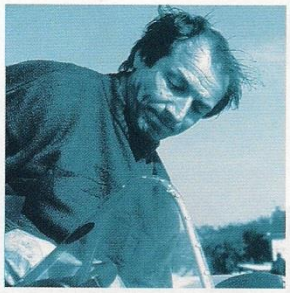


par **MICHEL BARRY**
Pilote professionnel,
ingénieur aéronautique

Particularités des appareils à ailes très lisses et à profil laminaire

Le soin porté à la maintenance, et la prise en compte des conditions météo sont indispensables à la sécurité. Il est important de connaître toutes les subtilités de ce type d'avion.

Les matériaux composites permettent aux constructeurs d'avions légers de fabriquer des cellules à la forme parfaite et à la surface très lisse. Les performances sont ainsi accrues car le coefficient de traînée global est diminué par rapport à celui des structures plus classiques, bois et toile ou métal. En effet, le frottement de l'air, source de traînée, sur l'ensemble de l'avion dépend de la rugosité de toutes ses surfaces. Ainsi un bon état de surface est absolument nécessaire, à des profils dits laminaires, pour fonctionner avec un rapport portance/traînée (finesse, voir figure 3) plus élevé que celui des profils classiques. Propriétés exploitées depuis longtemps pour les planeurs et de plus en plus souvent sur les avions légers pour lesquels la finesse accroît les performances en montée, la vitesse de croisière et la distance franchissable.

Attention ! Profil laminaire signifie simplement que la couche limite à structure laminaire occupe une partie plus importante, depuis le bord d'attaque jusqu'au point de transition T1 où elle devient turbulente, que sur un profil non-laminaire. Mais en aucun cas elle ne reste laminaire sur tout le profil !

La contrepartie d'une aile lisse, surtout d'une aile lisse à profil laminaire, est de perdre ses qualités aérodynamiques dès que le profil est déformé ou dès que sa surface n'est plus très lisse (salissures, rayures, dépôts, gouttes d'eau, givre…). Dans ce cas le coefficient de traînée prend des valeurs semblables à celles des revêtements traditionnels et les performances sont altérées. Pire ! Le coefficient de portance peut parfois diminuer au point de modifier notablement les qualités de vol : perte d'efficacité des gouvernes, augmentation des vitesses de décrochage VSO et VS1.

Si l'histoire rapporte des accidents de prototypes dus à des profils laminaires qui décrochaient sous la pluie, notamment les plans avant de certains avions de formule canard, les avions modernes certifiés ont forcément des qualités de vol satisfaisantes. Les constructeurs qui ont choisi de commercialiser des appareils dotés de profils laminaires ont tenu compte de leurs particularités et ils ont testé tous les comportements possibles au cours des essais de certification. Ensuite, les autorités de qualification ont confirmé les qualités de vol, quelles que soient les conditions d'utilisation, pourvu qu'elles restent dans le cadre des limitations indiquées par le constructeur. Le manuel de vol informe ensuite les utilisateurs sous deux aspects :

1. la maintenance : la nécessité de maintenir le profil de l'aile propre et en bon état et comment y parvenir ;
2. le vol : la diminution des performances et la modification du comportement à basse vitesse en cas de pollution occasionnelle du profil, au cours d'un vol sous la pluie par exemple.

D'où la recommandation de ce mois-ci. Elle consiste à attirer l'attention des pilotes d'appareils construits en matériaux composites sur des particularités qu'ils ignoreraient quand ils passent du DR400 à l'Aquila AT 01 ou au Lionceau.

A. Intérêt du profil laminaire, moins générateur de traînée que les profils traditionnels aux angles d'incidence usuels

Profil traditionnel ou profil laminaire, une partie de la traînée totale de l'avion est due au frottement car l'air est visqueux : sa

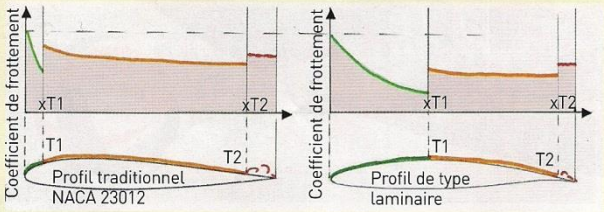


Figure 1. Comparaison du développement des couches limites et du coefficient de frottement sur un profil traditionnel et sur un profil laminaire à faible incidence (croisière).

