



Synthèse des moteurs d'avions légers

Ce sont pour la plupart des moteurs à pistons avec des cycles 4 temps, consommant de l'essence 100LL, disponible sur les aérodromes. On peut les diviser en 3 catégories, les moteurs d'ULM, les moteurs classiques Lycoming, Continental..., puis quelques Diésel et une multitude de moteurs expérimentaux. Cette répartition est la conséquence de la très grande difficulté qu'il y a à passer du domaine théorique à la réalisation d'un prototype, sa mise au point, sa certification, son industrialisation, pour finalement un marché très restreint.

Par ailleurs, le moteur à piston classique après un siècle de mise au point pour l'aéronautique, mais surtout ensuite pour le transport routier et son marché considérable, supérieur de trois ou quatre ordres de grandeur, paraît indétrônable. Pourtant et cela peut sembler étrange, presque toutes les tentatives pour utiliser ces moteurs en aéronautique ont échoué. Dans mon esprit le « presque » fait référence au boxer Volkswagen avec lequel la plupart d'entre nous ont dû voler.

1) Les moteurs d'ULM

Étude comparative des moteurs d'ULM

Constructeur	Source						ULMiste - nov 2011
	ROTAX 912 UL	JABIRU 2200	UL Power UL 260iF	D-Motor LF-26	VIJA J-12Si	SME 75	LORAVIA Lor 75
Cycle	4 temps	4 temps	4 temps	4 temps	4 temps	4 temps	4 temps
Cylindres	4 à plat	4 à plat	4 à plat	4 à plat	4 à plat	2 en ligne	3 en ligne
Alimentation	2 carbu	1 carbu	Injection	Injection	Injection	Injection	Injection
Allumage	Électronique	Électronique	Électronique	Électronique	Électronique	Électronique	Électronique
Cylindrée	1211 cm3	2209 cm3	2592 cm3	2512 cm3	1186 cm3	750 cm3	998 cm3
Puissance (Régime)	81ch (5800)	85 ch	100 ch (3300)	80 ch (2930)	100 ch (6600)	77ch (7500)	75 ch (6000)
Refroidissement	Eau Huile Air	Air forcé	Air	Liquide	Air	Liquide	Liquide
Alésage	79,5 mm	97,5 mm	105,6 mm	103,6 mm	80 mm	85 mm	71 mm
Course	61 mm	74 mm	74 mm	74 mm	59 mm	66 mm	84 mm
Tx Compression	9. / 1	8,3 / 1	9,1 / 1	8. / 1	10. / 1	11. / 1	10,5 / 1
Réducteur (rapport)	2,27	non	non	non	2,55		Courroie 2,5
Masse	76,2 kg	63 kg	74 kg	57 kg	84 kg	62 kg	75 kg
Garantie	18 mois 200h	3 ans 200 h	2 ans				
Prix	15 663 €	13 985 €	17 061 €	14 172 €	11 840 €		9 750 €

Le tableau ci-dessus est intéressant sur bien des plans même s'il date un peu (2011) : Aucune référence à la consommation, comme si cela n'était que de peu d'intérêt pour cette activité !

Masse spécif kg/kW	1.27	1	1	0.97	1.14	1.09	1.36	1.29
Puiss au litre kW/l	49.5	28.5	29.3	23.5	62	75.6	55.3	59.1
Puiss /litre/1000tr/mn	8.53	9.5	8.88	8.02	9.39	10.1	9.22	9.85
Vitesse moy piston m/s	11.79	8.14	8.14	7.23	12.98	16.50	16.80	13.60

On constate que les moteurs à réducteur, tournant vite, de faible cylindrée, ne sont pas les plus légers au kW produit. Cela n'est pas logique, ou alors les réducteurs sont trop lourds avec un rapport de réduction pas assez fort pour présenter un réel intérêt.

La vitesse moyenne des pistons tourne autour de 12 m/s, valeur qui est censée assurer un potentiel de 2000h basé sur l'usure des couples pistons/cylindres.

