

# L'AVIATION LEGERE ET SPORTIVE

## CE QUE DEVRAIT ETRE L'AVION D'AMATEUR

### L'« AILE VOLANTE » R.BOURDIN

**Un appareil pesant à vide moins de 100kg avec un moteur de 20CV.**

On m'a gratifié, en guise d'étrennes, de deux ans d'interdiction de vol pour avoir choisi la liberté... de voler jusqu'à la vallée du Gers alors que le W me tenait prisonnier au bout de son fil de 50 km. J'ai bien tiré dessus mais, bien qu'il soit élastique, j'ai dépassé la limite et il a cassé. Il paraît que de semblables incartades ne sont plus tolérables... Tout de même, deux ans, c'est bien long.

Décidé à être enfin sérieux, j'ai réintégré mon grenier. J'y regardais des dessins, lisais de vieux papiers, ruminais un « projet », histoire de faire de l'Aviation – car la pratiquant ainsi, on ne peut m'en empêcher en me retirant ma licence – quand la compétition ouverte dans « Les Ailes » par l'article de M. Lacroix, vint mettre un terme à mes rêveries.

J'ai découpé, classé, mis au clair divers projets, pris une idée à l'un, trois à l'autre, introduit le tout et agité... La mixture, reposée, a donné une « suggestion ».

La voici, mais il est entendu qu'il ne s'agit que d'une *suggestion* :

Envergure 5m. ; Longueur 3,80m ; Profondeur à l'emplanture 3m. ; Profondeur en bout d'aile 1m. ; Surface brute 10mq. ; Allongement brut 2,5 ; Poids à vide suivant moteur 85 à 95 kg ; Poids en charge 175 à 185 kg ; Poids au CV. 5,5 à 7 kg.

Le profil d'aile est un NACA 23008 pur. Seul le volet de profondeur, relevé à 2,5% en position neutre, vient rompre la continuité du profil. Le centrage théorique est de 21,5%. Les charges variables, pilote et essence, sont au plus près du centre de gravité, bien que la grande profondeur de l'aile permette des écarts linéaires de centrage appréciables tout en restant dans les limites de pourcentage permises.

**Aile.** – Pas de bouts d'ailes délicats à réaliser : une cloison marginale vient s'appliquer sur la nervure extrême. Sa construction, identique à celle des nervures est simple : treillis recouvert de flancs de contreplaqué.

Le bord d'attaque est caissonné : C'est moins long à réaliser que huit ou neuf becs de nervure différents et pas plus lourd, en définitive, qu'un bord d'attaque entoilé, muni de becs de nervure. Le caisson concourt à encaisser les efforts et permet de diminuer la section des autres pièces.

Les deux longerons, disposés l'un à 11%, l'autre à 43%, sont si légers qu'ils m'ont moi-même un peu inquiété. Un ingénieur a vérifié mon travail et je ne me suis pas trompé : Le longeron avant pèsera 2,100 kg et le longeron arrière 1,950 kg. Et cependant, ils sont hyperstatiques, les sections données par le calcul n'étant pas réalisables pratiquement sur une bonne moitié de l'envergure. Vieille idée de M. Lacroix, cette disposition des longerons est bien la seule qui permette, du point de vue du poids, de se tirer honorablement d'affaire.

Un faux longeron en queue de nervure sert à atteler les gouvernes et à transmettre leurs réactions à l'ensemble.

Les nervures « pèsent » parce qu'elles doivent être solides, ne serait-ce que pour encaisser les efforts dus à la tension de la toile. La nervure d'emplanture équivaut en poids à six nervures de l'aile arrière de l'Autoplan monoplace 2.L.B.-9.

L'aile est munie de fentes placées devant les gouvernes de profondeur et devant les ailerons (partie externe). Il est nécessaire d'alimenter les gouvernes aux faibles vitesses et aux grands angles, faute de quoi, on risque, avec les faibles allongements, de connaître de sérieux ennuis.

**Fuselage.** – Le fuselage est greffé sur les longerons avant et arrière de l'aile, ce qui ne nécessite pas de ferrures mais seulement de larges collages. Traité en caisson, il doit être d'une fabrication simple et très rapide. Son poids ? Huit kilos ! Ne mesurant que 45 cm au point le plus large, il permet néanmoins de disposer de 60 cm à la hauteur des coudes et du buste, et cela depuis le dossier jusqu'à la planche de bord.

