

LE VOL NATUREL (Par Alfred JABES Ing.ECP)

LE VOL NATUREL ET LE VOL MECANIQUE

Les animaux dont le milieu de locomotion normal est l'air, sont les oiseaux, les chiroptères (chauve-souris) et les insectes.

De même que l'homme pour se mouvoir au sol a inventé la roue, au lieu de généraliser des systèmes de transport plus compliqués copiés sur la marche, de même, il a inventé un engin à aile rigide, tiré par une hélice mue par un moteur, pour se déplacer dans l'air, contrairement au vol naturel qui fait appel au battement de l'aile.

Au passage nous avons parlé d'hélice qui est aussi le moyen utilisé pour se déplacer dans ou sur l'eau, éloigné du moyen naturel de battement des nageoires de l'animal aquatique.

Ainsi dans tous les cas, l'homme a remplacé le mouvement naturel alternatif, par un mouvement continu, plus simple de réalisation. Il ne s'est plus préoccupé de savoir comment fonctionne la nature, et, c'est ainsi qu'il ne sait toujours pas comment font les animaux pour se déplacer, dans l'air, en particulier.

En plus du fait qu'il est intéressant de déchiffrer le mystère du vol, on peut se poser la question suivante : la nature agissant le plus souvent de la manière la plus économique, n'avons-nous pas adopté une solution, plus simple, certes, mais peut-être, plus chère ?

Ce n'est pas tant pour des raisons d'économie que nous posons la question, mais plutôt pour voir si, une fois de plus, pour des raisons de simplification, nous n'avons pas abandonné, non pas une voie nouvelle puisqu'elle existe depuis des millions d'années, mais naturelle, c'est-à-dire, mieux adaptée au milieu fluide et élastique qu'est l'air.

En effet, on ne peut qu'être frappé de la discordance qui existe entre le vol harmonieux, silencieux et souple d'un animal qui décolle et atterrit sur place, et celui bruyant d'un avion qui déchire l'air avec ses surfaces métalliques, laissant derrière lui un sillage perturbateur, obligé de se servir de pistes immenses pour décoller et atterrir.

On pourrait aussi comparer les navires rigides, aux hélices coupantes, à la souplesse des poissons, en harmonie dans leur milieu.

ETUDE DE L'ANATOMIE DE L'ANIMAL

Nous n'allons pas traiter ici ce chapitre qui a fait l'objet de nombreuses études, mais il est bon de connaître le squelette, les articulations, la musculature, les structures en contact avec le fluide, les mouvements possibles, les répartitions des masses et des surfaces, les forces générées.

Des dimensions des os et des muscles, de la position, des angles de rotation et des plis possibles des articulations, il pourra être fait le schéma des mouvements des membres, pendant le vol.

ETUDES DU VOL DANS LA NATURE

Une telle étude n'est pas facile, pour les raisons suivantes

Il s'agit de saisir les détails du vol d'un animal qui se déplace, souvent à grande vitesse, à distance, dans un milieu changeant et transparent, selon une direction mal définie, dans trois dimensions. On ne pourra donc faire directement que peu d'observations, essentiellement qualitatives.

On améliore l'observation par des prises de vue, donnant des images ralenties et rapprochées, la cadence des images permettant, aussi, un chronométrage des mouvements de chaque partie de l'animal, et peut-être, sa trajectoire, s'il existe des repères. On pourra éventuellement calculer les vitesses et accélérations.

De plus, il faudra tenir compte de la vitesse et de la direction du vent, supposé constant.

Pas question de mesurer ou calculer avec précision, les efforts aérodynamiques ou d'inertie. Pour cela, il faut observer l'animal dans des conditions plus favorables.

ETUDE DU VOL EN LABORATOIRE

L'animal est mis en observation sur un manège ou dans un tunnel aérodynamique. Du fait qu'on est obligé de l'observer à vitesse constante, on fausse légèrement le problème, sauf si l'animal est observé volant librement, dans le courant d'air.

Plusieurs chercheurs ont ainsi pu faire des mesures précises sur des oiseaux, et, même des insectes!