Concernant les consommations, les différentes valeurs que l'on peut trouver dans les revues spécialisées me paraissent totalement farfelues, par exemple le Rotax 912 iS consomme 16,5 l/h à 92 hp et 5500 tr/mn, soit en unités SI une Cs de $12/69 = 0,175$ kg/kWh. On verra plus loin ce qu'il faut en penser.

2) Les moteurs classiques :

Je prendrai l'exemple de deux moteurs Lycoming :

Lycoming iO-233 Consommation 22,7 l/h à 92 hp 2400 tr/mn soit une Cs= $16,3/64 = 0,255$ kg/kWh.

Lycoming iO-540 Consommation 57 l/h à 168 kW (75%) soit une Cs = $41,04/168 = 0,245$ kg/kWh *

*Valeur mesurée sur mon Pa 32 à 6500 ft, 2350 tr/mn richesse parfaitement réglée.

On peut donc considérer qu'avec la technologie classique il sera difficile d'obtenir des Cs plus faibles que ces valeurs...

Les masses spécifiques de ces moteurs sont de l'ordre de 1,1 kg/kW pour l'iO-233, et 1 kg/kW pour l'iO-540 (soit 223 kg pour 223 kW (300 hp)).

Ces moteurs sont d'une grande simplicité, ont un double allumage par magnétos, **indépendant du réseau électrique de bord**. Ils résistent bien à l'usure et notamment consomment très peu d'huile même après 2000h de vol. (Surtout vrai pour les Lycoming).

3) Les autres moteurs

D'abord une longue liste de moteurs développés par des inventeurs qui pensent trouver des performances intéressantes dans des dessins innovants, en oubliant les fondamentaux :

Peu de pièces mobiles, diminution des frottements par augmentation des alésages et diminution de la course des pistons.

Augmentation du taux de compression, maîtrise de la combustion, augmentation du régime.

Calcul précis de l'aérodynamique interne des conduits, longueur, section, Mach local...

Compresseurs, turbos ou autre...

Les curieux pourront aller voir sur Internet toutes ces merveilles dont certaines sont allées loin dans leur développement :

JJ2S Moteur sans bielle polonais

MISTRAL Engine de type Wankel

BOURKE avec les pistons fixés rigidement deux par deux

DUKE. Pistons reliés à un plateau oscillant comme sur les pompes à huile à débit variable

EICHHOLZER Pistons opposés avec une forme complexe.

ERICSSON Moteur dit à air chaud

MASSCHI 105 4 cylindres à plat classique, consommation 0,326 kg/kWh

MORGADO Concept bizarre avec des pistons se déplaçant dans un tore !

REVETEC Pistons opposés avec une forme complexe.

SCUDERI Chambre de combustion formée par 2 cylindres en série.

WILKSCH Diésel 2 temps 4 cylindres.

ZOCHE Moteurs en étoile 2 temps. Le développement semble arrêté.

Quelques moteurs à pistons opposés, comme l'OPOC avec un seul vilebrequin, ou le Gemini 100 avec deux, qui sont des 2 temps dont l'avantage est d'avoir **un balayage dans le sens du cylindre**, gage d'un bon rendement.

Eurocopter a tenté en 2008 le montage d'un Diésel 4 temps, 8 cylindres en V, de 300 kW pour motoriser un EC120 dont la limite de la boîte de transmission est fixée à cette valeur. La modulation de couple a été jugée acceptable grâce au nombre de cylindres et à un long arbre souple entre moteur et boîte. Par contre pour réduire au maximum la masse tous les systèmes antivibratoires ont été supprimés. Le moteur atteignait 0,9 kg/kWh, avec une consommation voisine de 0,2 kg/kWh. Le projet sera abandonné après quelques heures de vol, les nombreux échangeurs fixés sur le moteur rompant leurs attaches bien trop rapidement. Pour que le

projet puisse être viable le moteur n'aurait pas dû dépasser 0,6 kg/kW et bien sûr ne pas vibrer. On était trop loin de ce but.

Pour mémoire, les énormes moteurs Diésel 2 temps montés sur les tankers ont des lumières d'admission en bas des cylindres, et une soupape d'échappement dans la culasse. Là encore le balayage est optimal, le rendement atteint 50% et la consommation 0,164 kg/kWh, mais les pistons ont 1 mètre de diamètre et le régime est de 1 tr/seconde !