**Dérive.** – Cette dérive est nécessaire. Peut-être même sera-t-on obligé, après essais, d'augmenter la hauteur prévue. Cet édifice exige évidemment une construction solide. La partie fixe, traitée en caisson, et la gouverne de direction, comportant elle-même un longeron caisson type « maison », suffiront à annuler, avant même qu'elles naissent, les tendances aux vibrations.

**Atterrisseur.** – Le train, tiré du 2.L.B.-9, allégé et adapté à l'appareil, pèsera, avec les roues envisagées, de 7 à 7,5 kg. Ce n'est pas lourd. En revanche, c'est fin et solide. Ce train a aussi l'avantage de s'effacer si les choses se gâtent. Je l'ai moi-même mis à l'épreuve... involontairement, bien entendu !

**Béquille.** – La béquille est, elle-aussi issue de l'Autoplan. Simple et pratique, elle est allégée et raccourcie de 2 cm. Pourquoi ? Parce que c'est à cause de ces deux malheureux centimètres que je me suis frotté la figure sur le maudit terrain labouré de la vallée du Gers. Entre les nuages et le petit champ où je me suis posé, il y avait un fil électrique...

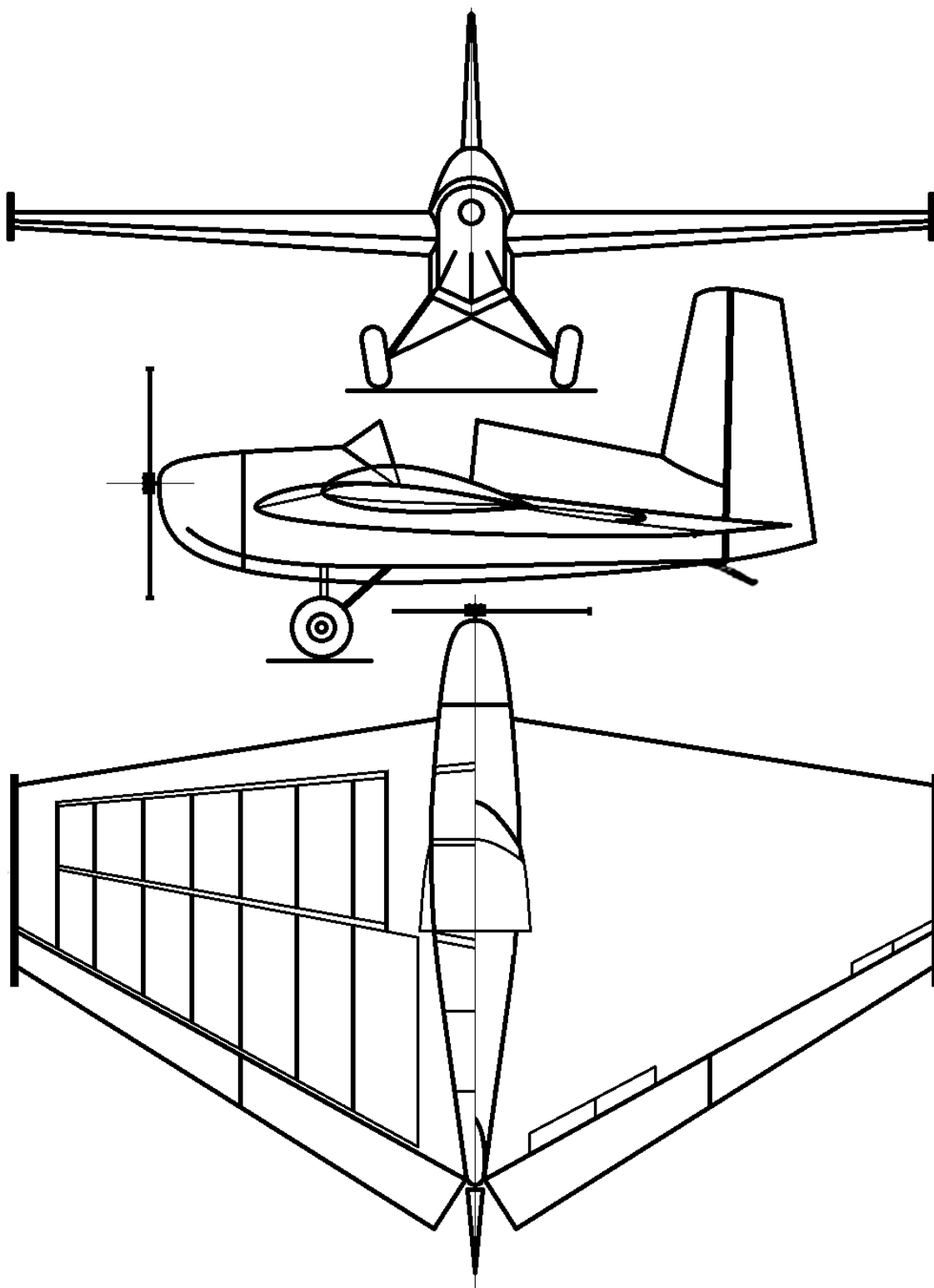
**Ferrures.** – Les ferrures sont réduites au minimum : Quatre pour l'attache du moteur, quatre pour l'attache du train, une pour l'attache de la béquille. En dépit de leur rôle important, elles sont très simples et à la portée de tout bricoleur adroit. A ces neuf ferrures importantes s'ajoutent les guignols d'ailerons, de volets de profondeur et de direction, ainsi que leurs charnières, toutes pièces comportant simplement un découpage et un pliage au maximum.

