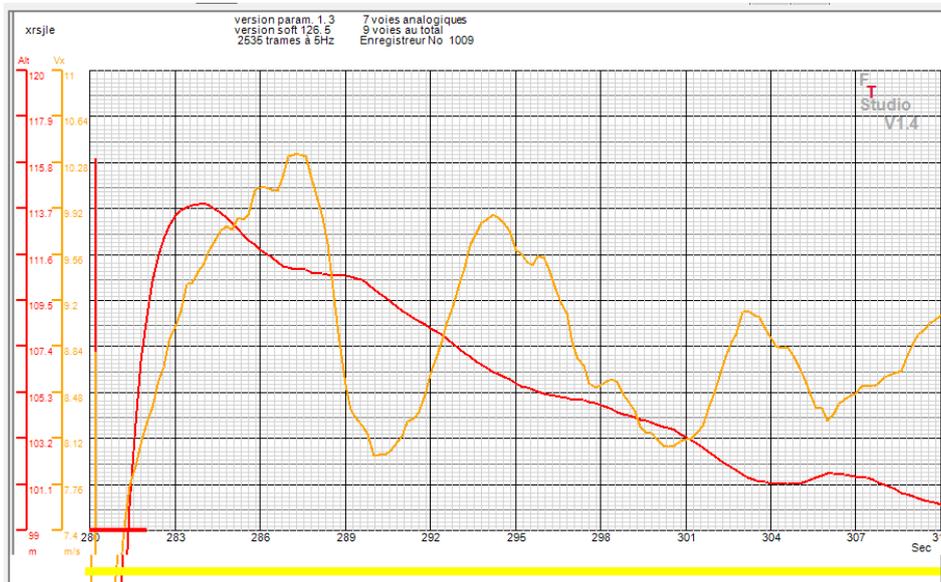
Le point neutre est le point où le modèle devient neutre sur l'axe de tangage.

Quelque soit l'incidence prise, le modèle reste dans cette position et ne fait plus la girouette.

La marge statique rentre directement en jeu dans la dynamique du vol sur l'axe longitudinal.

Avec une marge statique grande (le centre de gravité est éloigné du point neutre), le vol pourra certes être stable, mais la phugoïde, une fois attrapée, sera moins amortie et de période plus petite. Le modèle aura même tendance à voler avec une vitesse horizontale variable, visible à l'œil nu, même en air calme.

Il sera alors difficile de voler à la vitesse donnant le plus faible taux de chute sans que le modèle aille fleureter avec la vitesse de décrochage (et même souvent l'atteindre).

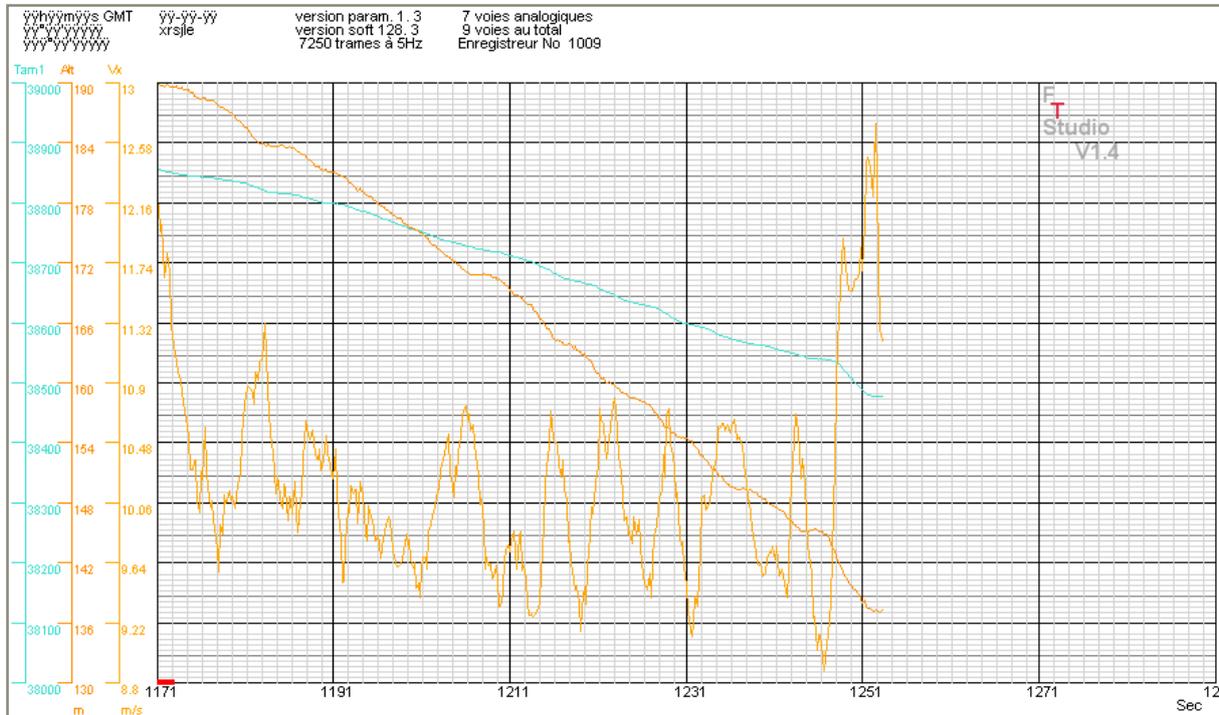


Phugoïde d'un modèle avec une marge statique importante (17%). Le mouvement est oscillatoire (période de 8s environ) et faiblement amorti. La vitesse varie de +/- 1m/s. Le vol est effectué en air calme sans actions sur les gouvernes.



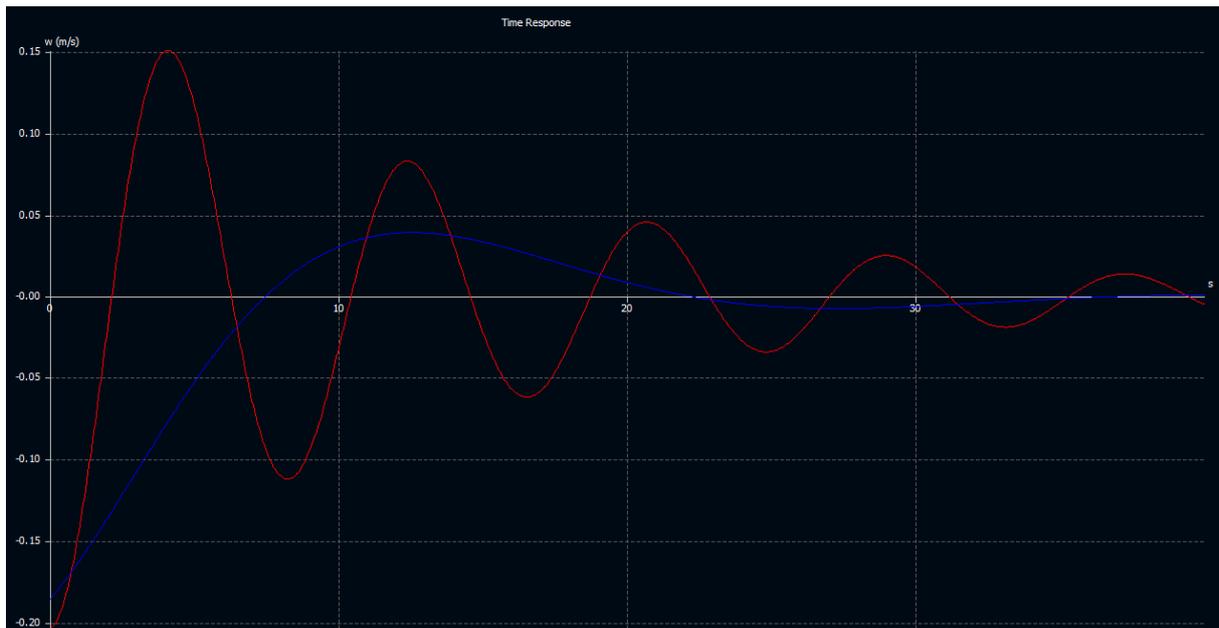
Le vol de durée – Conception et Stratégie

Avec une marge statique nulle ou faible (<6%), La période d'oscillation est beaucoup plus grande (de 20 à 30 secondes), et les variations de vitesse sont liées aux ordres donnés, à l'air rencontrée et finalement peu à la phugoïde.



Vol du même modèle mais avec un centrage reculé pour avoir une marge statique faible (<6%). Les variations de vitesse sont données principalement par des ordres, le pilote essayant de voler à vitesse constante. Vous notez que le pilote ne peut apprécier, réaliser et maintenir dans le temps une vitesse à mieux qu'1m/s près. Le vol s'est déroulé dans des conditions stables (La courbe bleue des températures linéaires).

Avec une marge statique faible, l'amortissement est aussi beaucoup plus important. Le vol peut être caractérisé comme étant rectiligne en moins d'une période. Bien sûr, si un ordre vient de nouveau exciter le système, on peut repartir dans une nouvelle oscillation. Trente secondes sans donner d'ordres, c'est long ! Sans vent cela représente 240m environ. Dans la réalité, des petits ordres sont donnés très fréquemment.



