

CONDUITE MOTEUR

Les paramêtres font la différence

Conduire son moteur, c'est avant tout comprendre les relations qui existent entre les indications moteur et leur résultante. Il est facile d'ignorer ce que notre moteur nous dit mais cela a des conséquences !



Les analyseurs moteurs sont relativement bon marché et offrent des services inestimables aux pilotes. Ils intègrent la surveillance des paramètres moteurs et leur enregistrement, le bilan carburant en permanence et permettent de gérer le mixturage du moteur sans aucun danger.

Par Emmanuel Davidson
Photographies constructeurs

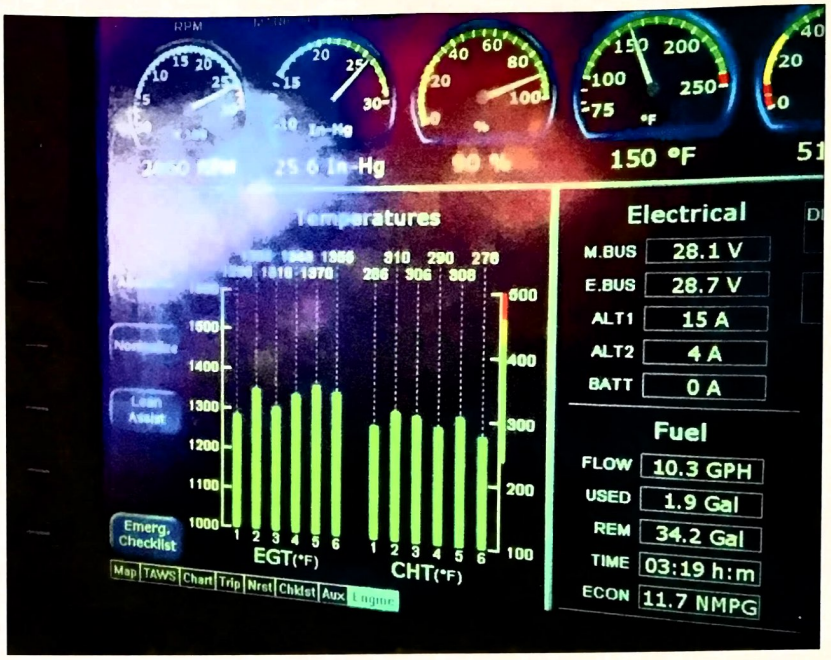
EGT, CHT, richesse, pression et température d'huile, TIT sont des termes que nous connaissons tous et pourtant la plupart du temps nous ne savons pas quelles sont les relations qui les lient intimement. Dommage, car ignorer ces préceptes conduit à remplir l'emploi du temps des mécaniciens et à faire couler les larmes sur les joues des trésoriers d'aéroclubs… Voici quelques réflexions glanées lors de nos discussions avec les équipes techniques des concepteurs de nos moteurs ou les meilleurs spécialistes de l'entretien moteur outre Atlantique et l'étude de leurs documents de formation.

Notre instructeur initial nous a tout appris de la conduite d'un avion pendant les longues heures passées à ses côtés. Tout ? Pas tout à fait… Le plus souvent il a glissé pudiquement sur la manière de conduire notre moteur correctement. Bien sûr, il nous a indiqué qu'il fallait toujours agir sur la commande de puissance avec douceur et progressivité, que la manette de richesse devait être manipulée à bon escient et il nous a inculqué l'ordre dans lequel il fallait ajuster le régime hélice et la puissance si l'on avait la chance d'être sur un appareil équipé d'une hélice à pas variable. Mais au-delà de cela, que savons-nous réellement de la conduite de nos moteurs et de la meilleure manière d'agir sur les commandes ?

Nos moteurs à pistons ne sont pas basés sur les dernières avancées technologiques. On l'a dit et redit ! Nos moteurs boxer (cylindres opposés à plat) sont l'héritage d'une technologie dépassée depuis longtemps. Par contre ce qui ne se démode jamais, c'est le poids des traditions en aviation générale. Une fois une croyance établie et confirmée par ceux qui sont censés détenir le savoir, il est bien difficile de faire changer d'avis ceux qui ont été exposés à ces traditions.