On peut raisonner sur des courbes de vitesses instantanées de certains points des ailes, sur des relevés des forces instantanées aérodynamiques et/ou d'inertie.

Les résultats sont étonnants : les forces mesurées étant TROIS fois supérieures à celles mesurées sur la même aile en vol permanent.

De plus, les courbes relevées, aussi bien avec des oiseaux qu'avec des insectes, sont très proches entre elles et l'on peut donc affirmer connaître le détail des mouvements et des efforts, en vol.

Enfin, dans certains cas, les écoulements ont pu être mis en évidence, par des émissions de fumée, montrant les tourbillons générés pendant tout le battement.

Mais, les mêmes chercheurs nous disent : "Voilà nos résultats. Ils sont dignes de foi, vous savez dans quelles conditions ils ont été obtenus. MAIS RIEN NE SERA PROUVE TANT QUE NOUS N'AURONS PAS DES APPAREILS VOLANTS CAPABLES D'OBTENIR LES MEMES RESULTATS ". Autrement dit : "Nous savons CE qu'ils font, mais nous ne savons pas vous dire COMMENT ils font".

Des modèles très simplifiés, à ailes battantes, ont été testés en soufflerie, avec des résultats très positifs, mais aussi très limités, et essayés presque en cachette, tellement ce sujet scientifiquement "tabou" n'intéresse pas beaucoup les aérodynamiciens classiques!

Pour l'instant, et, malgré de nombreuses tentatives s'étendant sur des siècles, l'homme n'a toujours pas réussi à voler, en battant des ailes.

LES MODELES REDUITS

De nombreux chercheurs, surtout à la fin du XIX^e siècle, pensaient que la seule façon de voler ne pouvait être obtenue qu'en copiant au plus près le vol naturel.

Bien des modèles réduits furent essayés, avec plus ou moins de succès, mais ils permirent en comparant leurs performances à celles des animaux, de se faire une opinion sur les paramètres essentiels conditionnant le vol. La réussite du vol avec les appareils d'Ader, Santos Dumont, Farman, Wright, etc... mit un terme aux battements alaires.

Depuis quelques années, et avec les progrès des moteurs thermiques ou électriques, de telles recherches ont été reprises, avec succès, aussi bien en France avec le "Gyroptère" de Marcel CHABONAT (Directeur de la soufflerie Eiffel) qu'aux Etats Unis, avec la réplique à l'échelle 1/2 d'un reptile volant de 11 mètres d'envergure, étudié et construit par Mac CREADY (père de l'appareil "Gossamer" à puissance musculaire qui a remporté les Prix Kremer, dont celui de la Traversée de la Manche), ou au Canada par les aérodynamiciens Harris et de Laurier, ou plus récemment en France avec l'appareil "True-Fly" d'Albert KEMPF, dont on vous a parlé dans le numéro précédent d'Aérial. Il convient également de citer le "SKYBIRD", ornithoptère à propulsion thermique radiocommandé, de l'américain Sean KINKADE.

En Allemagne et en Russie d'autres appareils sont essayés.

Partout des fanatiques cherchent, et sans doute bientôt, verrons-nous le peuple des animaux volants envahi par des robots à leur image !.

Même si le vol de ces appareils n'a pas la qualité de celui des modèles vivants (c'eût été trop beau, il faut retenir qu'enfin on peut dire, avec un mauvais jeu de mots, que le vol battu est gagnant !).

Cependant, ne crions pas trop vite victoire, car ces appareils sont assez rudimentaires : on est encore loin de la majesté du vol de l'oiseau ou de l'adresse des insectes. Même mieux, certains modèles battent des ailes autrement que les animaux, et cependant volent bien.