Avec un centrage « neutre » (courbe en bleu), la période est beaucoup plus grande (28s) et s'amortit en une période. Le même modèle avec une marge statique élevée (17%) aura un mouvement beau coup plus oscillant (période de 8s) et peu amorti. Les calculs ont été faits pour une vitesse de 8m/s.

Caractéristiques importantes pour le modèle

Un modèle de durée devra donc :

- Avoir un bon volume de stab,
- Avoir un centrage à faible marge statique

Construction

Plusieurs modes de construction sont possibles :

- La construction en moule
- La construction classique avec D-Box (bois ou composite).
- La construction en mousse.

La construction en D-Box est la plus légère mais aussi la plus exigeante en temps de construction et en habileté manuelle.

Celle en moule demande de la technologie (un centre de fraisage 3 axes CN) mais le moulage est ensuite plus facilement reproductible et plus rapide. La précision finale est en générale meilleure si l'on utilise une bonne machine.

La construction en mousse type EPP est la moins chère mais ne permet pas d'avoir un état de surface parfait. C'est la moins efficace en termes d'aérodynamisme. Pour débiter, même en compétition, elle va toutefois très bien.

L'importance du mode de construction se traduit dans la masse finale du modèle et donc dans sa charge alaire.



Le vol de durée – Conception et Stratégie

Nous avons vu toute l'importance de la charge alaire pour le vol de durée dans toutes les phases de vol. Il est ainsi important de bien prévoir la masse finale du modèle.

Prévoir la masse, c'est avant tout définir les efforts qui devront être encaissés puis mettre de la matière là où elle sera utile. La construction demande ainsi une grande expertise pour traduire les efforts, leur localisation, leur force, leur direction, en matières. Un petit exemple : Savez vous que les ailes moulées creuses ont environ 30% de leur masse sous forme de congés de micro ballon ? Si l'objectif est de bien lier les différents éléments entre eux, ils ne participent pas ou peu à la résistance proprement dite de l'aile. En collant directement les longerons dans le moule lors de la stratification des peaux d'extrados, on peut facilement gagner 10% de la masse de totale l'aile ! Cela fait 100 à 150g pour un modèle de 3m d'envergure !

Les éléments du modèle doivent supporter différents efforts en flexion et en torsion. Le mode le plus simple à calculer est le mode en flexion. Des applications sont disponibles sur le net pour prédire les longerons à réaliser. La torsion est un mode un peu plus complexe à modéliser. Malheureusement, aucune application gratuite n'est encore disponible à ce jour.

Mélanger les deux (flexion et torsion) n'est donc pas à la portée de tous. Nous devons nous satisfaire (pour l'instant) de la flexion et laisser la torsion à l'expérimentation.

Il est tentant de comparer deux modèles entre eux à iso charge alaire. Cela permet de comparer l'efficacité aérodynamique de chaque modèle. Il ne faut toutefois pas oublier qu'il faut ensuite construire cela, et donc, qu'il y aura automatiquement un écart de poids et de charge alaire entre les modèles. Comme la charge alaire va influencer sur les performances finales, la prédiction des masses est donc importante pour définir les performances à la charge minimale constructible.

On ne peut valider un gain aérodynamique si ce gain est annihilé par une masse bien trop élevée.

Sait-on construire des machines de moins de 20 à 23g/dm² ?

Nous avons vu qu'une charge de 20 à 23g/dm² semblait une sorte de minimum pour de machines d'assez grandes tailles (>3.5m). Sait-on construire de telles machines ?

Là il faut prévoir le poids de la construction pour résister aux efforts subis en tenant comptes des différents éléments à embarquer (Servos, récepteurs, batteries propulsion, ballast...). Oui, il faut calculer à la masse maximale et non à la charge minimale. Donc prévoir les ballasts et autres tractions de treuillage.

Il est clair que pour une machine de F3B ou de F3J, ce n'est pas possible sauf à ne pas vouloir voler par toutes les conditions et en étant « gentil » lors du treuillage.



Le vol de durée – Conception et Stratégie

Cela l'est par contre assez facilement pour une machine de F3K, de Formule France ou de F5J. Ces machines pourront de plus voler à 30 voir 35g/dm² sans aucun problème pour leur intégrité.

La charge alaire minimale constructible est ainsi un paramètre important dans la conception d'une machine.

Relation entre allongement et charge alaire de l'aile

Regardez la nature : Battre des ailes, c'est comme pour tous les oiseaux, consommateur d'énergie. Et l'énergie, c'est de la nourriture. Il est donc important pour eux de l'économiser et de tenir l'air le plus longtemps possible en attendant le passage de leur proie.

Les mouettes et autres goélands ont un très fort allongement alors que les rapaces ont eux un allongement très restreint. Y a-t-il une raison à cela ? La réponse est oui : La sélection naturelle !

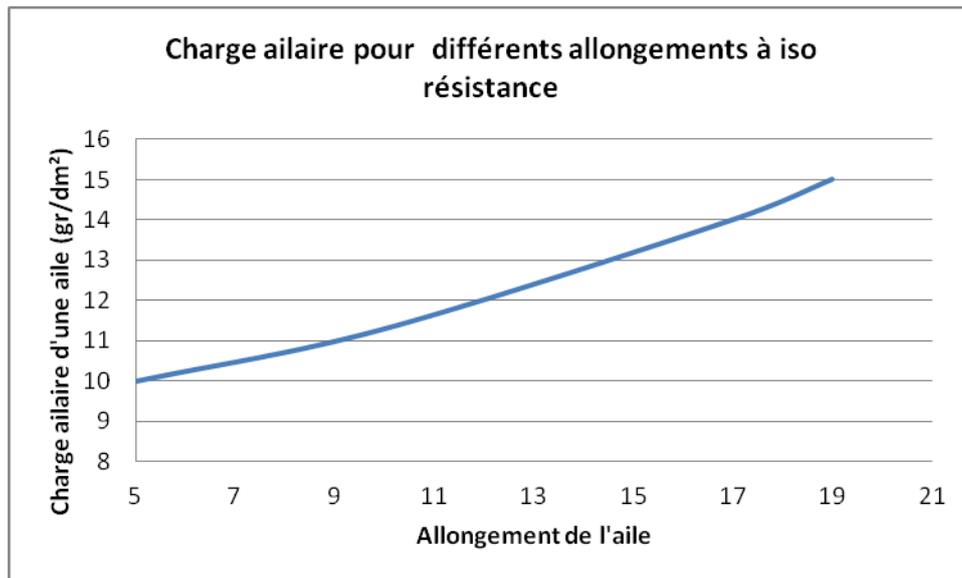
Le Goéland doit affronter de forts vents et utiliser son environnement c'est-à-dire des « falaises » et des vagues. Il n'y a que peu d'ascendance au dessus de l'eau. Ils doivent donc faire, avant tout, du vols dynamiques. Leur charge alaire est alors élevée. Comme ils n'ont pas à virer dans un mouchoir de poche, Ils n'ont pas à exploiter les petites pompinettes de nos campagnes, l'allongement est la solution à leur optimisation.

Les rapaces eux, font du thermique. Le vent est plus faible et le vol de pente n'est pas possible en général. Comme ils doivent se nourrir été comme hivers, ils doivent pouvoir exploiter les petites ascendances au raz du sol. Il leur faut ainsi le plus grand Cz et la plus faible charge alaire comme nous l'avons vu. Avoir une petite envergure fait que la masse de l'aile est plus réduite (les plumes ne pèsent pas grand-chose ; Les os et les muscles, si). Ils sont de plus équipés de plumes marginales qui jouent le rôle de winglet. Ils gagnent ainsi en trainée induite. Les oiseaux peuvent de plus se laisser dériver avec l'ascendance sur plusieurs kilomètres. Ils peuvent alors monter très haut et rentrer quand l'ascendance s'essouffle. Et les chances de retrouver une ascendance en partant de plus de 800m d'altitude par rapport au sol sont très grandes, voir certaines. En une phrase : Ils sont adaptés à leur environnement.

Si nous regardons nous aussi la chose, nous pouvons aussi confirmer le phénomène :



Le vol de durée – Conception et Stratégie



Prévision de la charge ailaire d'une aile à iso résistance. Nous avons ici essayé de nous calquer sur les contraintes du F3J. La réalité est peut être un peu différente mais elle sera « homothétique ». Il y a bien une relation « linéaire » entre allongement et charge ailaire de l'aile.

A iso résistance, une aile toute équipée peut avoir une charge ailaire comprise entre 10 et 15gr/dm² en fonction de l'allongement (pour un modèle de 3 à 4m environ).

Entre un Pike Perfect (allongement de 17) et un Génoma (allongement de 19), cela fait une petite différence : Alors qu'à iso charge ailaire le Génoma est aussi performant en spirale et supporte un vent légèrement plus fort (petit avantage donc au Génoma), à iso résistance et mode de construction, le Pike Perfect, avec sa charge ailaire plus faible, a un potentiel à exploiter une ascendance de 0.1m/s moins forte. Sous réserve d'une même stabilité en lacet, Il peut donc virer plus serré et peut donc à priori être plus près du centre de l'ascendance. Côté transition, il supporte moins bien le vent (écart > 0.5m/s). Si l'on veut exploiter les temps « neutres » sans trop de vent, il est clair qu'un faible allongement est un avantage. Pour voler dans de fortes conditions, il faut au contraire de l'allongement.

