

	AERO-CLUB DU CE AIRBUS-FRANCE TOULOUSE	 
	CISOA-Commission Interne pour la Sécurité des Opérations Aériennes	
10/2012	Conseil Sécurité du mois	Page 1/6

Rédacteurs : Bruno Guaus/Jacques Loury

Révision du 10 Juillet 2014

Appauvrir ou enrichir la mixture : une affaire de dosage !

Objet

Lors de notre formation de pilote, nous avons tous appris que le réglage du mélange (*mixture*), qui vise à optimiser le fonctionnement du moteur et à maîtriser sa consommation, devait être réalisé dans certaines conditions et en prenant toutes les précautions pour préserver la fiabilité et la longévité du moteur.

Mais voilà, nous hésitons à le faire par crainte d'un arrêt du moteur ou tout simplement parce que nous avons oublié la procédure !

Ce conseil sécurité rappelle pourquoi, quand et comment régler la mixture.

Certains détails techniques sont fournis en annexe afin de clarifier ou d'approfondir le propos. Le lecteur pourra également se référer au Conseil Sécurité 06/2012 intitulé « Démarrer et arrêter un moteur d'avion...tout un art ! ».

Avertissement : les façons de faire décrites dans ce conseil sont génériques et ne remplacent pas la procédure spécifique à chaque avion décrite dans son manuel de vol.

Pourquoi régler la mixture ?

Un moteur thermique à combustion interne fonctionne à son optimum s'il est alimenté avec du carburant mélangé à de l'air selon un dosage permettant une combustion complète.

Pour une position fixe de la manette des gaz et un nombre donné de tours par minute (RPM), le dosage du mélange varie avec la masse volumique de l'air qui elle-même dépend de la pression atmosphérique et de la température extérieure à l'altitude de vol : c'est ainsi qu'en gagnant de l'altitude le mélange s'enrichit et inversement.

Le dosage du mélange a une influence directe sur :

- le rapport Puissance délivrée/Consommation spécifique (efficacité énergétique) ;
- la température des têtes de cylindres (CHT¹) et des gaz d'échappement (EGT²) ;
- la quantité des résidus issus de la combustion (carburant non brûlé, résidus solides).

Le dosage vis-à-vis de son influence sur le rapport Puissance /Consommation est réglé selon l'efficacité énergétique recherchée, à savoir :

- ✓ la « meilleure économie » (dosage « optimal ») ;
- ✓ la « meilleure puissance ».

L'autonomie, c'est-à-dire le temps au bout duquel la quantité totale du carburant contenu dans les réservoirs sera asséchée, est de toute évidence liée à la consommation spécifique et constitue un paramètre essentiel pour la gestion du vol.

Enfin nul n'ignore que le poste « carburant » est une très grosse part du coût de l'heure de vol et que ce poste ne cesse pas d'augmenter !

¹ Cylinder Head Temperature

² Exhaust Gas Temperature

PERFORMANCES EN PALIER

A la masse maximale de 1050 kg (2315 lb), en atmosphère standard.
Au réglage mixture optimal, carburant utilisable (49 us gal) 189 l.
Sans réserve de carburant, par vent nul.

Consommation pendant le roulage et la montée compensée par la descente.

ALTITUDE Zp (ft)	REGIME		CONSOMMATION		VITESSE PROPRE		AUTO-NOMIE h.min	DISTANCE	
	%	rpm	l/h	us gal/h	km/h	kt		km	Nm
0	75	2665	38	10,2	231	124	4,55	1143	616
	65	2420	33	8,8	212	114	5,40	1208	651
2500	75	2625	38	10,2	238	128	4,55	1178	634
	65	2480	33	8,8	218	117	5,40	1242	669
4600	75	2680	38	10,2	243	130	4,55	1202	647
	65	2520	33	8,8	226	121	5,40	1282	690
6500	73	2700	38	10,2	246	133	4,55	1217	657
	65	2580	33	8,8	231	124	5,40	1316	709
8500	70	2700	38	10,2	245	132	4,55	1212	655
	65	2625	33	8,8	237	127	5,40	1350	727
10 500	65	2680	33	8,8	242	130	5,40	1379	743

Ci-contre un extrait du manuel de vol du Robin DR400-160 au chapitre « Performances » montrant qu'au **réglage mixture optimal** :

- pour une puissance appliquée au même pourcentage de la puissance maximum :
 - ☞ la consommation est indépendante de l'altitude-pression Zp ;
 - ☞ la vitesse propre augmente avec l'altitude.
- pour le régime moteur maximum à ne pas dépasser (ici 2700 RPM), quand l'altitude pression Zp augmente, la puissance délivrée décroît alors que la consommation reste constante.

Gérer la mixture permet d'alimenter le moteur de façon adaptée à la puissance appliquée et de maîtriser son efficacité énergétique.