On peut dire que le vol naturel n'est plus un miracle, et que vouloir l'imiter est possible

DESCRIPTION DU VOL

Les oiseaux et leur vol

A la suite de toutes ces observations et mesures, on peut dire d'une manière générale, que:

les oiseaux qui volent convenablement ne dépassent pas le poids de 12 kg.

leur squelette est très léger par rapport au poids total

le poids de leur plumage est comparativement lourd: 10%

les muscles abaisseurs de l'aile sont 5 à 10 fois plus lourds que les muscles éleveurs, en effet le grand pectoral représente 15% du poids du corps, contre 1,5% pour le petit pectoral (pour les oiseaux rameurs).

le rapport surface de l'aile en cm = 10 à 20, la valeur 10 correspondant aux oiseaux à vol lent.
(poids en g)

Le vol horizontal

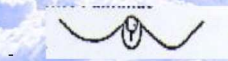
L'ossature, les muscles, les articulations et les plumes de l'aile sont répartis de telle manière que l'aile obéit, en vol horizontal, à 5 (ou 7) mouvements principaux.

A l'abaissée.

elle s'abaisse de haut en bas. angle D

elle va d'arrière en avant: angles C et E

- elle pivote vers le bas: l'angle d'incidence i diminue



elle fléchit élastiquement: aile en W

elle se tord élastiquement: vrillage

Remarque: il est bien entendu (pour des raisons de simplification) que ces mouvements correspondent à des valeurs moyennes et qu'en réalité, comme nous le verrons, les mouvements observés s'inscrivent autour de ces schémas, mais ne sauraient cacher des phénomènes essentiels.

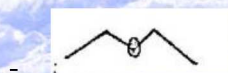
A la remontée (ou relevée)

elle remonte de bas en haut: D

elle va d'avant en arrière: C et -E

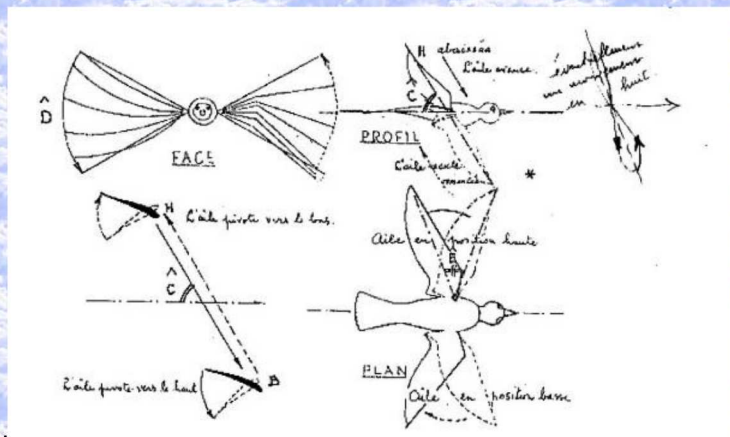
elle pivote vers le haut. l'angle d'incidence i augmente

- l'articulation (de la "main") remonte plus vite: aile en M



elle fléchit élastiquement

- elle se tord élastiquement: vrillage



Ces mouvements peuvent se traduire par le schéma suivant :

on observe aussi : qu'en vol normal, la vitesse horizontale en vol "rame" est peu différente de la vitesse horizontale de planer; que pour les oiseaux, surtout rameurs, l'angle de battement & vu de face est sensiblement de 60° et que l'angle d'abaissée "C" peut être modifié en vol, entre 30° et 60°.

Effet d'attaque oblique (BUDIG)

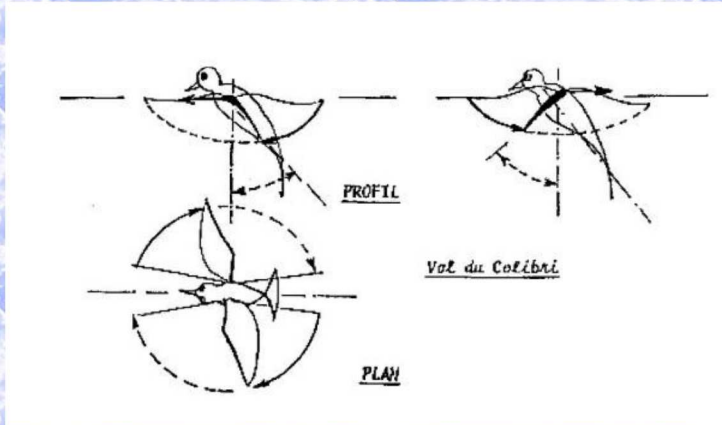
Vol stationnaire

Le corps de l'oiseau n'est plus horizontal mais incliné d'environ 45° .

l'aile va d'arrière en avant, et, vice-versa, selon un angle, (maintenant, dans un plan horizontal) de presque 180° .

elle pivote autour du bras (à la façon d'un éventail) faisant avec l'horizontale un angle de $\pm 45^\circ$ environ

- la fréquence de battement est beaucoup plus grande qu'au cours du vol horizontal



Quelques observations générales.