Pour certaines disciplines comme le F5J où l'altitude de coupure du moteur est un facteur prépondérant, la capacité à exploiter les tous petits phénomènes existants à très basse altitude est primordiale. La charge ailaire mini est alors un facteur de premier ordre. On choisira donc le plus grand allongement possible (meilleur performance (finesse, Cz^3/Cx^2)) donnant la charge minimale souhaitée.

Bien sûr, tout est dans « la mesure de toutes choses ». C'est plus de l'ordre de la subtilité. Il faut faire comme les oiseaux, adapter nos modèles à leur environnement et donc forcément trouver le bon équilibre. Nous ne pouvons pas nous laisser dériver sur des kilomètres avec l'ascendance, tout au plus pouvons nous le faire sur 700m de distance (je laisse les champions aux yeux perçants de côté). Nous ne pouvons pas augmenter la charge ailaire en repliant les ailes (même si cela a déjà été fait, c'est assez compliqué). Nous ne savons pas concevoir des rémiges qui fonctionne



Le vol de durée – Conception et Stratégie

quand il faut voler lentement et qui se replie quand il faut aller vite. Nous ne pouvons pas adapter la rugosité de la surface de l'aile aux conditions environnantes et provoquer la turbulence quand il le faut. La masse du fuselage et de tout le matériel embarqué est bien éloigné de celle du corps d'un oiseau. Notre optimum est donc différent de celui des rapaces ou des mouettes.

Pilotage

On dit souvent que le résultat est pour 30% du au modèle et 70% du au pilotage. Donc un modèle performant aérodynamiquement mais difficilement pilotable ne peut donc pas être classé comme « performant ».

De même, un modèle performant dans les mains d'un pilote débutant ne donnera certainement pas les places d'honneur à son propriétaire. Il faut donc connaître parfaitement sa machine et s'entraîner dans toutes les conditions possibles. Une fois cela, acquis, il faut intégrer la stratégie du vol. Car le pilotage, c'est l'art de transformer une stratégie en un vol.

Si un bon pilote est celui qui sait bien établir une stratégie et la mettre en œuvre avec efficacité, un bon modèle permet au pilote de le positionner dans l'espace et dans le temps tout en gardant l'esprit libre pour d'autres tâches (surveiller les autres, rechercher des signes, appliquer ou faire évoluer sa stratégie...).

Pour définir les caractéristiques qui permettent d'avoir un modèle au pilotage aisé, il nous faut regarder toutes les stratégies mises en œuvre par le pilote pour réussir son vol.

Certaines ont déjà été exposées mais d'autres sont intéressante à analyser.

Stratégies de vol possibles pour exploiter une ascendance

Pour y voir un peu plus clair, nous allons regarder plusieurs aspects :

- Faut-il remonter au vent ou descendre le vent ?
- Comment positionner le planeur de manière à bien visualiser tout gain ou perte d'altitude ?
- Comment centrer une ascendance
- Comment réagir face à une descendance ?
- Quel cheminement / tactique adopter

Faut-il remonter au vent ou descendre le vent ?

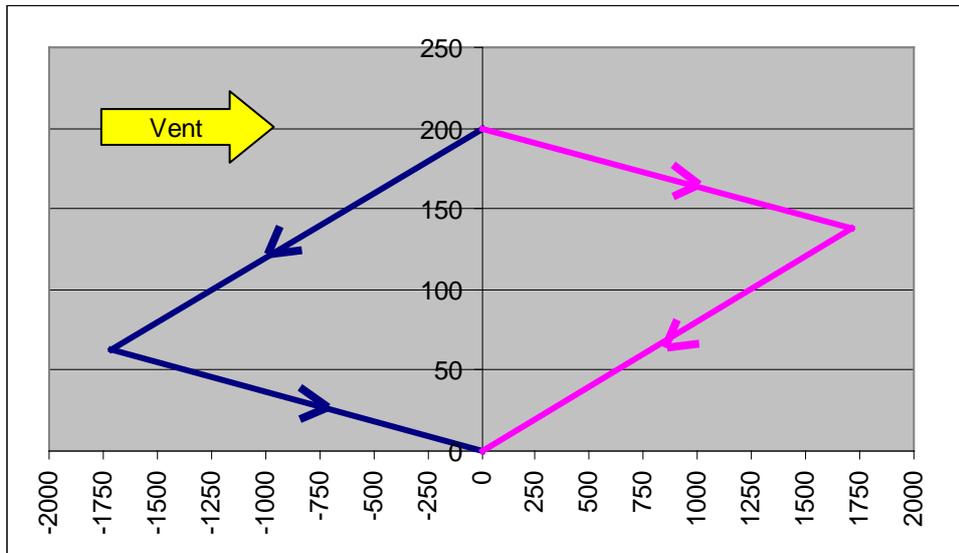
Exemples pour illustrer le propos

Prenons deux cas d'école.

- 1) Le modèle vole à 8m/s et chute à 0.4m/s. Il est largué à 200m d'altitude. Le vent est de 3m/s.



Le vol de durée – Conception et Stratégie



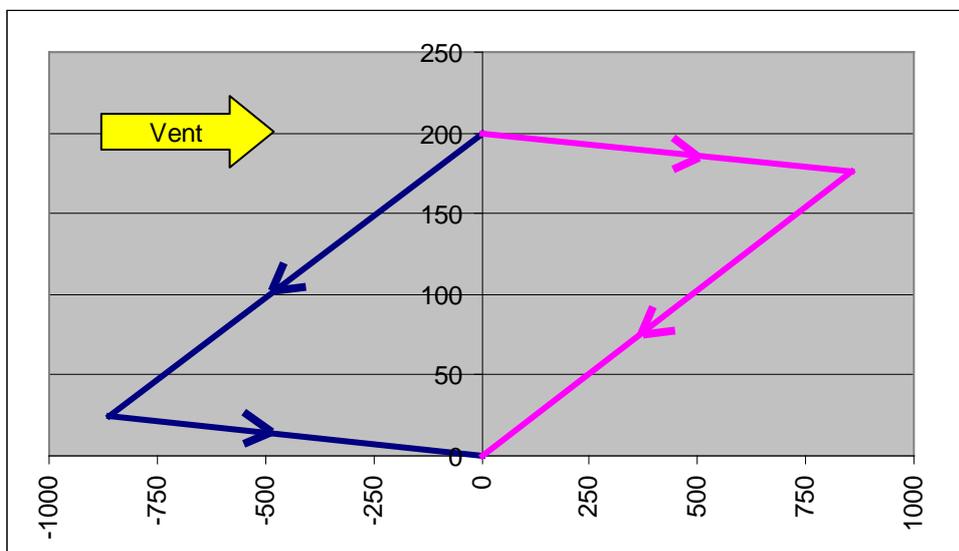
Ecart entre remonter au vent et descendre le vent avec 3m/s de vent.

Un rapide calcul montre qu'en partant d'une altitude de 200m, il est impossible de tenir 10 minutes sans avoir recours à une ascendance. En réalité, l'altitude atteinte en F3B au treuil électrique est plus importante (autours de 270m). Cela permet normalement de tenir 10 minutes. Mais ce n'est qu'un exercice de style, alors partons de 200m.

En descendant le vent il faudra rebrousser chemin au bout de 2 minutes 36 secondes maximum à une altitude de 138 m.

En remontant le vent il faudra rebrousser chemin au bout de 5 minutes 43 secondes maximum à une altitude de 62 m.

- 2) Deuxième exemple. Même planeur, même altitude de largage, mais le vent est de 6m/s.





Le vol de durée – Conception et Stratégie

Ecart entre remonter au vent et descendre le vent avec 6 m/s de vent.

En descendant le vent il faudra rebrousser chemin au bout de 1 minute 1 secondes maximum à une altitude de 175 m. Cela va vite !

En remontant le vent il faudra rebrousser chemin au bout de 7 minutes 10 secondes maximum à une altitude de 25 m. Le retour va se faire à grande vitesse au « radada »...

Interprétation de ces deux exemples

Quand vous remontez au vent, votre planeur se déplace par rapport au sol à la vitesse de vol moins la vitesse du vent. Par contre, en vous déplaçant dos au vent, votre vitesse sol est égale à la vitesse du planeur plus celle du vent. En terme de surface balayée en un temps donné, ce n'est pas du tout pareil. Aller sous le vent est d'un avantage certain.

En descendant le vent, vous restez en hauteur avant de devoir rebrousser chemin. En remontant au vent, vous rebroussez chemin alors que vos chances de prendre une ascendance sont plus faibles voir inexistante.

Donc à priori, il vaut mieux descendre le vent. C'est ce que font bon nombre de compétiteurs F3J/F3B.

Regardons un peu plus en détail les avantages à descendre le vent :

- Si vous avez déjà observé votre environnement pendant les minutes précédents le vol, vous connaissez déjà les conditions sous le vent. Côté au vent, vous pouvez aussi discerner les mouvements d'air en analysant les variations de mouvement de la végétation. En combinant les deux, vous pouvez profiter de toutes ces observations pendant une plus grande période de temps. Vous partez face au vent, et une fois largué (ou moteur coupé), vous pouvez aller sous le vent prendre une première ascendance et rejoindre une autre (qui était au vent au moment du départ) avant d'être trop déporté. Partir au vent n'est pas forcément une bonne idée à qui sait bien lire dans le paysage.
- En volant sous le vent, votre appareil est naturellement « queue basse » avec une trajectoire plus plate. Il vous sera plus facile de visualiser une ascendance. Au vent, c'est l'inverse.
- En étant sous le vent des autres, vous avez une bonne connaissance de ce qui se passe en amont de vous. Les autres sont des indicateurs du comportement de la masse d'air. et donc de ce qui se passera à votre niveau dans les minutes qui suivent.
- Vous rencontrez plus d'ascendances par unité de temps dans une proportion pouvant aller jusqu'à 1.4 lorsque le vent est plus fort. Dis autrement, pour une même plage d'altitude d'exploitation des thermiques (ex : entre 100 et 200m), vous balayez plus de terrains en allant sous le vent qu'au vent.
- En corollaire, vous restez plus en altitude à iso surface balayée. Les ascendances que vous traverserez seront plus faciles à prendre.