Dans ce premier épisode, nous abordons les questions liées à la manette rouge qui contrôle la mixture, avec trois sujets qui font les choux gras des conversations aéronautiques : mixturer à basse altitude

Mixturer « à l'ancienne » sans aucune indication fournie par un instrument spécialisé ne peut pas, bien évidemment être précis et même si des générations de pilotes l'ont fait avec plus ou moins de succès, pourquoi se priver des bénéfices de la technologie. Certains rapports d'accidents montrent même que si les pilotes avaient mixturé en croisière, ils auraient atteint leur destination sans tomber en panne d'essence…

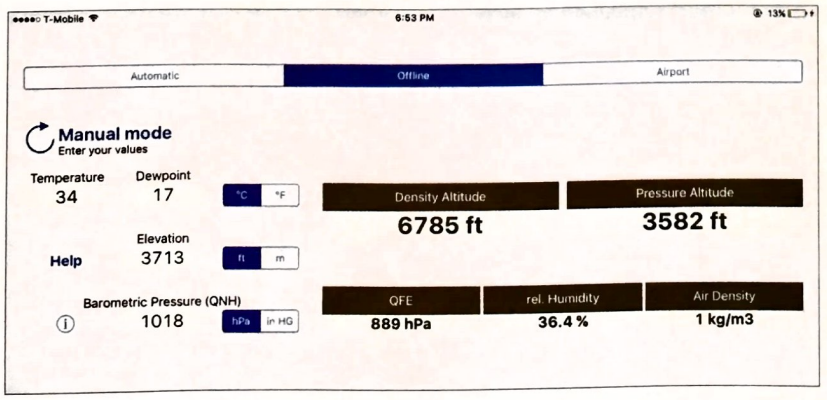


Avidyne a été le premier à offrir sur ses Glass Cockpit un analyseur moteur complet avec une fonction « lean assist » aidant le pilote à trouver les réglages de mixture parfaits.

ou au sol, le démarrage à froid et à chaud et les réglages lean of peak et rich of peak.

My engine is rich, or not?

Prenons un exemple parfait pour illustrer ceci : les constructeurs de moteurs tels Lycoming et Continental Motors précisent dans leur documentation qu'il faut mixturer son moteur « as required » ce qui signifie en fonction des besoins. En Europe, et particulièrement en France, nous apprenons de nos anciens que l'on ne touche pas au mélange en dessous d'une certaine altitude. Généralement 5000 ft. Comme la majorité de notre apprentissage se passe en dessous de cette altitude (sauf dans certaines régions, évidemment), certains d'entre nous n'ont jamais utilisé la mixture sauf pour étouffer le moteur en revenant au parking. Vous possédez un smartphone ? Téléchargez la première application aéronautique gratuite capable de calculer une altitude densité. Une fois installée, faites quelques simulations. Faites varier l'altitude pression, la température et le QNH et le point de rosée. Vous verrez l'altitude densité (elle pourrait aussi être définie comme l'altitude ressentie par votre moteur) varier de manière assez spectaculaire. Une fois les valeurs relevées, consultez votre manuel de vol à la page des performances de décollage. Cumulez les effets d'une piste en herbe aux tables de distance décollage liées à l'altitude. On comprend tout de suite que, dans certains cas, décoller plein riche est une forme assez artistique de roulette russe. Voici la première légende démontée : on ne décolle pas systématiquement plein riche, mais avec la mixture adaptée à la situation. Même en plaine, en dehors des mois les plus chauds. C'est d'ailleurs bien ce que disent les constructeurs de moteurs : « As required » et les fabricant d'avions qui se sont échinés à produire les tables de performances. On nous apprend à les lire, à les interpréter, mais aussi à les ignorer ! Va comprendre…

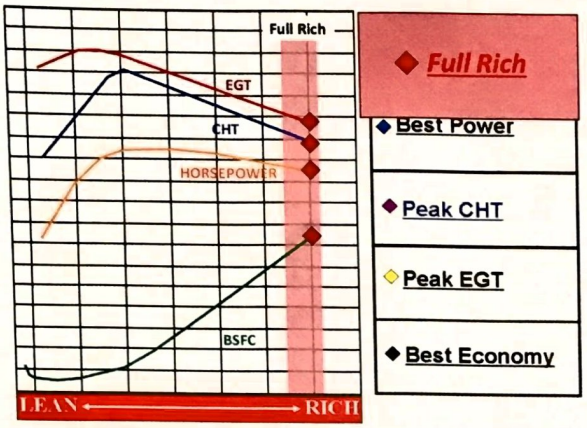


L'altitude densité est mal connue en France. Pourtant c'est elle qui détermine les performances de votre moteur non turbo. Ici, on a simulé un jour d'été à LFMR, en montagne. Au lieu de 3713 ft, on se trouve, du point de vue du moteur, à 6785 ft. Evidemment les performances de montée et au décollage ne sont pas les même. Danger !