De plus, l'oiseau peut battre des ailes ou planer (peu d'insectes peuvent planer), ainsi, on distingue : oiseaux rameurs et oiseaux planeurs.

A l'abaissement de l'aile, l'oiseau : monte et avance (incidence positive), à la remontée, il monte et ralentit (incidence positive) ou il descend et accélère (incidence négative).

"Plus un oiseau est grand, plus sa vitesse est élevée, plus réduites sont la fréquence et l'amplitude de ses coups d'aile et moindres les effets de la discontinuité dans l'écoulement de l'air".

"La manière de voler d'animaux plus petits et plus lents est différente : leurs ailes, battant à très haute fréquence, font appel à des forces aérodynamiques de valeur très diverse (effet de la viscosité de l'air et effet des tourbillons) s'exerçant largement dans les trois dimensions.

Autrement dit, l'écoulement de l'air devient discontinu, les variations augmentant en intensité et en importance lorsque la vitesse diminue et atteignant leur maximum quand l'animal vole sur place".

Les insectes et leur vol

Les insectes voient mieux que les oiseaux. Ils regroupent les êtres volants les plus nombreux, et en particulier, possèdent les plus petits d'entre eux. Leur taille est limitée (bien que l'on ait trouvé des libellules fossiles de plus de 0,70 m d'envergure). Ils ont une ou deux paires d'ailes, actives ou non. Ces ailes actives sont constituées d'une ossature nervurée soutenant une membrane unie très fine. Chaque aile est articulée sur le thorax.

elle peut s'orienter comme celle de l'oiseau,

elle a une surface plate et unie, parfois plissée, parfois poilue,

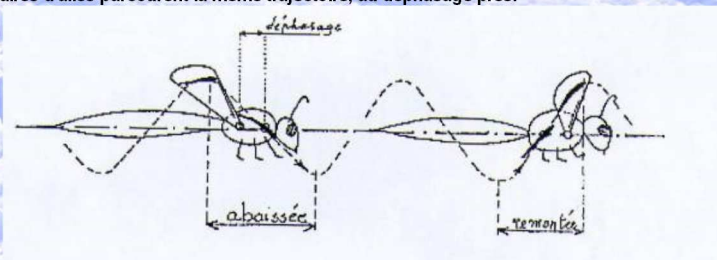
elle bat comme l'aile de l'oiseau ; cependant, certains insectes peuvent faire du sur-place ou reculer, tout en gardant leur corps horizontal, ceci suppose un système de contrôle des mouvements de l'aile très perfectionné.

L'insecte paraît plus maître de son vol que l'oiseau : pouvant pivoter sur place et opérer des changements très rapides de trajectoire, dans les trois dimensions, la fréquence de battements est plus grande que celle des oiseaux.

Contrairement à l'oiseau, l'aile n'est pas toujours entraînée directement par les muscles mais peut dépendre d'un système articulé, déformable, possédant une période propre de vibration élevée, entretenue par l'action des muscles, agissant à une fréquence inférieure,

Pour les insectes qui ont deux paires d'ailes indépendantes leur mouvement peut être :

- soit asynchrone, chaque paire d'ailes se comportant comme un système indépendant,
- soit synchrone, la paire arrière est alors déphasée, de la paire avant, de la valeur correspondant à la distance séparant les deux systèmes d'ailes. Les deux paires d'ailes parcourent la même trajectoire, au déphasage près.

Vol de la libellule

Le déclenchement du mouvement de l'aile est absolument analogue au même phénomène que celui de "reptation" d'une chenille.