Le vol de durée – Conception et Stratégie

- S'il y a une ligne d'arbre sous le vent pas trop loin du point d'atterrissage, vous pourrez faire du vol de pente au-dessus, histoire de gagner quelques secondes voir minutes, et qui sait, avec un peu de chance, vous pourrez recoller quelque-chose. Pour une ligne d'arbre au vent, c'est plus difficile voir impossible à faire ;. Il vous faut traverser les remous, et puis la visualisation n'est pas facile.
- Si votre terrain représente la seule portion d'herbe au milieu d'une mer de blé, il est assez prévisible de dire que votre terrain est un très bon déclencheur de thermique. Il faut donc aller les chercher sous le vent.

Regardons maintenant les inconvénients à voler sous le vent. Car il y en a :

- En volant sous le vent vous allez vite. Il vous faudra donc vous décider rapidement sous peine de trop vous éloigner ou de passer à travers les ascendances.
Le risque n'est pas uniquement de ne pas revenir. C'est aussi celui de mal visualiser le planeur quand il est trop éloigné. Il vous faut donc être certain de vos trajectoires et de votre cheminement et savoir piloter en « aveugle » pendant la moitié du temps et bien sûr, avoir de très bons yeux.
- Si votre engin n'est pas capable de remonter au vent, c'est à dire, si la différence entre la vitesse de vol et la vitesse du vent n'est pas significative, vous ne pourrez pas aller trop loin sous le vent. Vous serez de plus très sensible aux descendances (voir un peu plus loin dans l'argumentaire).
- Si vous prenez une ascendance sous le vent, elle va dériver ; Il vous faudra alors à un moment ou un autre rentrer au terrain. J'espère que votre modèle sait transiter !
- Si une fois descendu au vent, vous vous apercevez qu'un congénère, plus en amont, spirale dans du positif, il vous sera plus difficile de le rejoindre, même si en théorie, avec la dérive des thermiques et leur inclinaison dans le vent, vous devriez avoir un certain avantage. Car n'oublions pas la descendance devant et derrière l'ascendance...
- Si vous rencontrez une descendance en chemin sous le vent, le risque de ne pas rentrer augmente avec votre éloignement et votre faible altitude. Et comme il n'est pas rare de rencontrer du -2m/s voir plus, c'est à dire une vitesse qui est 5 à 6 fois supérieure à la vitesse de chute, Chaque seconde passée dedans compte pour 5 ou 6 secondes de vol en moins ; Si vous avez déjà dérivé dans une ascendance, vous êtes déjà très loin ; Vous êtes alors très vite dans le rouge... Au contraire, au vent, si votre modèle traverse une zone descendante, il suffit de partir à 90° (faire un peu de vent de travers) puis de repartir vers vous une fois cette zone très défavorable quittée (rentrer au bercail est plus facile avec l'aide du vent).

A bien y regarder, les avantages sont aussi nombreux que les inconvénients. Tout doit être pesé avec précautions.

Certaines conditions peuvent favoriser l'une ou l'autre des deux façons de voler.

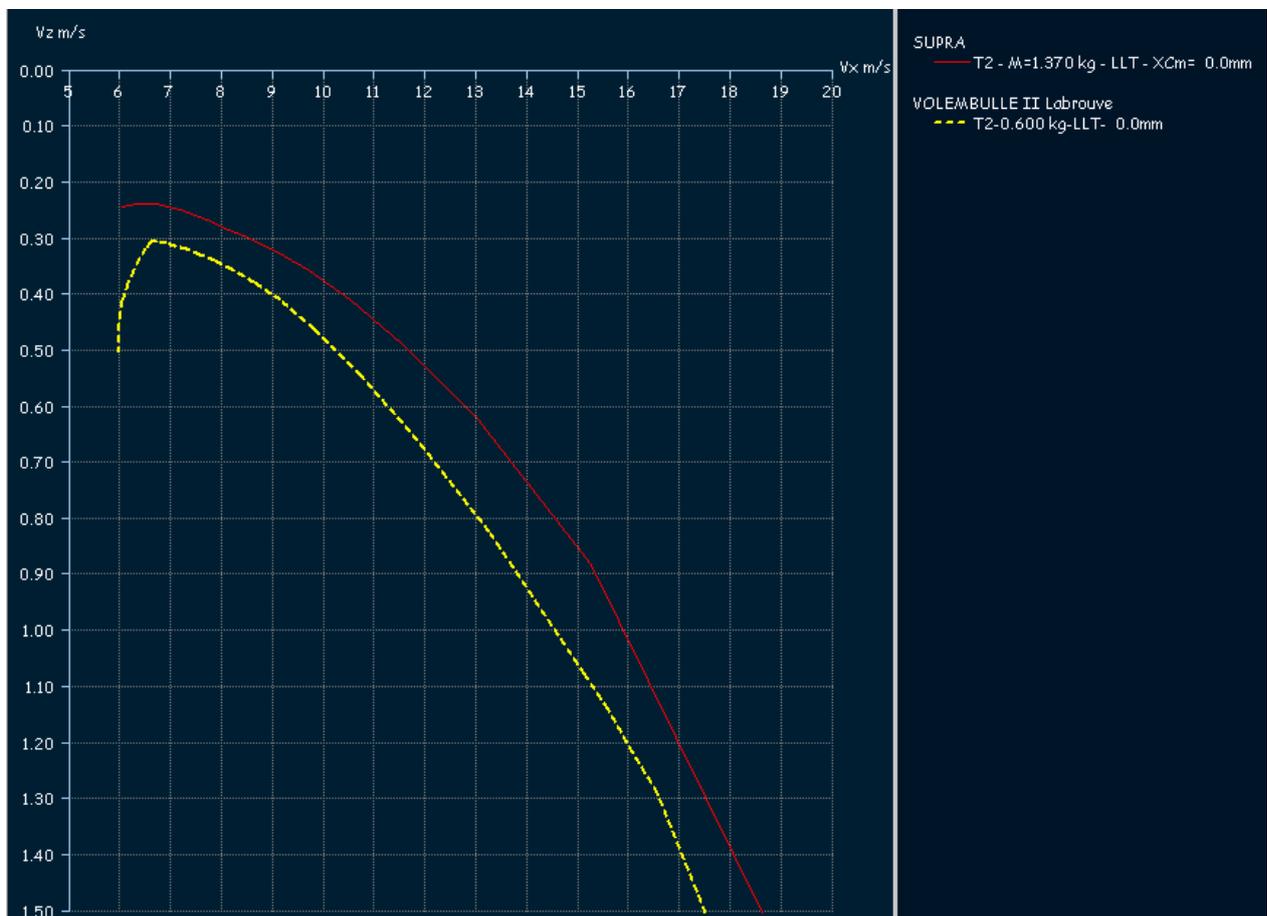
Aller sous le vent, c'est prendre l'initiative, c'est prendre un peu plus de risques. Il faut être plus lourd pour pouvoir remonter le vent et donc accepter de chuter plus.



Le vol de durée – Conception et Stratégie

Etre au vent, est un comportement sécuritaire, une gestion de vol d'un bon père de famille. Vous pouvez voler plus léger et donc moins chuter, mais il vous sera difficile de suivre l'ascendance. A vous de fixer les limites.

Si votre machine est du type ultra léger comme un Electro-7, la prise de risque à aller sous le vent est sûrement trop grande dès qu'il y a un peu de vent. Ces machines savent exploiter la moindre ascendance, mais leur capacité à transiter est faible. Par contre, avec des machines plus grandes du type F3B ou F3J qui plus est ballastées, la prise de risques est beaucoup plus raisonnable et peut être assumée dans beaucoup plus de cas. Ce n'est pas une question de vitesse de chute, c'est une histoire de capacité à faire du chemin.



Comparaison des polaires de vitesse d'une aile d'électro-7 avec celle du SUPRA (aile seule). A même vitesse de chute, le Supra va 5 à 10 km/h plus vite. Cela fait toute la différence.

Il nous reste une dernière possibilité. Si aller au vent est trop conservateur et aller sous le vent trop risqué, pourquoi ne pas adopter un comportement médian et aller sur le côté. C'est une idée à considérer de prime abord. Il faut juste savoir que le terrain parcouru à l'aller devra être une nouvelle fois survolé au retour. Si la zone n'est pas propice aux ascendances, c'est gaspiller ces cartouches sauf à prendre par chance un thermique de passage. Mieux vaut ne pas compter trop dessus !