Reste l'expérience des moteurs Thielert aux débuts chaotiques dus en partie au montage d'un réducteur en sortie de puissance sur un cycle Diésel. Le constructeur impose une maintenance très stricte après peu d'heures d'utilisation. Le montage en remplacement d'un 180 hp Lycoming sur un quadriplace, **en fait un triplace !** Les bons côtés sont une utilisation simplifiée du moteur, une seule manette, une consommation réduite autour de 0,2 kg/kWh, un gain important de puissance en altitude à cause du turbocompresseur. Pour ce type de moteur on ne peut pas augmenter le régime, la combustion étant trop lente. L'option 2 temps est donc ici très intéressante (moteur WILSKCH). Reste le problème de la modulation du couple, qui a fait capoter le moteur SMA, mais il existe peut-être des solutions, arbres souples, couplemètre, masselottes dynamiques...

En conclusion deux voies me paraissent intéressantes :

Le moteur 4 temps essence avec régime élevé, réducteur, taux de compression élevé.

Le Diésel 2 temps avec soupape d'échappement, et réducteur **si on trouve une solution mécanique.**

Pour les puissances dépassant les 150 hp le montage de compresseurs sera bien utile surtout en altitude.

Pour les puissances inférieures on peut monter des compresseurs à vis ou volumétriques.

4) Problème lié au taux de compression des moteurs à essence

C'est un point qui va **différencier** les moteurs aéronautiques des moteurs utilisés sur les véhicules terrestres.

En effet le point de fonctionnement le plus critique se situe autour du régime de couple maxi, et si on ouvre en grand l'arrivée d'air, on risque d'obtenir une détonation si l'indice d'octane du carburant utilisé n'est pas adapté au taux de compression du moteur. La parade est de retarder l'avance à l'allumage c'est-à-dire le moment où la bougie donne son étincelle.

Pour un moteur monté sur un avion ou un hélicoptère, la demande de puissance se fera toujours avec un régime moteur élevé, déterminé par la caractéristique puissance /régime de l'hélice, ou la plage de régime autorisée en vol pour les hélicoptères.

Cela permet d'envisager des taux de compression **plus élevés en aéronautique**, et donc de meilleurs rendements. Les ingénieurs de l'automobile ont tenté des taux de compression variables, mais la complexité mécanique et le manque de rigidité générale du bloc-moteur n'a pas permis de réalisation acceptable pour une série.

5) Détails d'un projet de moteur à essence

Au vu de ce qui précède, la géométrie la moins risquée est le moteur 4 temps, avec un seul vilebrequin, 4 soupapes par cylindres pour garder une bonne efficacité à fort régime, de faible cylindrée unitaire, de course faible pour tenir le potentiel de 2000 heures et équipé d'un compresseur à la géométrie fonction du domaine de vol envisagé. Le taux de compression sera élevé, et le contrôle de la combustion effectué par un calculateur puissant aux multiples capteurs. Bien que non-obligatoire un couplemètre serait le bienvenu pour rendre l'optimisation de la consommation plus simple.

Le refroidissement se fera uniquement par l'huile de graissage, utilisée aussi dans un circuit basse pression classique relié à un radiateur.

Le calcul complet du cycle donne par cylindre les paramètres suivants :

Cylindrée	260cc
Alésage	83mm
Course	48mm
Régime continu	7500tr/mn
Puissance continue	67 kW
Régime décollage	
Puissance décollage	8500 tr/mn
Masse	76 kg
Consommation puissance continue	21,6 kg/h
	0,2 kg/kWh

Il est donc encore permis d'espérer des gains importants sans introduire des principes loin d'être maîtrisés.
Se rappeler aussi qu'en 2011 NISSAN pour les 24h du Mans a construit un moteur 3 cylindres de 1500cc qui donnait 300 kW et dont le bloc équipé ne pesait que 40 kg. Il n'était bien sûr pas destiné à tenir 2000h !



CERTAIN Bernard

Février 2021