THEORIE DU VOL

Lorsque l'on aborde la question du point de vue mathématique, on ne sait pas par quel bout aborder le problème.

Une thèse américaine (A.G.BENNETT. 1970), bien que simplifiant beaucoup la question : vol horizontal - forme simple de l'aile - amplitude de battement faible et période de battement longue - a dû tenir compte de 160 paramètres (7 pages 1/2).

Pourquoi ?

Cela tient au fait que l'on essaye d'expliquer par les théories aérodynamiques établies depuis le début du siècle, un phénomène hors normes. C'est vouloir vous obliger à porter un chapeau trop petit !

En effet, l'aérodynamique classique parle d'un fluide parfait, incompressible, en régime permanent, établi au bout d'un certain temps (les tourbillons perturbateurs étant partis à l'infini) soufflant sur une aile fixe à profil rigide, d'envergure infinie.

Nous sommes en régime stationnaire.

Dans notre domaine du vol naturel, par contre, nous avons affaire à un fluide élastique, compressible, tourbillonnaire, au contact d'une aile à profil variable souple, décrivant un mouvement périodique perpendiculaire au déplacement, tout en oscillant régulièrement à des vitesses instantanées variables, et, créant des tourbillons alternés quand la circulation de vitesse varie.

Nous sommes en régime instationnaire.

Dans ces conditions, on comprends pourquoi il faut prendre le problème d'une toute autre façon ; si l'aérodynamique classique ne colle pas, il faut chercher ailleurs.

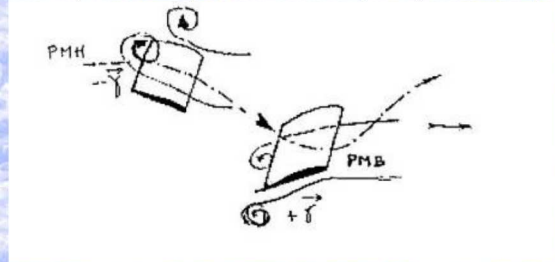
ECOULEMENTS INSTATIONNAIRES

Circulation autour du profil

Il est intéressant de remarquer que la circulation autour du profil s'inverse à chaque changement de direction et cela mérite d'être examiné de plus près.

Si nous visualisons les filets d'air autour d'une aile qui oseille dans un courant d'air, nous verrons le tourbillon marginal inverser son sens de rotation au début de chaque battement.

Que se passe-t-il au point de vue aérodynamique durant la phase d'un battement ?



Finesse transitoire

Nous retiendrons textuellement la remarque très importante suivante, citée par Mr.MCHABONAT :

"La finesse transitoire" : lorsqu'une aile est mise en mouvement dans un fluide au repos la moitié de la portance s'établit instantanément et elle augmente ensuite pour atteindre sa valeur totale en régime permanent.

Dans le même temps la traînée qui est nulle au départ croît comme la racine carrée du temps.

Il suffit donc de rester en régime d'écoulement non permanent pour améliorer les qualités de l'aile.

Au départ la finesse est presque infinie et elle diminue avec le temps pour arriver à sa valeur normale dès que l'écoulement permanent est obtenu.

Il faut donc rompre l'écoulement périodiquement pour profiter des propriétés des écoulements instationnaires. C'est ce que font les oiseaux depuis des millénaires.

Tourbillons alternés ou la formule magique

D'après plusieurs études, il ressort qu'à chaque variation brusque de la circulation de vitesse autour du profil d'aile il y a lâcher de tourbillons dans son sillage, en particulier aux points morts hauts et aux points morts bas. En aval de l'aile il y a, dans le cas le plus général un écoulement de tourbillons alternés. Ceci a été mis en évidence dans des tunnels hydrodynamiques (Thèse de Werlé) et en théorie aérodynamique (Von Karman et Villat).

Or, il existe, en écoulement régulier de l'aile battante, convergence, entre la théorie et l'observation au laboratoire et dans la nature.