Le vol de durée – Conception et Stratégie

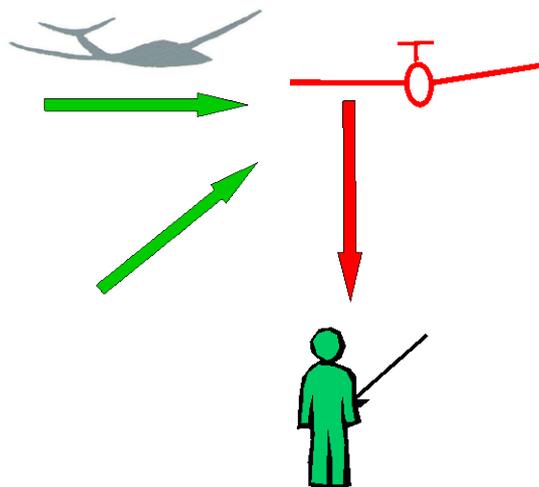
La vraie solution est donc de se mettre dans les conditions pour aller chercher les ascendances et les exploiter. Cela passe par la réalisation d'un circuit prédéfini à l'avance. Nous verrons cela plus tard.

Comment bien visualiser son modèle ?

Maintenant que nous savons assumer les risques pris, il nous faut positionner le modèle de manière à bien visualiser tout gain ou perte d'altitude.

Pour cela, il faut avoir en mémoire les points suivants :

- Il est difficile de visualiser les gains ou pertes d'altitude quand un modèle s'éloigne ou se rapproche de soi.
- Il est par contre facile d'identifier le comportement du modèle quand celui-ci évolue perpendiculairement à vous.
- Voler au-dessus de vous ne permet pas une bonne visualisation du comportement du modèle. Si en plus cela se passe à haute altitude, vous ne verrez rien du tout ! Votre pilotage sera très approximatif.
- Plus le modèle est vu de côté (à faible altitude donc), et plus il est possible d'avoir une bonne connaissance de son attitude.
- Plus le modèle est haut et plus il devra voler loin pour bien apprécier les variations d'altitude. Mais plus il s'éloigne et plus il nous est difficile d'apprécier les petits phénomènes thermiques. C'est là que l'entraînement à voler loin est important.
- Une solution consiste aussi à voler à 45° au vent ou sous le vent. La visualisation du modèle est bonne et vous parcourez le terrain.



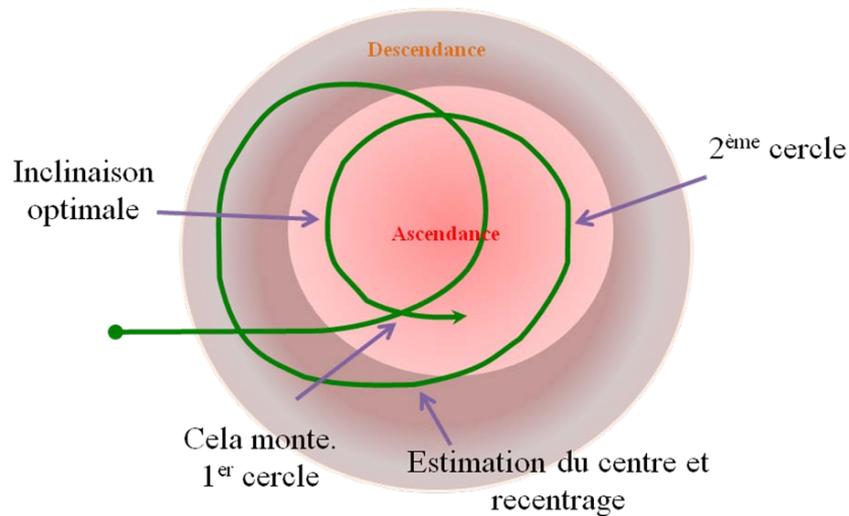
Les bonnes trajectoires du modèle par rapport au pilote pour apprécier les variations d'altitudes. Il doit apparaître de côté ou au maximum $\frac{1}{4}$ de profil. Ne pas voler vers soi.



Comment centrer une ascendance

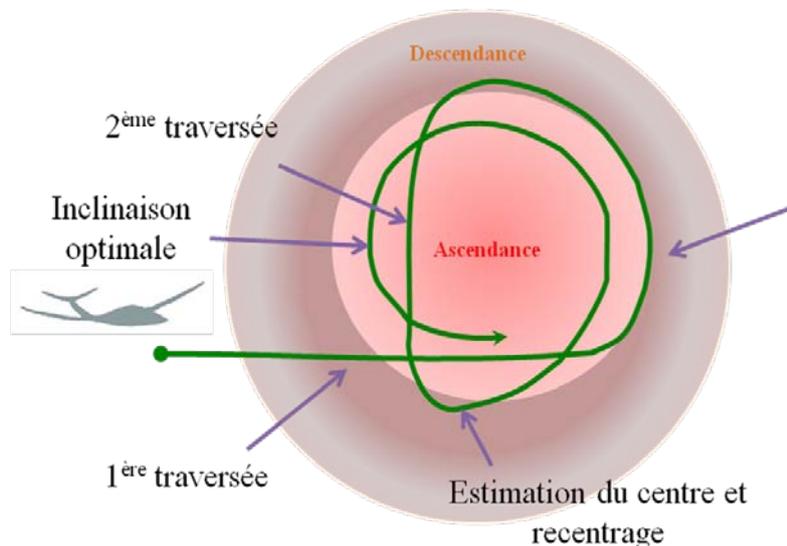
Je connais trois techniques possibles pour bien centrer une ascendance :

- Faire des cercles « concentriques » ; Entre chaque cercle, estimer le centre de l'ascendance et se recentrer



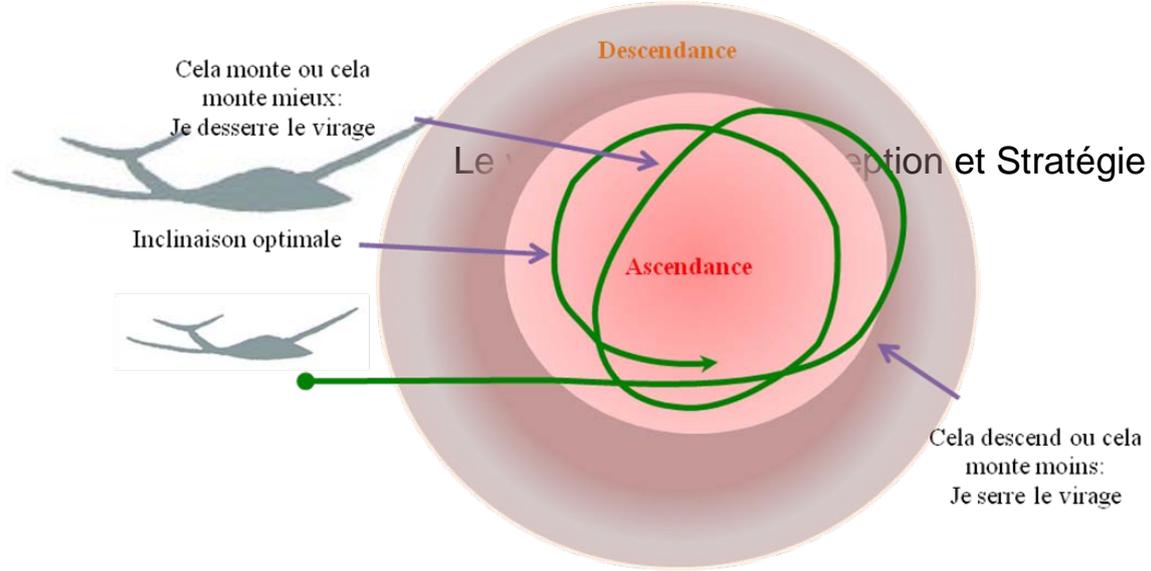
Méthode des cercles concentriques

- Faire 2 traversées à 90°, estimer le centre de l'ascendance et la centrer. Cette méthode est facile à appliquer quand on est débutant.



Méthode des traversées perpendiculaires.

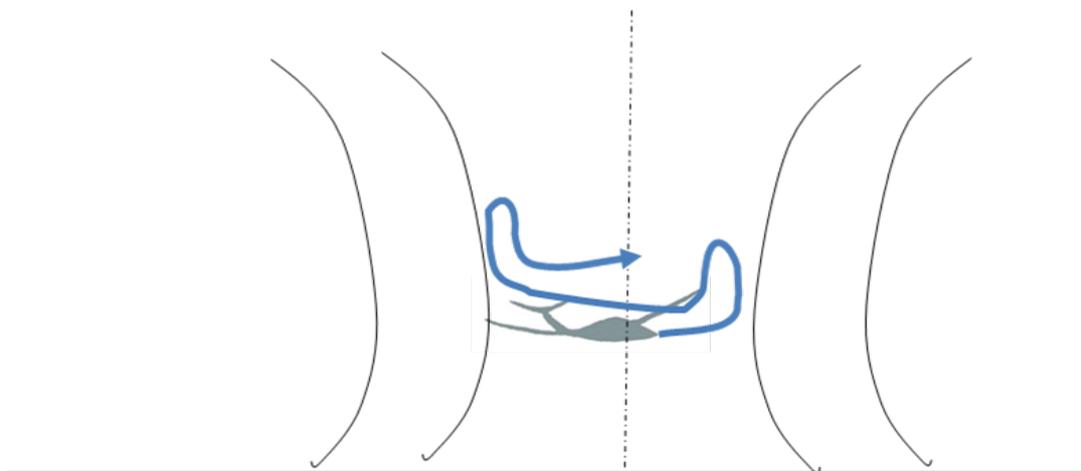
- Serrer le virage quand cela descend (ou monte moins), desserrer le virage quand cela monte (monte un peu plus). De proche en proche on centre l'ascendance avec un rayon de virage optimum.