1. Dès le bord d'attaque (abscisse zéro), une zone laminaire (en vert) en général assez courte sur les profils traditionnels, se développe jusqu'à l'abscisse xT1. Le coefficient de frottement y diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne du bord d'attaque. D'où l'intérêt du profil laminaire qui la maintient sur une longueur plus grande.

2. À l'abscisse xT1 (T1 = 1re transition) prend naissance une zone turbulente (en orange) de longueur très variable en fonction du profil, de l'état de surface, de l'incidence, des propriétés physiques de l'air, de la vitesse, du nombre de Mach.... Le coefficient de frottement y est presque constant et supérieur au coefficient de frottement de la partie laminaire située juste avant T1. L'intérêt essentiel du profil laminaire est d'accroître xT1 de façon à bénéficier au maximum du faible coefficient de frottement de la couche limite laminaire. La couche turbulente se termine à l'abscisse xT2.

3. À l'abscisse xT2 (T2 = 2e transition) l'écoulement de l'air se désorganise car les filets d'air ne veulent plus suivre l'extrados. On dit qu'il y a décollement (img rouge à mettre)

L'air tourbillonne mais, perdant sa vitesse, ne produit plus de dépression. Le phénomène de décrochage est la propagation, vers l'avant du profil, de cette zone tourbillonnaire qui n'engendre plus de portance. À faible incidence (incidence de croisière) le décollement est proche du bord de fuite.

4. L'aire teintée (fond en rose) est proportionnelle aux forces de frottement sur l'extrados. On voit pourquoi le maintien de la couche laminaire sur une abscisse plus grande, dans le cas du profil laminaire permet de réduire l'aire, donc le frottement visqueux. On réalise ce maintien :

- avec un état de surface parfaitement lisse ;
- une forme de l'extrados pas trop courbée ce qui reporte l'épaisseur maximale des profils laminaires entre 40 et 50 % de la corde.

Remarque : le développement et le maintien de la couche limite laminaire est instable. La moindre perturbation, la moindre aspérité avancent T1 et réduisent la longueur xT1 faisant perdre ainsi tout le bénéfice attendu.