En effet, en théorie, Villat et Karman disent qu'en régime stable : le rapport (sans dimensions) $ANT = 0,28$, où

A est l'Amplitude

V la Vitesse horizontale de déplacement T le Temps d'une période

Ceci est corroboré en pratique par l'observation de la nage des poissons : on cite le nombre de Strouhal : $A/VT = 0,30$

Enfin, personnellement, lorsque des valeurs dignes de bonne foi ont pu être utilisées, soit pour des insectes, soit pour des oiseaux, soit même pour la maquette volante du ptérodactyle de Mac CREADY, nous avons trouvé des valeurs très proches de 0,28 et même pour le True-Fly.

Remarque : $A/VT = 0,28$

Si l'on fait intervenir que $A = v.T/2$

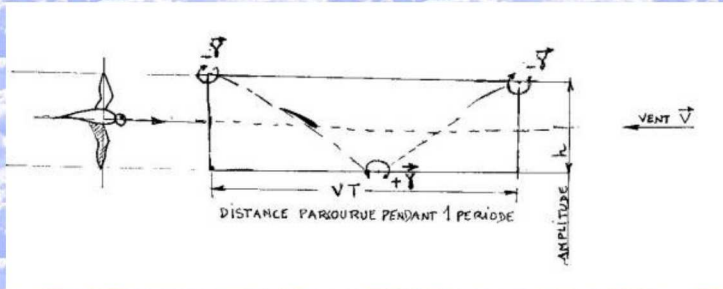
où v est la vitesse verticale d'abaissement ou de relève de l'aile, il s'ensuit que

$$\frac{v}{2V} = 0,28$$

Ces formules sur le battement en vol horizontal à vitesse constante sont simples bien que se situant dans le cadre des écoulements instationnaires avec leurs avantages et c'est là leur intérêt. Elles réunissent les trois paramètres principaux du vol naturel : vitesse horizontale, amplitude et fréquence du battement.

Dire que cela se produit lorsque l'écoulement de tourbillons alternés est stable, veut dire que l'on se trouve dans le cas d'un système périodique dont l'amplitude, la période et la vitesse horizontale sont "accordées" avec la période propre de l'air élastique qui se comporterait comme l'oscillateur du système harmonique. Il y aurait «couplage» entre le battement de l'aile et la réaction de l'air.

Dans ces conditions, il est évident, comme avec tout système accordé, que le vol est alors le mieux adapté à son milieu et que l'énergie nécessaire au vol sera minimum.



Le quatrième paramètre important est la variation cyclique d'incidence de l'aile sur sa trajectoire relative.

Dans les portions sensiblement rectilignes des trajectoires relatives, le régime peut être assimilé à un régime permanent.

En principe, l'aile doit suivre la trajectoire relative, avec une incidence faible (3° à 4°).

D'après CHABONAT, en réalité, les vitesses instantanées sont loin d'être constantes et l'on pourrait fonctionner avec de très grands incidences, sans risque de décrochage.

C'est l'un des points importants mal définis, qu'il faudrait approfondir.

L'URVAM ET LES APPAREILS GRANDEUR A AILES BATTANTES

A l'URVAM (Union pour la Réalisation du Vol Athlétique ou Minimotorisé), nous pensons pour toutes les raisons citées, que le vol à aile battante d'un appareil grandeur doit être possible grâce à ses performances et caractéristiques mieux adaptées au vol humain.

En effet :

en comparant l'aile battante et l'hélice, dans sa thèse "ETUDE DES SYSTEMES PORTANTS ET PROPULSIFS - COMPARAISON DE L'AILE OSCILLANTE ET DE L'HELICE" Benjamin VINEY (1979), conclut:

On peut dire que l'aile oscillante est plus adaptée à de fortes tractions que l'hélice, et ceci est d'autant plus vrai que la vitesse d'avancement est faible.

Dans son livre "Nos maîtres, les Oiseaux" : Etienne OEHMICHEN cite l'expérience suivante :

D'après des mesures sur un film de l'envol vertical d'un pigeon, il a retenu les valeurs suivantes :

Envergure 0,61 m

Vitesse extrémité d'aile 6 m/s.