Méthode du je serre ou desserre

Ces méthodes sont relativement équivalentes entre elles. Il y a peut être ne différence dans le cas d'un air très agité. Là, les deux premières méthodes semblent un peu plus performantes. La deuxième n'est pratiquée par aucun oiseau qui exploite les thermiques... On peut bien sûr conjuguer ou alterner les méthodes. L'important est de bien visualiser la colonne d'air et son déplacement.

Certaines fois, la colonne d'air est trop petite pour être exploitée. Certains préconisent alors de faire une succession de petits renversements dans le corps de l'ascendance. Cela permet au moins de changer rapidement de direction sans avoir à passer trop de temps dans la descendance à faire demi-tour.

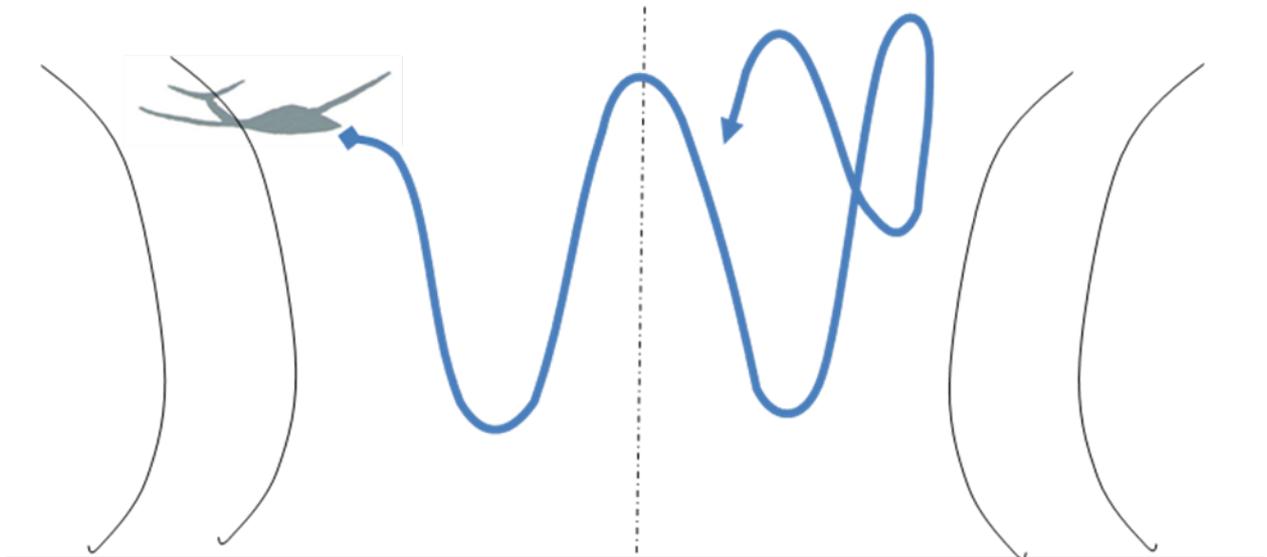


Pour ne pas sortir trop longtemps de l'ascendance, certains font un virage serré ascendant. Bien réalisé le bilan gain - perte d'altitude peut être positif.

D'autres enfin suggèrent de faire le « Dauphin » (vol en une succession de monté et descente en même temps que virer) dans le corps de l'ascendance. Cela permettrait de réduire le diamètre de la spirale.



Le vol de durée – Conception et Stratégie



Méthode du Dauphin dans l'ascendance. Cette méthode permettrait de réduire le rayon de la spirale. Une sorte de « dynamic soaring » du thermique.

Je n'ai personnellement pas l'expérience de ces deux dernières méthodes... Elles demandent toutes les deux une grande maîtrise du pilotage et beaucoup de pratique. Mais théoriquement cela se tient.

Comment Sortir d'une descentance ?

Lorsque vous entrez dans une descentance, il faut impérativement en sortir rapidement. En effet, un planeur chute autour de 0.4m/s. Lorsque vous êtes dans une descentance, c'est du 1 à 2 m/s voir plus que fera votre modèle. Toute seconde supplémentaire représente 2 à 5 secondes de vol en moins. Un facteur 5 ! C'est aussi sans compter sur la force du vent qui vous empêche de rentrer et sur l'épaisseur de la descentance.

Qui dit descentance, dit ascendance pas loin. Mais voilà, vous ne savez pas forcément où elle se trouve exactement... A vous de savoir lire le ciel à défaut des cartes de tarot. Aussi, dans le doute, voici quelques conseils :

Ce qu'il ne faut pas faire :

- Essayer de minimiser la chute en cabrant. Cela aurait pour conséquence de ralentir et donc d'y rester encore plus longtemps.
- Faire demi-tour. Vous venez de vous en prendre une bonne rasade, et vous voulez remettre le couvert ? Si vos adoptez cette attitude, vous êtes sur de perdre 2 fois ce que vous avez déjà perdu. Non au suicide !
- Virer et se retrouver face au vent. Là encore, vous allez rester dans la descentance plus longtemps car vous ne vous déplacerez pas ou peu par rapport au sol. Et puis si le modèle est devant l'ascendance, il lui faudra traverser une plus grande épaisseur d'air déporteur.



Le vol de durée – Conception et Stratégie

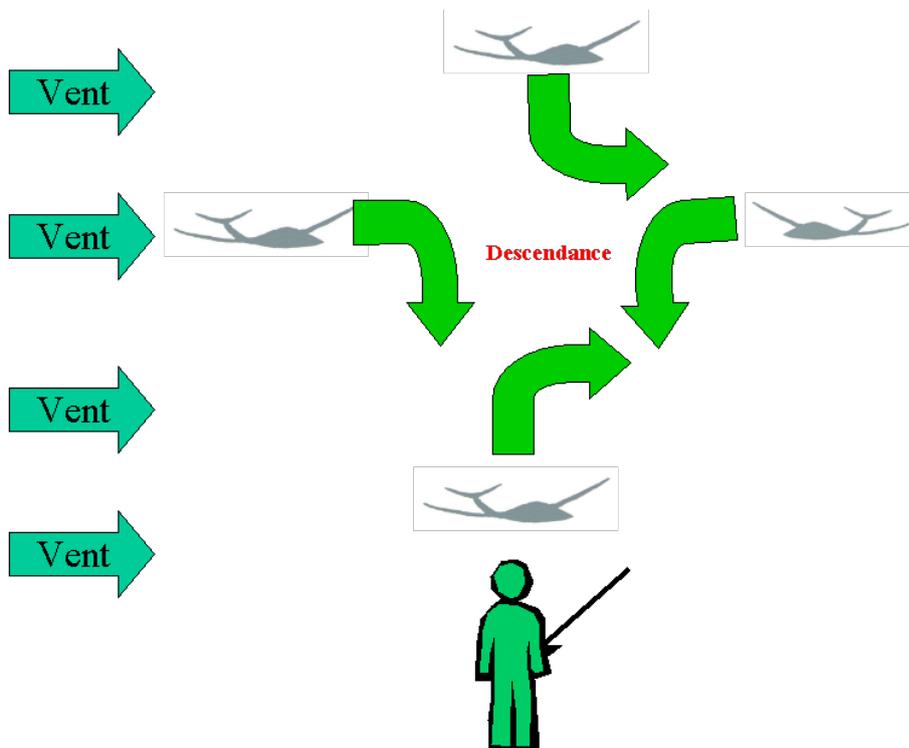
- Continuer. Si vous ne connaissez pas l'ampleur de la descentance ou si vous ne savez pas où est l'ascendance, vous risquez de jouer à la roulette russe. Attention donc.

Ce qu'il faut faire :

- Piquer pour partir au plus vite, et
- Virer à 90° de la direction d'où vous venez de manière à vous rapprocher du terrain (on ne sait jamais. Vous éloigner encore plus pourrait être suicidaire ! A appliquer quand on est loin ou à faible altitude), et
- Partir ou rester vent dans le dos une fois avoir viré.

En étant vent dans le dos, vous vous décalez plus rapidement par rapport au sol. En partant à 90° vous évitez de rebrousser chemin ou d'aller dans l'inconnu.

Bien sûr, si vous savez où elle se cache, tout ce qui vient d'être écrit peut vous paraître caduc. Jugez des chances de réussite. et alors peut être faut il persévérer en accélérant. « Elle est là et je l'aurai non mais ! »



Attitude à avoir dans une descentance si vous ne savez où elle est. Virez à 90° et piquez !

Fort des toutes ces informations vous pouvez maintenant établir votre tactique de vol.



La tactique de vol à adopter

La première tactique à adopter est de construire un cheminement. Puisque que l'altitude de largage est limitée et qu'en dessous de 100m d'altitude il devient difficile d'accrocher une ascendance, il vaut mieux savoir où aller et enrouler le plus tôt possible.

L'analyse de l'aérodynamique ambiante et du terrain doit vous permettre de le faire avec une bonne chance de réussite.