**Commandes de vol.** – Les commandes de vol sont, elles aussi, simplifiées au possible et ne comprennent que des pièces découpées et soudées. Très légères, leur fabrication ne présente pas de difficultés particulières. Les pédales sont en bois et montées à la manière de celles du « Bébé-Jodel ».

**Moteur.** – Un moteur dont la puissance serait de 20 CV au moins conviendrait. Le moteur Aubier-Dunne serait « juste » mais permettrait un bon carénage avec l'avantage de se prêter à l'emploi d'une hélice à haut rendement que l'on pourrait tailler sans grandes difficultés.

Des performances, il ne sera pas question ici. Si cette « suggestion » devait se matérialiser, il serait toujours temps d'en parler. En attendant, je vais essayer une maquette à l'échelle 1/4. A ce moment, je verrai de quoi il retourne et si la présente « suggestion » mérite de devenir un « projet ».

Raymond BOURDIN



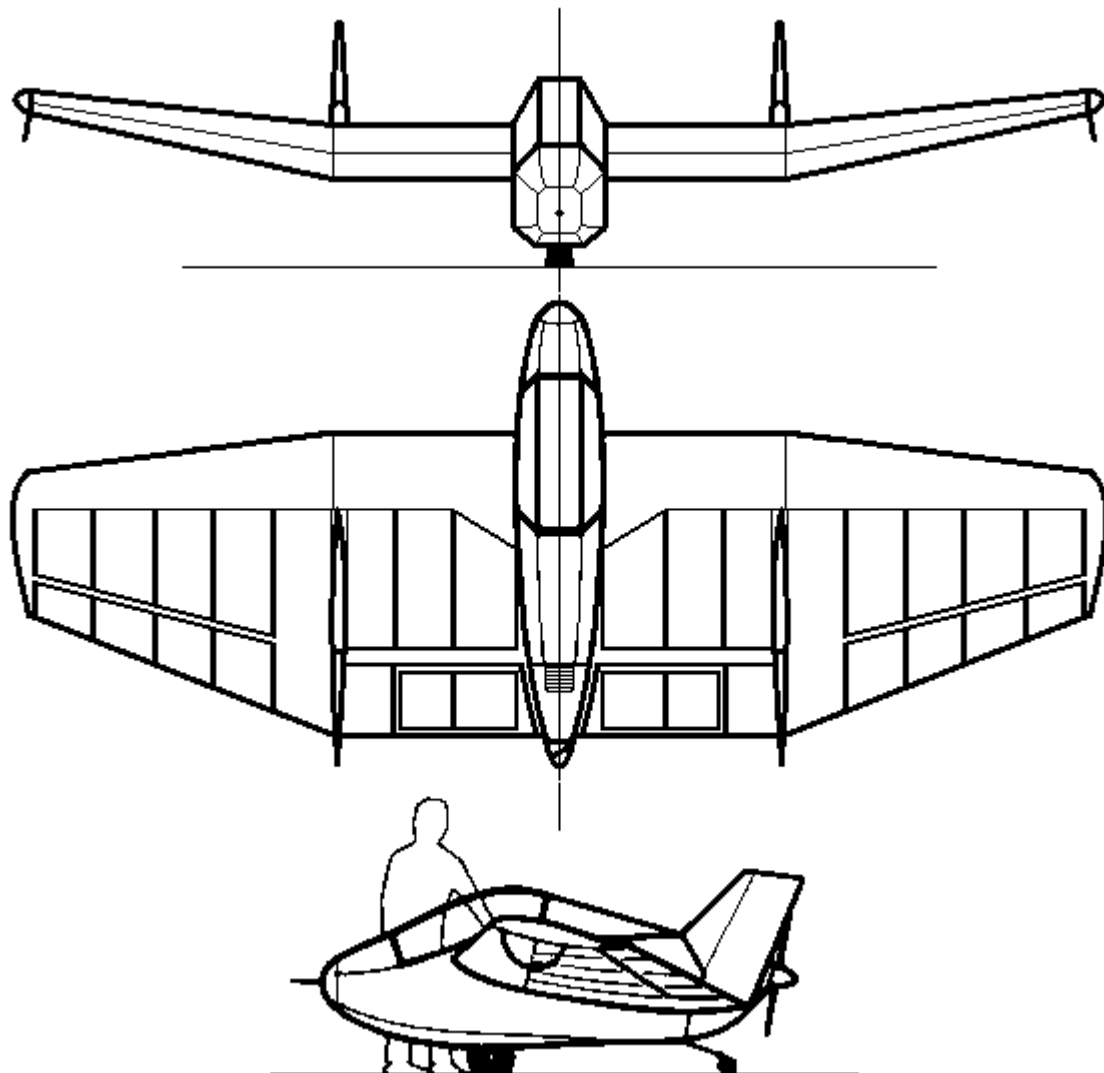
« Suggestion » de Raymond BOURDIN

## Commentaires en 2022.

La « suggestion » de Raymond Bourdin pour un monoplace économique date d'environ soixante ans. L'architecture de l'appareil, avec son cockpit ouvert et son train classique sont d'un autre temps, mais ce n'est pas la question : ajouter une verrière et modifier le train d'atterrissage sont des modifications mineures. Ce qu'il nous faut décider c'est de garder tout ou partie des principes même qui ont servi à définir l'appareil, à savoir :

- Masse réduite,
- Puissance minimale,
- Faible charge alaire.

On peut noter qu'une vingtaine d'années plus tard, ces mêmes principes ont servi à définir une autre aile volante, le JCD « Pélican » de Jean-Claude Debreyer :