RAPPORT du BEA

- Événement : atterrissage avant l'extrémité de piste, rupture du train d'atterrissage avant, en instruction.
- Aéronef : avion Aquila AT 01
- Exploitant : club.
- Lieu : aérodrome de Brest Bretagne (29).
- Conséquences et dommages : avion fortement endommagé.
- Circonstances : l'élève-pilote et son instructeur décollent de la piste 07L revêtue pour effectuer un exercice de prise de terrain en L[1] en fin de circuit d'aérodrome à une hauteur de 800 ft. Dans la branche vent arrière, ils notent qu'il pleut et l'instructeur indique qu'il prend les commandes pour montrer à l'élève la séquence de l'exercice. En étape de base, il réduit la puissance et maintient une vitesse indiquée entre 70 et 75 kt. Il précise que l'intensité de l'averse de pluie augmente et réduit alors la visibilité. Peu de temps après, de la buée couvre la verrière. En finale, la trajectoire de l'avion est stabilisée (axe, plan et vitesse). Lorsque l'instructeur sort les volets d'atterrissage, l'avion *« s'enfonce assez brutalement »*. À l'atterrissage qualifié de dur par l'instructeur, les trains d'atterrissage touchent le sol avant l'extrémité de piste, dans l'herbe. Le train d'atterrissage avant s'efface au contact avec le bord de la piste. L'avion reprend ensuite de la hauteur et l'instructeur remet de la puissance pour atterrir un peu plus loin. L'avion s'immobilise environ 250 m après le seuil. L'aérodrome de Brest Bretagne dispose de deux pistes revêtues parallèles. La piste 07L/25R a une longueur de 700 m et une largeur de 18 m. La bande aménagée avant la piste 07L est en herbe. Elle est plus basse que l'extrémité de la piste 07L d'une vingtaine de centimètres. Des traces dans la bande aménagée montrent que le train principal et le train avant ont respectivement touché le sol environ 27 et 5 m en amont de l'extrémité de piste 07L. L'avion a atterri à 5 m à droite de l'axe de cette piste. Des traces de pales d'hélice sont présentes sur la piste. L'affaissement du train avant résulte du roulement sur la bande aménagée avant le seuil 07L et du choc avec le bord de piste. L'Aquila AT01 est un avion avec un profil à laminarité étendue et dont la structure est composée en grande partie de matériaux composites. Le manuel de vol précise qu'en cas de vol sous forte pluie, la présence d'eau sur les ailes et sur les gouvernes peut dégrader les performances de vol en particulier la vitesse de décrochage qui peut augmenter de 3 kt. Le manuel de maintenance indique que les surfaces extérieures de l'avion doivent être lustrées (« waxing » en anglais) pour les protéger. Le manuel précise également que cette opération doit être effectuée de manière plus fréquente lorsque l'avion est exploité dans un environnement côtier. Une inspection complète de la structure doit être effectuée après 6 000 heures de vol. Le F-XXXX a été mis en service en 2003 et totalisait 3 589 heures à la date de l'accident. Au club basé à Brest, les avions sont lavés lors des visites d'entretien. Il est rare qu'ils le soient par les membres du club. À la date de l'accident, la surface des ailes était légèrement dépolie par endroits, en particulier au niveau du bord d'attaque. Un produit de lustrage était disponible depuis peu au club. Il n'est pas certain que les surfaces en composite du F-XXXX aient déjà été lustrées. L'instructeur totalisait 642 heures depuis 1995, dont 29 sur type, et 49 heures dans les trois mois précédents dont 19 sur type. Il dispose d'une licence PPL(A) et a obtenu la qualification nationale limitée[2] d'instructeur de vol avion le 15 décembre 2011. Il totalisait environ 50 heures de vol en tant qu'instructeur depuis cette date. Il indique que l'exercice de PTL avait été prévu avec l'élève et que les conditions au sol et au départ du vol étaient compatibles avec la réalisation de cet exercice. En courte finale, il a eu la sensation de perdre les références visuelles extérieures. En particulier, il lui était difficile d'évaluer la hauteur de l'avion pendant cette phase. Il ajoute que l'atterrissage a été effectué à une vitesse de 65 kt[3]. Il explique que la dégradation des conditions météorologiques a été rapide et brutale mais que cela ne l'a pas amené à décider d'interrompre l'exercice de vol moteur réduit. L'instructeur indique qu'il n'avait pas connaissance à la date de l'accident des conséquences sur les performances de vol de la présence d'eau sur les ailes et gouvernes. En fin de matinée aux abords de l'aérodrome, les conditions météorologiques étaient les suivantes : le ciel était chargé de cumulus et de stratocumulus pouvant s'accompagner de passages d'ondées à caractère instable parfois modéré. Les images radar de Brest montrent l'arrivée d'ondées d'intensité modérée vers 11 h 05 sur l'aérodrome par le sud. Sous ce passage d'ondées modérées, la visibilité s'est probablement dégradée rapidement :
- à 11 h 00 : vent faible variable, visibilité de 7 km, 4 octas de cumulus vers 1 500 ft surmontés de 7 octas de stratocumulus vers 2 000 ft ;
- à partir de 11 h 05 : vent faible variable, visibilité de 3 km, 8 octas de cumulus et stratocumulus vers 1 000 ft avec isolément du cumulus bien développé, ondée d'intensité modérée.