Maintenant, vous n'êtes pas le seul à voler. Aussi, quelle attitude avoir vis-à-vis des autres.

Etre un loup solitaire ou un Mouton de panurge ?

Deux types de comportement s'opposent :

- Vous vous sentez l'âme d'un loup solitaire. Vous n'en faites qu'à votre tête et suivez uniquement votre instinct. Les autres semblent avoir trouvé leur bonheur, mais vous allez trouver mieux de votre côté. L'herbe des autres n'est pas assez verte ! Bref, vous avez toujours raison et le chemin que vous prenez est celui qui mène au Paradis ! Beau programme ! Belle confiance ! Malheureusement, vous n'êtes pas un oiseau. L'air n'est pas votre milieu naturel. Il est fort à parier que vos choix seront aussi votre tombeau. Si ce comportement permet de gagner quelques manches dans une compétition, peu de loups solitaires gagnent tous les concours ! Les autres font aussi leur propre cheminement.
- Vous vous sentez l'âme du suiveur. Vous allez là où vont les autres. Vous ne vous éloignez jamais de la grappe. Ils spiralent là, donc c'est que cela monte. Vous tournez dans le même sens que les autres... Malheureusement, il est aussi possible qu'ils soient justes à côté ou en bordure de la vraie pompe, et qu'ils finissent par entraîner tout le monde vers le bas. Et puis, vous avez toujours un temps de retard. Cela peut être fatal ! Le comportement moutonnier n'est pas non plus la solution. Cela permet de marquer les autres, mais cela ne fait jamais de vous un gagnant.

La solution à adopter est bien sûr d'avoir et d'appliquer sa stratégie, mais en tenant compte de toutes les informations à votre disposition autour de vous.

Autour, ce sont les autres, mais aussi les arbres et les oiseaux. Quelques hirondelles qui volent sans battre des ailes, des corbeaux ou une buse qui spiralent, Voilà des indices qui doivent vous influencer. Il semble qu'il faille se méfier des mouettes. Elles sont tellement performantes qu'elles accrochent des ascendances anémiques, font exprès de tourner en rond au-dessus de leur nourriture sans perdre d'altitude, ne tournent pas forcément dans le bon sens, bref, elles peuvent vous induire en erreur. Mais quand elles montent rapidement, c'est qu'il doit être possible de faire quelque-chose avec elles (enfin en dessous d'elles, même si c'est rageant de ne pouvoir jamais les rejoindre).

Il y a des moments pour tout.



Le vol de durée – Conception et Stratégie

Si vous regardez bien les graphiques donnant l'allonge maximale, vous pouvez théoriquement avancer ou reculer de plusieurs kilomètres et revenir. Est ce bien raisonnable ? En pratique non ! Vous pouvez au mieux explorer l'environnement jusqu'à 500 mètres environ. Au-delà, il faut de bons yeux. Je sais, certains font des vols sous le vent jusqu'à 1000m sous le vent. Mais tout le monde ne s'appelle pas « champion du monde » !

Et puis aller tout droit et revenir n'est pas réaliste du tout. En réalité, votre recherche de l'ascendance va consister à ratisser le terrain, à faire un circuit.

Mais ces graphiques peuvent être interprétés autrement. Au-delà d'une distance parcourue, il vous faudra à priori rentrer ou même être déjà en train de rentrer. Et là, cela vous donne votre rayon d'action. Si vous décrivez un demi-cercle autour de vous, votre rayon d'action est de l'ordre de 300 à 600m suivant les conditions. Si vous voulez pouvoir explorer tout le terrain autour de vous, le rayon sera sûrement beaucoup plus réduit (entre 150 et 300m).

Cette notion est à relier avec votre capacité à rejoindre les autres à l'autre bout du terrain. Plus le temps passe, et plus votre éloignement deviendra un isolement pour le meilleur et pour le pire !

On peut ainsi en déduire la stratégie de vol suivante (avec un départ à 200m d'altitude) :

- La première minute vous permet de jouer votre carte personnelle sans trop de risques. Il sera toujours possible de rejoindre les autres et prendre le même ascenseur qu'eux,
- La deuxième minute est décisive (vous pouvez persister ou rejoindre les autres),
- La troisième minute va sceller votre destin. A vous de prendre les bonnes décisions. Vous pouvez encore rejoindre les autres si vous n'en êtes pas trop éloigné, mais avec une probabilité non négligeable de ne pouvoir raccrocher comme eux si vous attendez trop.

Si vous ne connaissez pas bien le terrain, il est conseillé de ne pas perdre de vue les pilotes qui eux le connaissent bien. Informez-vous, observez les différents vols des uns et des autres, noter les lieux et temps de passage des ascendances. Repérez ceux qui ont l'habitude de voler dans le coin et qui savent détecter et exploiter une bulle. Il y en a toujours au moins un par manche en compétition.

Au bout d'une minute de vol, à vous de voir comment ils s'en sortent, et éventuellement de décider d'aller les rejoindre. Comme il est plus facile de descendre le vent que de le remonter, il pourrait paraître avantageux d'être toujours au devant d'eux (ou en latéral) afin de facilement rejoindre les autres, et non sous leur vent. En faisant ainsi, vous êtes l'indicateur parfait de l'air qui va arriver sur les autres. Si vous aviez été sous le vent des autres, les rôles seraient inversés et vous auriez une lecture très précise de l'air en amont qui va vous arriver. Cette dernière attitude est de loin préférable, même si la remonté au vent est plus laborieuse.



Le vol de durée – Conception et Stratégie

Votre stratégie est donc dictée par le terrain, le type d'air qui est passé sur vous dans le dernier ¼ d'heure et les trajectoires des autres. A vous d'en tirer le meilleur profit.

Conséquences sur la conception du modèle

Les différents types de vols et stratégies exposées illustrent bien les différentes phases de vol déjà étudiées.

Nous pouvons ainsi facilement confirmer les options prises sur la conception du modèle et anticiper qu'il n'y a pas un seul modèle performant mais que chaque type d'aérogologie favorise plus ou moins telle ou telle option.

Et maintenant que faire de toutes ses analyses ?

Nous avons vu que le vol de durée et ses différentes phases pouvait exiger des caractéristiques contradictoires d'une phase à l'autre. Par exemple, si l'allongement semble un facteur neutre voir négatif pour spiraler, il est important pour les phases de transition. Idem pour la charge alaire. Comment faire le bon choix. Comment être sûr de prendre les bonnes décisions dans sa conception ?

Je vous propose d'appliquer la même méthode de tri qu'utilisée pour départager les différentes phases entre elles.

Nous disposons des caractéristiques d'un modèle (Envergure, Allongement, courbure de profil, masse, stabilité...). Nous avons identifié les paramètres importants pour chaque phase. Nous pouvons ainsi sortir la note de chaque caractéristique du modèle et faire un classement.

Il est clair que cette évaluation dépend de chaque catégorie et de l'idée que se fait chaque pilote des conditions aérogologiques qui seront rencontrées. Si nous n'avons pas le même jugement (et c'est normal), les résultats peuvent différer. Nous pouvons toutefois trouver des invariants et quelques « surprises ».

Regardons un peu la catégorie F5J unlimited.

Pour rappel, voici le poids des différentes phases du vol

(A,ligne) préféré à (Colonne,3)	Mise en altitude	Recherche ascendance	Exploitation ascendance	Retour vers zone d'atterrissage	Atterrissage	Poids
Mise en altitude						0
Recherche ascendance	3		1	1	1	24
Exploitation ascendance	3			1	2	18
Retour vers zone d'atterrissage	3				2	10
Atterrissage	3					3



Le vol de durée – Conception et Stratégie

Nota : la mise en altitude est la phase la moins importante pour le modèle. Mais il est clair que c'est la phase la plus importante pour les points de vol : Couper le moteur à 50m ou 100m d'altitude en F5J fait prendre beaucoup de risque au pilote. Il faut alors que sa stratégie soit payante et que les dieux soit avec lui sans aucun doute possible. Les phases de recherche et d'exploitation d'ascendance sont alors primordiales. Tout modèle saura être mis en altitude. Mais tous ne permettront pas d'optimiser les chances de réaliser le temps maxi de vol.

Le poids final d'une phase a été déterminé en faisant le produit du nombre de croix et des sommes de poids élémentaires notés pour chaque phase.