Que le groupe motopropulseur ait migré à l'arrière, et le pilote vers l'avant, ne change pas significativement les grandeurs caractéristiques : L'appareil a une grande surface mouillée et une faible puissance ce qui en fait irrémédiablement une machine lente, et même si le moteur consomme peu, la consommation à la distance est élevée.

Un appareil très similaire à celui décrit dans l'article pourrait toujours être construit aujourd'hui, et ses qualités de vol pourraient se révéler relativement satisfaisantes, mais il est temps de remettre en cause certains des objectifs qui sous-tendent ces conceptions :

- « Masse réduite » est toujours valable. De quelque manière qu'on la considère, la masse excédentaire nécessite toujours de la puissance supplémentaire, ce qui induit une croissance de la masse du moteur et du carburant embarqué, et par voie de conséquence une croissance de la masse structurale. Ce cercle vicieux est connu depuis le début de l'aviation.
- « Puissance minimale » et « Faible charge alaire ». A priori plus un moteur est puissant, plus il est lourd, et donc plus on choisit un moteur « juste », moins on risque de tomber dans le cercle vicieux de l'emballement de la masse.

Ça semble logique, mais une puissance très faible pour un avion de masse donnée implique une vitesse ascensionnelle faible et donc une vitesse de vol lente pour conserver une pente de montée suffisante. Cette exigence se traduit par une surface alaire accrue qui a également un coût de masse structurale. Ce n'est pas la puissance minimale qu'il faut choisir, mais celle qui minimise la masse de l'avion complet, qui n'en sera que plus performant au décollage et en montée, et la croisière économique nécessitera moins de puissance tout en étant plus rapide.

La puissance qui minimise la masse de l'avion complet dépend d'une part du rapport de la masse structurale par de la surface alaire ( $\text{kg/m}^2$ ), et d'autre part de la puissance massique du moteur ( $\text{W/kg}$ ).