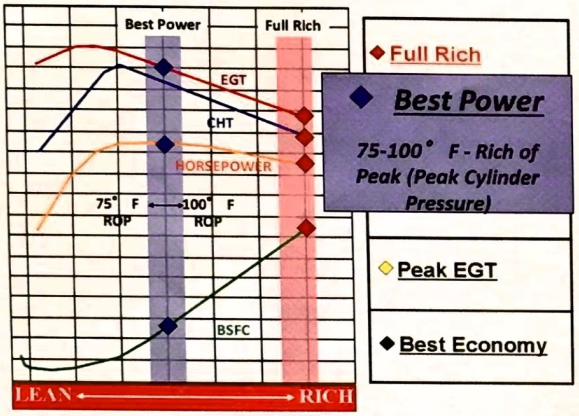
Démarrera, démarrera pas?

Lycoming, Continental et les autres ont produit des pages et des pages d'explications et couché sur le papier des procédures de démarrage pour moteur chaud, froid, voire même délicieusement tiède. Alors voici une manière amusante de passer le temps un après-midi pluvieux au club-house. Demandez à cinq pilotes qui volent sur le même avion, régulièrement, de décrire la manière dont chacun fait démarrer l'avion à chaud. Pour corser un peu les choses, faites-le pendant que les autres ne peuvent pas entendre la réponse. Vous aurez, quelques minutes après l'embarras du choix sur la manière de démarrer le moteur. Faites une dernière comparaison avec celle qui est décrite dans le manuel de vol. Encore des différences ? Eh oui… Nous avons tous cette tendance à vouloir faire passer à la postérité nos propres recettes… Si les fabricants de nos moteurs se sont donné la peine d'écrire des procédures de démarrage après avoir fait des centaines d'essais, c'est aussi pour éviter aux pilotes de devoir jouer les apprentis sorciers. Pour qu'un moteur prenne vie, il faut la combinaison de plusieurs facteurs. Un peu comme dans la recette d'un alchimiste. Si on commence à jouer avec les proportions, on n'améliore pas forcément la recette. On joue plutôt avec les

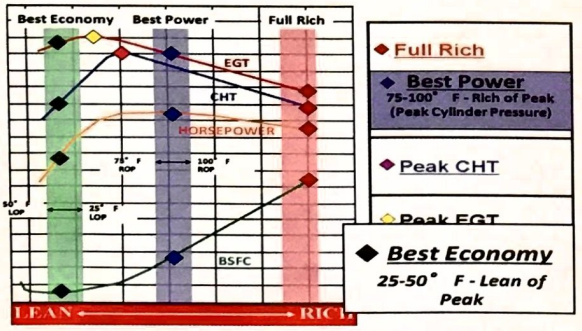
La série de trois croquis ci-dessous illustre bien ce qui se passe dans un moteur en fonction des réglages de mixture à une puissance donnée et constante.



Ici, plein riche, Les températures EGT sont basses, les températures CHT sont également basses, si l'on consulte la courbe horsepower, on est loin du maximum. La courbe BFSC (Brake Specific Fuel Consumption) décrit la quantité de carburant consommée et l'on constate que l'on consomme énormément alors que l'on est loin de la puissance max disponible.



En passant au réglage « Best Power » (75 à 100 °F en dessous du pic EGT du premier cylindre à atteindre le pic), Les températures EGT et CHT sont montées, mais sont loin des maximums. On presque à la puissance disponible maximum, et la consommation spécifique a déjà chuté. On a donc tous les éléments pour aller vite, sans danger pour le moteur.

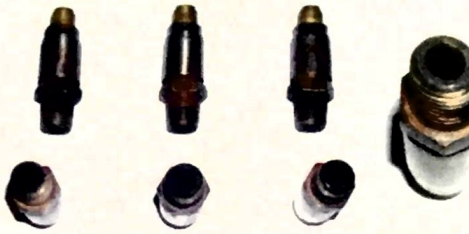


Ici, nous sommes passés au réglage « Best Economy ». Les températures EGT et CHT sont de loin inférieures à celles relevées pour le régime « Best Power ». Donc pas de risque de « cuire » le moteur. La consommation spécifique est à son point le plus bas, mais si l'on regarde la courbe de puissance, on est loin de la puissance disponible en mode « Best Power ». Dès lors, il n'y a aucun danger pour le moteur, mais vous volerez moins vite ! Sur des vols courts, il faut intégrer ces paramètres et vérifier si l'économie en vaut la peine ! Sur les vols longs, la question ne se pose pas !