Les observations météorologiques de 10 h 30 et 11 h 00 ne mentionnaient pas la présence de pluie. La prévision météorologique couvrant la période de l'événement indique la présence de cumulus congestus (TCU).
- Conclusion : au moment de la sortie des volets pour l'exercice de Prise de Terrain en L, la puissance réduite du moteur ainsi que la probable dégradation des caractéristiques aérodynamiques des ailes et des gouvernes en raison de la forte pluie ont eu pour conséquence une déstabilisation de la trajectoire de l'avion. Celle-ci n'a probablement pas été détectée par l'instructeur confronté à des difficultés pour conserver des références visuelles extérieures suffisantes. Sa décision de poursuivre l'exercice malgré la dégradation rapide des conditions météorologiques a conduit à l'atterrissage avant l'extrémité de piste. Cette tendance à persévérer dans un projet d'action, alors que des éléments le remettent en cause, peut être accentuée pour un instructeur en exercice en raison de sa fonction et de la différence d'expérience avec son élève. Par ailleurs, même s'il est difficile d'établir une généralité sur un événement isolé, cet accident pourrait également révéler une méconnaissance des caractéristiques des profils laminaires modernes et des précautions qu'ils requièrent. Il pourrait donc s'avérer utile que les organismes de formation approuvés ou sociétés de location alertent les usagers par une information appropriée (check-list, manuel d'opérations, affiches...). Ce rappel porterait sur la mention du manuel de vol relative à la dégradation des performances en cas de pluie ou de salissures sur les ailes et gouvernes ainsi que sur l'importance de laver et de lustrer les avions, ce qui permettrait d'alerter les usagers sur les risques associés.

Commentaire d'Yvon Bellec, société Aérolithe, importateur de l'Aquila AT 01, relatif à l'accident du rapport BEA

Le but d'un exercice moteur tout réduit est avant tout d'étudier les caractéristiques de vol de l'avion aux différentes vitesses et non pas d'amener l'avion sur la piste par n'importe quel moyen. D'une manière générale, pour cet exercice le point clé à connaître avant de monter dans l'avion est la vitesse de finesse max. Pour l'Aquila AT 01 en particulier l'élève doit avoir visualisé les pentes aux différentes vitesses et pris conscience de la cassure de la polaire propre au profil laminaire de type AH -XX mod.

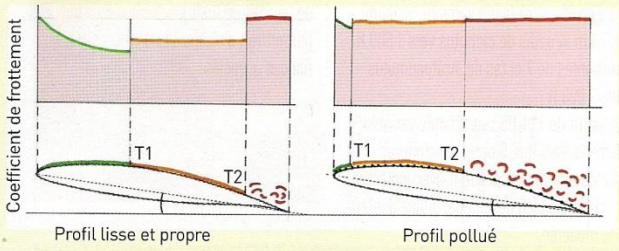
Le rapport du BEA indique : l'avion s'enfonce ? C'est caractéristique du pilote qui fait l'erreur de tirer sur le manche pour aller plus loin (régression de 80 à 60 kt, la finesse de l'Aquila diminue). Certes les performances de l'Aquila sont dégradées sous la pluie mais pas au point de crasher l'avion. Pour piloter correctement l'Aquila le pilote doit avoir constaté et compris le phénomène.

Ce point est noté dans les recommandations d'Aérolithe lors des livraisons de l'avion.

Tout comme on recommande aussi que les élèves évitent de pousser sur le manche en courte finale dans le but d'augmenter la vitesse pour se raccourcir. On produirait le phénomène inverse car, la vitesse augmentant, l'avion serait plus fin. Encore une caractéristique de son profil laminaire.

(1) Exercice de vol moteur réduit : la puissance du moteur est réduite en étape de base pour simuler la panne du moteur. Le but de l'exercice est de permettre à l'élève de faire face à une panne du moteur au cours de n'importe quelle phase de vol.
(2) Cette qualification s'adresse aux pilotes non détenteurs d'une licence CPL(A) qui souhaitent obtenir les privilèges de dispenser une instruction au vol en qualité d'instructeur bénévole au sein d'un club (FCL 1.330 (g)).
(3) Le manuel de vol préconise une vitesse d'atterrissage de 60 kt.

Figure 2. Comparaison des coefficients de frottement, profil laminaire lisse et profil laminaire pollué, au voisinage de l'incidence de finesse max du profil lisse.