Donc, un pigeon d'une envergure de 0,61 m. battant des ailes, en vol stationnaire, vitesse en bout d'aile : 6 m/s. (environ 5 battements/sec.), soutient son poids de 0,400 Kg.

A la suite de quoi, il a construit une très bonne hélice de 0,61 m de diamètre, lui a imprimé une vitesse de rotation donnant en bout de pale une vitesse de 6 m/s, et, n'a mesuré une sustentation que de 0,040 kg, soit, 10 fois moins.

Faisant tourner l'hélice deux fois plus vite, il n'a mesuré qu'une sustentation de 80 g ! Pensant que peut être, les ailes emplumées pouvaient donner la réponse à cette énigme, il fabriqua une nouvelle hélice, avec deux ailes de pigeon, et cela fut bien pire.

Cette expérience montre bien l'avantage du mouvement alternatif par rapport au mouvement continu, tout au moins en vol stationnaire.

Examinons les vols des oiseaux migrateurs, accomplissant des vols de très longues distances. On les a pesés au départ, et, à l'arrivée, ils avaient très peu maigri.

Le vol naturel présenterait-il des avantages par rapport au vol mécanique, et, lesquels ?

HELICE supprimée : gain de poids, diminution du bruit.

DECOLLAGES ET ATTERRISSAGES sur place, comme un hélicoptère, mais avec un meilleur rendement du "rotor", train d'atterrissage plus léger, pistes raccourcies.

12

CARACTERISTIQUES DE L'AILE

1. L'aile battante est souple, à courbure variable. Elle s'efface lors d'une rafale, elle est "vivante" et ne subit pas de choc aérodynamique. Sa structure peut être allégée (voir étude de J.F. QUILICI : Aérodynamique des basses vitesses - mars 1997).

2. Les mesures ont montré que si les efforts d'inertie sont sensibles aux points morts haut et bas, leur valeur est inférieure à celle due aux efforts aérodynamiques se produisant en milieu d'abaissement ou de remontée, et ce sont eux seuls qui vont conditionner le calcul de la structure de l'aile, d'où allègement.

3. Les tourbillons marginaux n'ont plus la même importance qu'avec l'aile fixe et la loi de l'allongement maximum ne joue pas. De très grands allongements ne sont pas nécessaires en stationnaire, c'est ce que l'on observe chez les oiseaux rameurs, d'où gain de poids.

4. Si l'appareil comporte un système oscillant harmonique, battant des ailes à une fréquence raisonnable, les efforts musculaires seront limités, il ne sera pas nécessaire d'agir à chaque battement mais simplement de pédaler en phase (de même qu'avec une balançoire on peut ne pousser qu'une fois sur deux ou trois ...).

Il y aurait non seulement économie, mais en plus le pilote bénéficierait d'un temps de récupération.

La force développée de façon saccadée pourrait être plus grande qu'en cas d'effort continu.

Encore une fois, musculairement parlant, les efforts périodiques sont en accord avec le vol battu.

En conclusion, vol musculaire et aile battante devraient faire bon ménage, nous oeuvrons pour cela.

Cependant, rien n'empêche de concevoir un appareil motorisé à ailes battantes, avec en plus une intervention musculaire, ne serait -ce que pour sentir, en continu, les réactions aérodynamiques, inertielles et autres, afin de permettre au pilote d'intervenir éventuellement.

Dans l'avenir, des mesures pourraient être faites de façon à, rendre automatique le contrôle des ailes et laisser ainsi au pilote toute son autonomie.

Un ordinateur mémoriserait et reproduirait les mouvements du pilote ou contrôlerait quelques ou tous les paramètres d'une manière autonome. Par mesure de sécurité le pilote devrait pouvoir intervenir directement à tout moment.

Nous aurions en somme un appareil dont les ailes, mues par un mini-moteur, seraient en permanence contrôlées par un ordinateur mais dont les réactions seraient reportées sur des commandes de pilotage permettant au pilote de "sentir" son appareil et intervenir le cas échéant.

Naturellement, il faudrait "apprendre" à voler ainsi, comme le font aussi les oiseaux avant de quitter leur nid.