Maintenant si nous évaluons l'importance de chaque paramètre grâce à nos précédentes analyses, nous pouvons établir le classement suivant :

F5J																		
Donnée	Mise en altitude			Recherche ascendance			Exploitation ascendance			Retour vers zone d'atterrissage			Atterrissage			Note totale	%	
	Pondération de la phase de vol	Note (1=élevé, 0=neutre, -1=négatif)	Note pour la phase de vol	Pondération de la phase de vol	Note (1=élevé, 0=neutre, -1=négatif)	Note pour la phase de vol	Pondération de la phase de vol	Note (1=élevé, 0=neutre, -1=négatif)	Note pour la phase de vol	Pondération de la phase de vol	Note (1=élevé, 0=neutre, -1=négatif)	Note pour la phase de vol	Pondération de la phase de vol	Note (1=élevé, 0=neutre, -1=négatif)	Note pour la phase de vol			
18	Stabilité longitudinale bonne	0	0	0	15	1	15	28	1	28	10	1	10	3	0	53	8%	
19	Marge statique longitudinale faible	0	0	0	15	1	15	28	1	28	10	1	10	3	0	53	8%	
1	Forte Envergure	0	0	0	15	1	15	28	1	28	10	1	10	3	0	53	8%	
9	Fort Volume de stab	0	0	0	15	1	15	28	1	28	10		0	3	1	3	46	7%
10	Fort Volume de dérive	0	0	0	15	1	15	28	1	28	10		0	3	1	3	46	7%
17	Stabilité lacet bonne	0	0	0	15	1	15	28	1	28	10		0	3	1	3	46	7%
3	Longueur du fuselage	0	0	0	15	1	15	28	1	28	10		0	3		0	43	6%
5	Faible Masse	0	0	0	15	1	15	28	1	28	10		0	3		0	43	6%
7	Faible Charge ailaire	0	0	0	15	1	15	28	1	28	10		0	3		0	43	6%
11	Forte Courbure profil	0	0	0	15	1	15	28	1	28	10		0	3		0	43	6%
13	CZ élevé	0	0	0	15	1	15	28	1	28	10		0	3		0	43	6%
16	CZ3/CX2 élevé	0	0	0	15	1	15	28	1	28	10		0	3		0	43	6%
4	Forte taille des gouvernes	0	0	0	15		0	28	1	28	10		0	3	1	3	31	4%
2	Fort Allongement	0	0	0	15	1	15	28		0	10	1	10	3		0	25	4%
14	CX faible	0	0	0	15	1	15	28		0	10	1	10	3		0	25	4%
15	CZ/CX élevé	0	0	0	15	1	15	28		0	10	1	10	3		0	25	4%
12	Forte Epaisseur profil	0	0	0	15		0	28	1	28	10	-1	-10	3		0	18	3%
6	Forte masse	0	0	0	15		0	28		0	10	1	10	3		0	10	1%
8	Forte Charge ailaire	0	0	0	15		0	28		0	10	1	10	3		0	10	1%
20	Taux de roulis élevé	0	0	0	15		0	28		0	10		0	3	1	3	3	0%

Classification des paramètres permettant de définir un modèle de durée F5J unlimited.

Il est frappant de remarquer l'importance donnée par les aspects dynamiques, de stabilité et de l'envergure. Une lubie de l'auteur ? Peut être. Peut être pas. A vous de juger.

On trouve ensuite, l'intérêt pour une faible charge alaire, un grand allongement, une faible masse et un bon coefficient CZ^3/CX^2 nécessaire à la faible vitesse de chute. Rien de surprenant pour faire de la durée.

Il n'est aussi pas surprenant de trouver en bas du tableau et donc classé comme « moins important » voir « à éviter », les fortes épaisseurs de profil, les fortes charges alaires.

Un peu plus surprenant la faible importance du taux de roulis. Il ne compte que pour l'atterrissage. Cela traduit juste le fait que les bonnes spirales ne demandent pas une capacité à changer d'incidence rapidement mais plutôt une très bonne insensibilité aux turbulences et autre lacet inverse qui mettent vite le modèle dans une position délicate lors de la spirale.



Le vol de durée – Conception et Stratégie

J'en déduis pour ma part qu'en F5J, il faut travailler la vitesse de chute mini tout en gardant un œil sur la finesse jusqu'à 15m/s. Le profil hyper fin fait pour les hautes vitesses n'est alors pas forcément le mieux adapté pour la catégorie. Ni celui hyper épais et cambré pour bien porter.

Bien sûr, on peut refaire l'exercice pour d'autres catégories et le résultat sera alors différent.

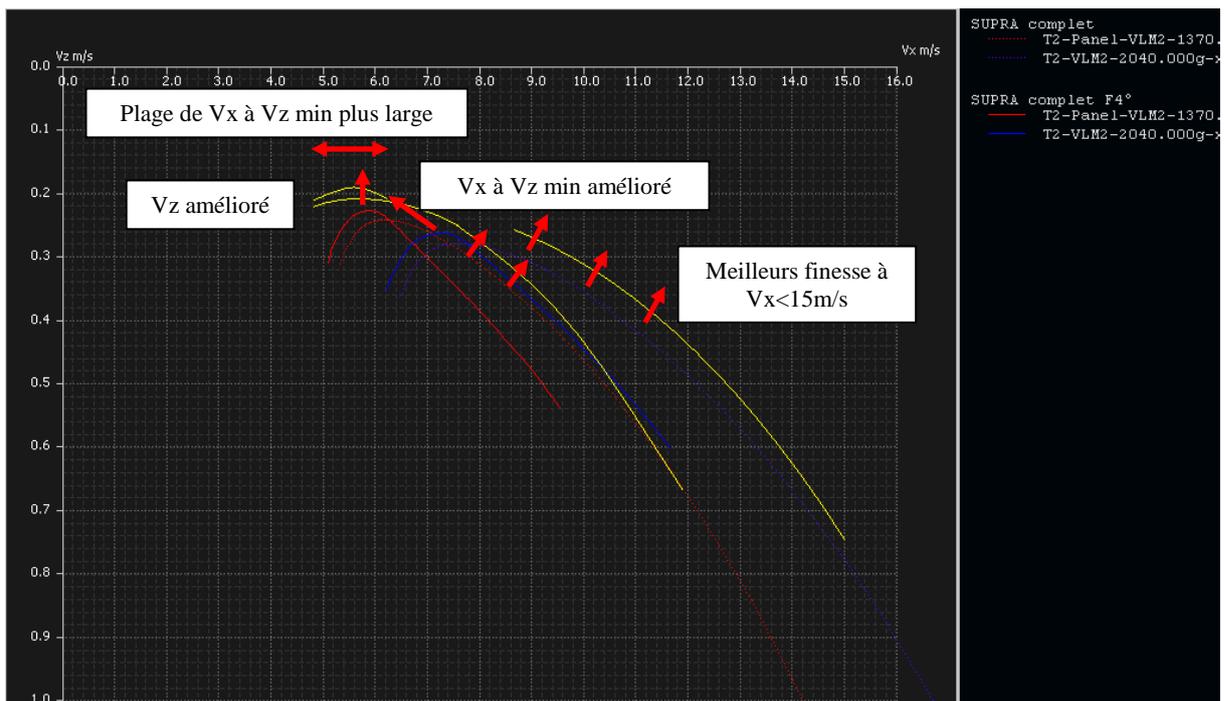
Quelques pistes d'améliorations

Qui dit amélioration dit faire mieux que... Il faut donc une base.

Il n'existe que très peu de données sur les profils utilisés. Seul M. Drela a eu l'idée (géniale à mon sens) de tout mettre à disposition. Nous prendrons donc le SUPRA comme référence pour une machine de F5J. C'est en plus une machine dont la conception est très aboutie quand elle est réalisée au poids annoncé à sa conception en 2004.

Ce planeur peut être réalisé pour une charge alaire finale de 20g/dm² et aller jusqu'à 35g/dm². Même si c'est une version F3J qui est modélisée, on peut prendre cela comme base même pour un modèle type F5J. L'expérience montre que l'on peut enlever de la matière destinée à la résistance au treuillage et remplacer cette même masse par la propulsion.

La polaire de vitesse pour le modèle en lisse ou avec 4° de volet est donnée ci-dessous (hors intégration du fuselage).





Le vol de durée – Conception et Stratégie

Compte tenu de ce que nous avons analysé, l'amélioration devra avoir pour but, à iso résistance, de :

- Améliorer la vitesse de chute mini avec ou sans volets
- Diminuer la vitesse de vol donnant le taux de chute mini à iso résistance
- Améliorer la plage de vitesse autour de V_z min afin qu'elle soit plus large.
- Améliorer la finesse max en dessous de 15m/s.

Les courbes en jaune du graphique donnent les directions vers lesquels tendre.

Pour cela, les recettes suivantes peuvent être mises en œuvre :

- Augmentation de l'envergure (moins de traînée induite).
- Très légère augmentation de la courbure des profils (Le point de dessins des profils est un point plus proche de la V_z min et de la finesse max que de la vitesse max).
- Légère diminution des épaisseurs (moins de traînée de profil)
- Des profils avec moins de courbure aux saumons qu'à l'emplanture (cela agit comme un vrillage négatif vis-à-vis de la vitesse de décrochage et augmente la finesse aux vitesses intermédiaires).
- Un allongement définit pour que la charge alaire finale hors ballast soit à la valeur désirée (ex : 20 à 23g/dm²).

Résumer sur le meilleur modèle de durée

Le meilleur modèle de durée n'existe pas.

Chaque catégorie, chaque condition de vol type va demander de mettre l'accent sur tels ou tels paramètres.

On peut toutefois dire que les paramètres à surveiller sont (dans le désordre)

- La vitesse de vol,
- La vitesse de chute,
- La finesse jusqu'à 15m/s,
- La charge alaire,
- La stabilité en tangage
- La stabilité en lacet.

Il est clair que la réponse à ce cahier des charges général n'est pas unique. Des compromis sont à faire dans le choix des courbures de profil et de leur épaisseur, dans les allongements et dans le mode de construction.

Chaque catégorie verra apparaître son optimum. Ainsi, même si l'utilisation des modèles de F3J pour faire du F5J « unlimited » est parfaitement compréhensible et se justifie au moins commercialement (Cela permet de réutiliser des moules et une réputation), des machines plus affutées seront créées pour cette catégorie.

Les concepteurs ont encore un peu de pain sur la planche.