tolérances du moteur. Dans certains cas cela peut conduire à un retour de flamme suivi d'un magnifique feu moteur. Et comme il'n'y a pas de pompier au pied de l'avion, l'extincteur à la main, il s'agit d'un feu de camp couteux. Pendant ses essais, le constructeur a vérifié quelle était la quantité d'essence apportée au moteur, où le carburant pouvait s'écouler et quelles étaient les conséquences possibles de chaque réglage. C'est ensuite qu'ils ont rédigé leurs manuels. L'avionneur a ensuite repris ces procédures et les a encore vérifiées en fonction du couple cellule/moteur. En les suivant à la lettre, les moteurs, dans l'immense majorité des cas, démarrent sans sourciller. Comment décider si l'on doit appliquer la procédure moteur froid ou moteur chaud ? Le pot d'échappement est une bonne indication. S'il est chaud, procédure « moteur chaud », s'il est froid, sauf par température caniculaire, tentez un démarrage « standard ».

Lean or Rich of Peak ?

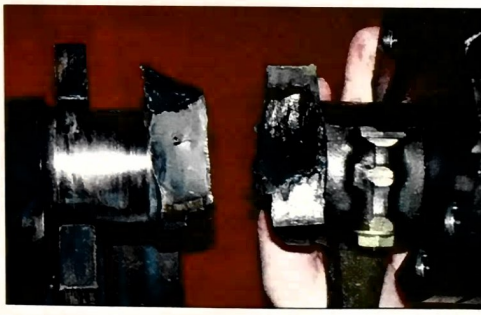
L'un des débats les plus houleux que l'on puisse lancer dans une assemblée de pilotes est, sans conteste, celui qui concerne le mixturage coté riche ou coté pauvre du pic EGT. Et ça marche à tous les coups. Cela divise tellement l'assistance que l'on s'attend presque à voir les partisans de chaque camp occuper une moitié bien délimitée de la salle, quitte à changer de siège s'ils se sont trompés de côté ! A écouter les détracteurs du « Lean of Peak » les cylindres ont une durée de vie moindre que si l'on n'utilise que le « Rich of Peak ». Jonhatan Swift doit sourire en regardant nos débats qui ressemblent tant aux luttes fratricides causées par l'ouverture des œufs par le petit ou le gros bout… Commençons donc par poser quelques règles claires : si le manuel de vol le prévoit, alors pourquoi pas ? Si l'on utilise les réglages constructeurs quels sont les risques encourus ? Avant de se hasarder à une réponse, il faut d'abord comprendre l'interaction de plusieurs paramètres entre eux et de ce qui se passe réellement dans le moteur. Nos cylindres sont des chambres douillettes destinées à abriter des explosions. C'est le principe de base de nos moteurs. On fait entrer un mélange d'air et d'essence dans une chambre fermée, on allume,



Les injecteurs de nos moteurs sont très simples. Ils sont calibrés pour chaque cylindre et ne sont pas interchangeables. Par contre, ils doivent être vérifiés périodiquement et nettoyés.



Voilà un exemple de dommages dus à un phénomène de détonation. Regardez les cotés du piston ils ont été complétement détruits. Imaginez les forces qui se sont exercées pour arriver à un tel résultat. Un moteur bien réglé et conduit selon les règles ne connaitra pas un tel sort.



Après les pistons, c'est généralement les embiellages puis le vilebrequin qui souffrent, parfois jusqu'à la rupture. Il s'agit pourtant d'une pièce usinée dans la masse.

l'explosion fait descendre le piston et transmet le mouvement à l'embiellage qui, du coup, fait tourner le vilebrequin. Pour que l'ensemble fonctionne de manière harmonieuse, il y a un élément essentiel, comme dans un orchestre symphonique : le rythme ! Pas question de voir les musiciens choisir chacun un tempo différent. Si un des pistons n'est pas dans le rythme, il va agresser le vilebrequin et lui imposer des efforts

Lean/Rich of Peak : mode d'emploi

Pour aller du côté pauvre du pic ou peak, on se sert d'un analyseur moteur. Celui-ci est installé au tableau de bord ou sur le glass cockpit. Il est relié par un faisceau électrique aux sondes qui analysent les paramètres suivants : Exhaust Gas Temperature (EGT), Cylinder Head Temperature (CHT) et le plus souvent au débitmètre carburant. Pour les moteurs turbo, on ajoute la Turbine Inlet Temperature (TIT). Pour les sondes de cylindre, on ne se contente pas d'une seule sonde. Chaque cylindre est équipé d'une sonde EGT et d'une sonde CHT. Le pilote a ainsi devant les yeux un instantané de ses paramètres moteur.