• À gauche, le point T1 est situé à environ 30 % de la corde du profil. La couche limite laminaire et son faible coefficient de frottement intéressent 30 % de la corde de l'aile. Les 70 % restants sont soit turbulents, soit décollés. On est encore loin de l'incidence de décrochage. Cette configuration et l'incidence correspondent à la "bosse laminaire" (Figure 3).

• À droite, les salissures ont précipité T1 vers l'avant et T2 a suivi. Le coefficient de frottement a augmenté. Les tourbillons ont envahi l'arrière du profil qui risque de décrocher si l'angle d'incidence augmente. Le profil pollué ne permet donc pas d'atteindre une valeur du coefficient de portance aussi élevée que le profil lisse. Moins de coefficient de portance = vitesse de décrochage plus élevée.

circulation sur la peau du profil génère des frottements qui s'opposent à l'avancement de l'avion. Une mince couche (quelques millimètres d'épaisseur) est le siège de ces phénomènes, sorte d'interface entre l'aile et l'air environnant. Bien que fine cette "couche limite" détermine, du bord d'attaque au bord de fuite, trois zones (ou régimes) successifs (figure 1).

B. Vulnérabilité du profil laminaire comparé à un profil traditionnel : évolution différente du coefficient de portance en fonction de l'incidence. Problèmes posés par les salissures ou la pluie (figures 2 et 3)

Une grande partie de la portance de l'aile est due à la dépression d'extrados. Elle est provoquée par l'accroissement de la vitesse de l'air autour du profil convexe. Davantage de vitesse = moins de pression (Lois de Bernoulli). On notera que l'intrados est le siège de phénomènes semblables mais ils ne sont pas évoqués ici car ils contribuent moins (ou pas du tout) à la variation du comportement des profils laminaires, en vol, sous tout facteur de charge positif.

Sur un profil traditionnel, les abscisses xT1 et xT2 dépendent peu de l'état de surface de l'extrados. Elles sont fixées par des lois de pression qui sont seulement fonction de la forme du profil et de la vitesse (elles diminuent avec le nombre de Reynolds).

Au contraire pour un profil laminaire l'abscisse xT1 est allongée "artificiellement" grâce à la surface très lisse et très faiblement courbée jusqu'à son épaisseur maxi. La couche limite est alors à la merci de la moindre perturbation qui dégraderait l'état de surface. Si une telle perturbation (salissures, gouttes d'eau…) survient, le point T1 avance aussitôt et entraîne T2 qui avance aussi. Conséquences immédiates :

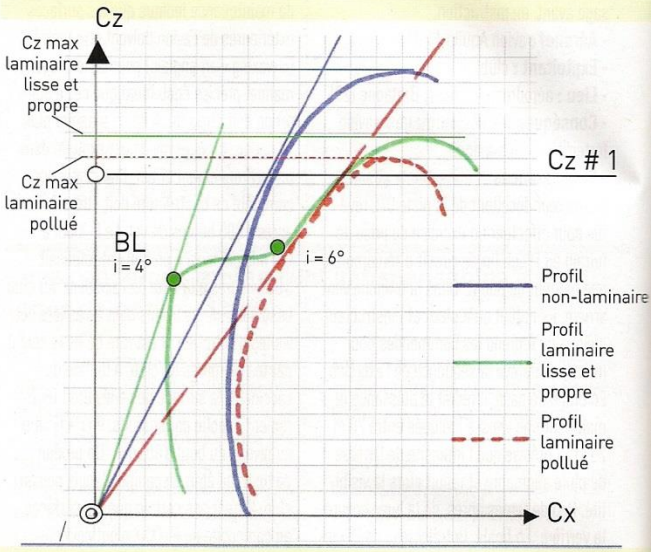
• le coefficient de frottement, donc la traînée, augmentent de concert ;

• les décollements vers le bord de fuite diminuent la portance.

C. Consignes communes à l'exploitation des appareils à aile lisse ou à aile lisse + profil laminaire

D'une manière générale, considérez que l'excellent rendement des ailes modernes construites en matériaux composites exige d'en connaître les propriétés. Condition absolument nécessaire

Figure 3. Comparaison des caractéristiques d'un profil traditionnel (non-laminaire) et d'un profil laminaire propre et lisse ou pollué (défauts de surface, salissures, gouttes d'eau…).