Si les matériaux « nouveaux » (Airex, carbone, kevlar, ...) permettent en théorie de gagner de la masse, ce n'est vrai que pour des zones où ils sont plus adaptés que les matériaux anciens. En pratique, le renforcement réglementaire des structures consomme ces gains de masse : Les cellules d'avions modernes plus légères que celles de leurs prédécesseurs sont rarissimes.

La puissance massique des moteurs, en revanche, a fait des progrès continus et considérables. La puissance massique du moteur des frères Wright en 1903 était d'à peine  $90 \text{ W/kg}$  (12 HP pour 100 kg – *Et ils l'avaient fabriqué eux-mêmes car les moteurs disponibles étaient encore plus lourds !*). La puissance massique d'un moteur moderne de paramoteur est de  $1172 \text{ W/kg}$  (23 HP pour 14,5 kg – Simonini Mini 4). La puissance massique a été multipliée par plus de 13 en 119 ans. C'est plus que suffisant pour justifier la remise en cause des objectifs « Puissance minimale » et « Faible charge alaire ».

## Contre-proposition de monoplace économique en 2022.

Tout en collant au plus près à l'architecture de la « suggestion » de Raymond BOURDIN, ceci est une tentative d'optimisation dans deux cas d'usage différents :

- Un ULM classe 3 (multiaxe) permettant à un pilote réel (c'est-à-dire grand et lourd) de voyager loin, relativement lentement, mais économiquement.
- Un ULM classe 3A (multiaxe léger) permettant à un pilote réglementaire (86 kg) de voler économiquement, mais avec un rayon d'action réduit à environ 250 km.

### Motorisation.

Le moteur Aubier-Dunne de 20 CV (14,7 kW) envisagé était à l'époque l'un des rares moteurs deux temps disponibles pour l'aviation. Conçu par un fabricant de moteurs de moto, la version « Channel » était un bicylindre en ligne avec les culasses en bas, disposition relativement courante en aéronautique à l'époque. Moteur « carré » (alésage 70 mm et course 70 mm) de 540  $\text{cm}^3$ , il développait 20 CV à 4000 tr/min. Sa masse en état de vol (sans hélice) était de 38,5 kg, et donc au moins 40 kg avec une petite hélice en bois en prise directe. Cela correspond à une puissance massique de  $368 \text{ W/kg}$ .

Aubier-Dunne produisait également une version tricylindre « Jaguar » qui développait 27 CV à 3200 tr/min et dont la masse en état de vol (toujours sans hélice) était de 53 kg. En rajoutant une hélice en bois, on arrive à un groupe motopropulseur de 55 kg dont la puissance massique est de 361 W/kg.

Aujourd'hui, un moteur remplissant la même fonction serait un moteur de paramoteur, tel que le Simonini Mini4. C'est un monocylindre avec la culasse en bas « super-carré » (alésage 62 mm et course 54,5 mm) de 164 cm<sup>3</sup> développant 17 kW (23 HP) à 7400 tr/min. Muni d'un démarreur électrique, d'un réducteur à courroie Poly-V et d'un échappement accordé, sa masse en état de vol (sans hélice) est de 14,5 kg. Avec une hélice carbone moderne (E-props) la masse serait de 15,3 kg, ce qui correspond à une puissance massique de 1120 W/kg, (trois fois celle du moteur Aubier-Dunne !). Cela ne signifie pas qu'il serait judicieux d'utiliser un moteur trois fois plus puissant, mais qu'un moteur moderne de puissance légèrement supérieure à celle du moteur Aubier-Dunne de 20 CV, serait environ 25 kg moins lourd.

### **Pilote.**

Si, à puissance égale, les moteurs modernes sont plus légers que les anciens, ce n'est pas le cas des pilotes. Il est évident que le « passager standard » de 170 livres, soit 77 kg, tel que défini en 1945 avec ses vêtements et son bagage à main, n'est pas représentatif du passager moyen du transport aérien actuel. Toujours avec ses vêtements, mais sans bagage à main, le pilote standard tel que défini par la réglementation ULM française actuelle pèse 86 kg. Il serait donc judicieux de réserver une bonne part des 25 kg gagnés sur la motorisation à l'accroissement de la masse du pilote.

Si le pilote est plus lourd, il est aussi souvent nettement plus grand. Le fuselage doit maintenant être dessiné en fonction de la taille, et en particulier de la longueur des jambes des pilotes actuels.