Sur ce moteur turbo, la sonde EGT du cylindre N°1 a cessé de fonctionner. Mais en regardant la CHT qui continue à fonctionner et en veillant sur la TIT (température turbo) et le fuel flow, on pourra finir ce vol (du coté riche du pic) sans soucis.

Pour un réglage Best Power (je vais vite et je consomme !), on stabilise l'avion à l'altitude et au réglage de croisière, on attend la stabilisation des paramètres (deux à trois minutes minimum). Et on commence à mixturer. Le but est de détecter le PREMIER pic EGT. Le cylindre qui atteint ce pic le premier se met à clignoter. Ensuite on va ENRICHIR la mixture pour faire tomber la température EGT de 75 à 100 °F. Ensuite, on vérifie que les paramètres restent stables. Et on recommence pour tout changement d'altitude. Remarque : ne mixturez jamais pour trouver une valeur EGT absolue. Ne cherchez pas à obtenir 1575°F à l'AGT. Seule le delta de température à partir du Pic nous intéresse. Pour un Réglage Best Economy (je vais loin et un peu plus lentement), on procède de la même manière sauf que l'on cherche le DERNIER cylindre qui atteint le Pic EGT. Les autres on déjà passé le pic et leur température est déjà descendue. On APPAUVRIT encore pour obtenir une baisse de 25 à 50° F sur l'EGT de ce cylindre. Ensuite, on vérifie que les paramètres restent stables. Et on recommence pour tout changement d'altitude. Même remarque en ce qui concerne les températures EGT. Seul le Delta T° nous intéresse, pas la valeur absolue. Sur le Mooney de la rédaction, la différence de fuel flow entre les deux réglages est sensible : Best Power 15,3 US/Gal/heure (58 litre/heure), Best Economy 12.2 US/GAL/heure (46 litres/heure) pour une perte de vitesse d'environ 5 kt/h.

qu'il sera incapable d'encaisser. Quatre ou six cylindres, il faut que la partition soit commune pour que le moteur tourne rond. Que les cycles d'injection, de compression, d'explosion et d'échappement soient harmonieux. Le système d'injection (plus ou mois archaïque) ou le carburateur doit fournir la bonne quantité d'essence dans chaque cylindre. Ensuite, les deux magnétos doivent fournir la bonne étincelle et au bon moment. L'explosion ou combustion dans le cylindre doit être complète et l'on ne doit pas avoir de résidus incandescents qui risqueraient d'allumer le mélange du cycle suivant prématurément. Malgré la réputation de nos moteurs, il s'agit d'une mécanique de précision. Il faut donc que le système d'injection soit bien réglé, que l'allumage (les magnétos) soit bien calé. Ensuite, il faut comprendre le principe de base : coté riche du pic, plus de puissance, plus de vitesse, moins d'autonomie. Coté pauvre du pic, moins de puissance, moins de vitesse, plus d'autonomie. Il n'y a pas d'exception à cette règle. Vous n'aurez jamais la vitesse obtenue du côté riche (Best Power) du côté pauvre (Best Economy). Bien sûr, la tentation de faire son réglage puis d'ajouter un peu de puissance, pour récupérer de la vitesse, est grande.

Mais dans ce cas, vous prenez la direction de la zone rouge, invisible à vos yeux. Dans cette zone réside votre pire ennemi : la détonation. C'est le meilleur moyen de détruire votre moteur en quelques secondes dans les cas aigus. En rajoutant de la puissance, vous avez changé le tempo de la partition et l'orchestre a perdu son rythme, chacun jouant une partition différente sans se soucier des autres. Cela semble terrifiant et devrait dissuader les pilotes, mais, en fait, l'expérience prouve que le « Lean of Peak » ne pose aucun souci quand il est pratiqué correctement. Ce qui signifie que l'on procède méthodiquement à ses réglages, avec un côté systématique qui touche au fanatisme.

On ne change pas ses procédures avec le temps en se disant « *j'ai remarqué que…, ça va bien le faire comme ça !* ». Et surtout on se dote, s'ils ne sont pas en standard sur l'avion, des outils nécessaires à analyser les paramètres qui comptent le plus et ce, cylindre par cylindre. L'analyseur moteur est nécessaire et facilite grandement la vie de l'utilisateur. Leur prix est maintenant suffisamment faible pour qu'ils ne soient plus une option. C'est sans doute ce qui permettra de faire disparaître les mauvaises habitudes prises durant les décennies précédentes. Il est vrai que mixturer à l'estime n'était pas facile ! Le prochain article de cette série concernera les causes les plus communes des surchauffes moteur inexplicables, l'entretien courant de nos moteurs et des pièges qui y sont liés.