1. La courbe polaire en bleu représente l'évolution du coefficient de portance Cz en fonction du coefficient de traînée Cx pour un profil traditionnel. La courbe passe par un maximum de l'ordre de 1,2 à 1,6 suivant la cambrure du profil.

2. La courbe en vert représente la polaire d'un profil laminaire parfaitement lisse. On voit que la finesse maxi (pente de la tangente issue de l'origine) est plus importante pour le profil laminaire. La tangence se fait en un point communément appelé "bosse laminaire" (BL, ici à 4° d'incidence) par les aérodynamiciens. L'existence de ce point anguleux est caractéristique du bon fonctionnement de l'extrados, en particulier de la persistance de la couche limite laminaire à une abscisse xT1 élevée. On remarque aussi que le coefficient de portance Cz max est moins élevé que pour le profil traditionnel. Cet écart explique pourquoi l'aile des appareils à profil laminaire est en général un peu plus grande.

Si l'incidence continue à augmenter, le point T1 avance brutalement et le coefficient de traînée augmente. Si l'incidence augmente encore, le coefficient de portance passe par un maximum en général moins élevé que pour les profils non-laminaires (entre 0,9 et 1,5).

3. La courbe en pointillé rouge représente la polaire du même profil laminaire dégradé par la présence de gouttes d'eau par exemple (voir rapport BEA).On remarque un coefficient de traînée augmenté (qui explique la diminution des performances, par exemple -5 % en croisière pour le Lionceau et -20 % en taux de montée). On remarque aussi une diminution du coefficient de portance maxi (Cz max) qui explique l'augmentation de la vitesse de décrochage en lisse. Par exemple + 2% pour le Lionceau et + 3 kt pour l'Aquila AT 01 du rapport BEA. On retiendra :

• l'importante diminution de finesse à un coefficient de portance Cz qui correspond au régime de croisière, là où elle était très élevée pour le profil non pollué ;

• un maximum de finesse à une incidence parfois (et paradoxalement) plus élevée.

4. Sur la polaire en vert (profil laminaire lisse et propre) on remarque que si l'incidence varie seulement de 4 à 6° la valeur de Cx augmente beaucoup alors que Cz ne change pratiquement pas. Entre 4 et 6° la transition T1 a brutalement avancé et la finesse a été divisée par 2. Inversement passer de 6 à 4° d'incidence fait relativement peu varier Cz, donc la vitesse, mais augmente fortement la finesse ce qui peut faire effacer la piste en courte finale. C'est le sens de la dernière remarque d'Yvon Bellec (voir encadré).

Le REX du mois

Les consignes aux néophytes

À bord d'un DR400, j'embarque un couple d'amis pour un vol d'une heure au-dessus des châteaux de la Loire. L'homme, de grande taille, éprouve des difficultés à s'installer à l'avant. Son siège reculé au maximum, sa tête touche presque la verrière ! Je l'aide, bien sûr, en lui recommandant de serrer sa ceinture pour que sa tête ne heurte pas la verrière en cas de turbulences et, surtout, comme je le fais toujours quel que soit le passager avant, je lui montre les palonniers en lui demandant de n'y poser les pieds sous aucun prétexte. Il effectuera tout le vol avec les jambes ramenées à lui et les genoux à hauteur du tableau de bord.
Au retour, après une finale menée classiquement (vent de face 10 kt dans l'axe) j'arrondis et pose le train principal puis le train avant. Après 50 à 80 m environ de roulage, mon avion embarque brutalement à droite et sort de la piste en dur. En essayant d'exercer une action sur le palonnier gauche je ressens une grande résistance et ne peux contrer la trajectoire... Le roulage dans la surface herbeuse s'effectue sans dommage : aucune balise n'a été touchée et je me suis abstenu de tout freinage intempestif pour éviter que l'hélice ne touche une motte ou un monticule. L'avion s'immobilise sans autre conséquence.
Au sol, un peu plus tard, au cours d'une discussion badine et dépassionnée, l'homme m'indiquera qu'il avait éprouvé un grand soulagement de pouvoir *« déplier »* ses jambes sous le tableau de bord dès le toucher des roues (!) car sa position inconfortable le faisait souffrir du dos !