### **Facteur de charge, vitesse de décrochage et charge alaire.**

L'environnement dans lequel l'avion économique moderne est destiné à évoluer a changé en sept décennies. L'avion économique devra répondre à la réglementation ULM concernant les appareils multiaxes (classe 3 ou classe 3A) qui impose un facteur de charge minimum de +4/-2g, supérieur à celui des normes Air qui régissait les avions de Raymond Bourdin.

Même sur les terrains ULM les plus courts, une distance de roulage au décollage inférieure ou égale à deux cent mètres n'est pas nécessaire, alors qu'elle était couramment de cent mètres ou même moins à l'époque de la rédaction de l'article. Avec une motorisation minimale, cette distance de roulage réduite était obtenue avec une vitesse de décrochage et donc une charge alaire également réduites. Même en comptant que l'aile volante a seulement un  $C_{zmax}$  de 1, à cause de son faible allongement et du braquage vers le haut de la gouverne de bord de fuite, la charge alaire de 18 kg/m<sup>2</sup> donne une vitesse de décrochage de 33 kt.

- La réglementation ULM classe 3 impose une valeur inférieure ou égale à 38 kt, qui correspondrait à une charge alaire de 23,8 kg/m<sup>2</sup>, ce qui correspondrait à une surface alaire de 7,6 m<sup>2</sup> au lieu de 10 m<sup>2</sup> pour la même masse maximale. En gardant la surface alaire de 10 m<sup>2</sup> la charge alaire de 23,8 kg/m<sup>2</sup> permettrait une masse maximale de 238 kg. C'est ce choix qui est retenu ci-dessous
- La réglementation ULM classe 3A impose une masse maximale inférieure ou égale à 170 kg et une charge alaire inférieure ou égale à 30 kg/m<sup>2</sup>. A condition qu'une vitesse de décrochage de 42,6 kt n'induisse pas des distances de roulage au décollage excessive, une surface alaire de 5,7 m<sup>2</sup> serait alors suffisante.

Les règlements ULM actuels imposent donc un appareil plus solide, mais permettent aussi un appareil plus petit, ce qui devrait aider à conserver sa légèreté.

### Dénominations et unités

Si les lois de la physique n'ont pas changé, les termes pour la décrire ont évolué, au point que dans certains cas, des erreurs d'interprétations sont possibles.

Le tableau ci-dessous rassemble les données de l'article, des résultats de calculs, ainsi que les données correspondantes de deux ULM (Classe 3 de mêmes dimensions et Classe 3A plus petit).

	Unité	« Suggestion » R. Bourdin	ULM Classe 3	ULM Classe 3A
Envergure	m	5	5	4,5
Longueur	m	3,8	3,8	3
Corde à l'emplanture	m	3	3	1,8
Corde au saumon	m	1	1	0,8
Surface alaire brute	m <sup>2</sup>	10	10	5,85
Allongement brut		2,5	2,5	3,46
Masse maximale au décollage	kg	175 à 185	238	170
Masse du groupe motopropulseur	kg	40	23	15
Masse planeur	kg	50	70 (*)	50
Masse carburant	kg	15	45	15
Masse pilote	kg	72	100	86
Charge alaire	kg/m <sup>2</sup>	17,5 à 18,5	23,8	29,06
Puissance moteur	kW	14,7	26,5	17
Puissance massique	W/kg	80 à 85	111	100
Vitesse de décrochage	kt	33	38	42

(\*) cellule renforcée avec verrière et parachute de cellule.

L'ULM classe 3, respectant une vitesse de décrochage de 38 kt, a une puissance massique suffisante pour assurer la sécurité, mais contenue pour éviter que le cercle vicieux qui amène à un appareil puissant, lourd, et... cher. Il permet de voyager : Avec un pilote de 100 kg et jusqu'à 62 litres d'essence pour une distance franchissable supérieure à 1000 km, ou encore 30 litres d'essence et 23 kg de bagages. Un MC30 « Luciole » avec son moteur 4 temps de 19 kW (26 HP) consomme moins sur la même distance, mais il est aussi très loin d'avoir une charge utile brute de 145 kg.

L'ULM classe 3A est dans l'esprit « minimal », sa puissance n'est que de 15% supérieure à celle de la « suggestion », mais il est environ 10% plus léger et surtout mais sa surface mouillée réduite lui assure une vitesse de croisière supérieure, et/ou une consommation à la distance inférieure.