Commentaire de l'auteur du REX

Concentré sur l'arrondi final, je n'ai pas vu mon passager glisser ses jambes sous le tableau de bord ! Il est très probable que, dès le roulage, son pied droit a dû prendre appui sur le palonnier, d'où la sortie brutale !
À la consigne de départ de ne pas toucher aux palonniers, j'ajouterai désormais : *« Durant toute la phase du vol et, au retour, jusqu'à l'arrêt complet de l'avion »* ! En outre, il convient de vérifier de temps en temps la posture de ces passagers un peu hors gabarit et de leur rappeler la consigne, voire s'enquérir de leur confort (en cas de fatigue exprimée, ne pas hésiter à abréger un peu le vol).

pour adapter son pilotage et ses stratégies notamment pour les pilotes venant d'appareils plus traditionnels.

Un facteur supplémentaire est à prendre en considération dès que vous êtes aux commandes d'un appareil en matériaux composites à surface lisse : la pollution progressive ou subite des plans porteurs.

Le manuel de vol et les recommandations du constructeur vous informent sur ce point. En particulier :

• Soyez capable lors de la visite prévol de reconnaître si les surfaces de votre appareil sont plutôt propres ou plutôt polluées. Ne volez pas sur un appareil douteux (salissures, projections de terre, endommagements importants des surfaces portantes...). Si vous décolliez (fortement déconseillé !) avec un tel appareil adaptez votre pilotage conformément aux indications du manuel de vol (voir Rapport du BEA).

• Au sol : prenez soin des surfaces en tenant l'appareil propre, en évitant de le faire rouler sur les zones boueuses ou caillouteuses. On taxiera sans trop de gaz afin de ne pas mitrailler le revêtement avec des projections diverses. Plus que jamais avec les volets en position "Rentrés".

• En vol, attendez-vous à une dégradation des performances en cas d'aile sale ou mouillée. Le pourcentage de dégradation doit parfaitement être connu (voir l'extrait du manuel de vol du Lionceau). En particulier :

- Au décollage : rotation à une vitesse plus élevée et diminution de la pente de montée après le décollage.

Extrait du manuel de vol du Lionceau

Caractéristiques de vol sous la pluie LIONCEAU

Le vol sous la pluie doit être évité autant que possible. Dans le cas contraire, une baisse des performances de vitesse de croisière de 5 % environ ainsi qu'une baisse pouvant atteindre 20% du taux de montée par forte pluie peuvent être atteintes, ceci malgré un fonctionnement moteur satisfaisant.

5.3.4. Influence des facteurs défavorables
Pluie : Affecte la visibilité (voir également désembuage 3.8)
Affecte peu les vitesses de décrochage (+ 2 %)
Peut perturber l'anémométrie
Diminue les vitesses de croisière (jusqu'à - 5 %)
Peut diminuer de 20 % le taux de montée

Insectes ou poussière : Mêmes perturbations que la pluie.

- En montée : diminution de Vz max et de pente max, l'une et l'autre obtenues à des vitesses indiquées probablement légèrement différentes de celles recommandées avec l'aile propre et lisse.
- En croisière : envisagez une distance franchissable diminuée.
- En descente : moteur réduit la vitesse de chute augmente et la finesse diminue. Le rapport du BEA montre comment un pilote bien entraîné s'est fait surprendre par des performances globalement dégradées et par la légère augmentation de VS.
- En approche : majorez la vitesse conformément aux indications du constructeur pour respecter 1,3 VSO, mais VSO majorée.
- À l'atterrissage : une pollution des plans arrière peut diminuer légèrement leur efficacité. Pour la même réponse en tangage ou en lacet il se peut que l'amplitude nécessaire soit plus importante qu'avec des surfaces propres. Vérifiez que la majoration de VSO ne rendra pas la piste de destination limitative. ●