Au-delà de l'aspect du « coût à l'heure de vol » l'économie de carburant qui s'en suit contribue à la sécurité : en effet, il peut s'avérer crucial d'avoir su optimiser la consommation, par exemple lors d'un voyage avec de longues étapes ou quand les stations d'avitaillement sont rares !

Quand appauvrir ou enrichir la mixture ?

Le besoin d'appauvrir ou d'enrichir la mixture est déterminé par la puissance appliquée dans les diverses phases et trajectoires de vol.

La mixture est systématiquement « **plein riche** » lorsque le moteur doit délivrer :

- ☞ la pleine puissance, au décollage, en montée et en « remise de gaz », sauf à haute altitude ;
- ☞ une puissance réduite, en descente, en attente, à l'approche et en finale.

La mixture est « **plein pauvre** » uniquement pour l'extinction du moteur.

Le réglage pour obtenir l'**efficacité énergétique** recherchée (meilleure économie ou meilleure puissance) s'effectue :

- **en palier** après stabilisation de la trajectoire et de la vitesse, l'affichage du régime moteur (RPM) [et de la pression d'admission (PA), si l'avion est équipé d'un manomètre] ayant été effectué selon la puissance appliquée [les valeurs RPM et PA dépendent de l'altitude pression et de la température de l'air à l'altitude de vol (OAT³)] ;
- **à haute altitude, au décollage ou pendant une montée prolongée**, lorsque le fonctionnement du moteur à pleine puissance est irrégulier ou le devient.

Attention, la puissance appliquée lors d'un vol de croisière doit être inférieure ou égale à 75% de la puissance maximum autorisée en continu.

Recommandation : si certains manuels de vol spécifient d'appauvrir au-dessus de 5000 ft, c'est possible de le faire à une altitude inférieure mais pas en dessous de 3000 ft. De plus le réglage à la meilleure efficacité énergétique n'est pertinent que si le palier doit être maintenu pendant un temps relativement long (> 15 minutes).

³ Outside Air Temperature

Comment régler la mixture ?

Sans sonde EGT

- **Meilleure économie :**
appauvrir progressivement jusqu'à constater que le moteur « tourne moins rond » (vibrations), puis ré-enrichir lentement, jusqu'à retrouver un fonctionnement régulier (équivalent à repousser la manette de richesse d'environ 1cm).
- **Meilleure puissance :**
hélice à calage fixe :
appauvrir progressivement jusqu'à obtenir le maximum de tours/minute
non applicable avec hélice équipée d'un régulateur de sa vitesse de rotation (calage variable).

Avec sonde et indicateur EGT

- **Meilleure économie :**
appauvrir progressivement jusqu'au **pic d'EGT** et continuer pour observer la diminution de l'EGT, puis ré-enrichir lentement pour revenir au pic d'EGT.
- **Meilleure puissance :**
procéder comme ci-dessus mais **lors du ré-enrichissement revenir à une EGT inférieure au pic d'EGT d'un écart spécifié par le constructeur.**
DA 20 : écart de 25°F
TB20 et TB10 : écart de 75°F
(3 divisions sur l'indicateur EGT)

Exemple du Robin DR400-140B

Utilisation de la commande de mixture

Maintenir la commande de mixture sur "plein riche", lors du décollage et de la montée.

Dans certaines conditions (décollage sur terrain à haute altitude, montée prolongée au delà de 5000 ft), ce réglage peut s'avérer trop riche et se traduit alors par un fonctionnement irrégulier du moteur, ou par perte de puissance.

Dans ces cas, ajuster la mixture de manière à retrouver un cycle moteur régulier et non pour la recherche de l'économie.

Règlage de la mixture en croisière après stabilisation:

Abaïsser progressivement la manette de mixture jusqu'à observer une légère diminution de régime; repousser alors légèrement la manette vers le haut pour rétablir le régime et un fonctionnement régulier du moteur.

NOTE

Prendre soin de ne pas appauvrir excessivement le mélange, afin d'éviter une surchauffe du moteur.

ENRICHIR TOUJOURS LE MELANGE AVANT UNE AUGMENTATION DE PUISSANCE.

Exemple du Diamond DA20

4.4.8. Climb

- | | | |
|----|---------|-----------|
| 1. | Mixture | FULL RICH |
|----|---------|-----------|

NOTE

For aircraft without the altitude compensating fuel pump, at full throttle settings with power less than 75%, it is necessary to lean the engine with the mixture control. It should be noted that with the engine set to full throttle, it can produce less than 75% power, depending on pressure altitude. Refer to the Section 5.3.2., Performance to determine the engine performance as a function of altitude and temperature. Expect engines without altitude compensating fuel pump to require leaning at full throttle above 5000 ft pressure altitude.

- | | | |
|----|-------------------------|--------------------|
| 2. | Throttle | FULL |
| 3. | Engine Gauges | within green range |
| 4. | Wing Flaps (400 ft AGL) | CRUISE |
| 5. | Airspeed | 75 KIAS |
| 6. | Trim | adjust |

4.4.9. Cruise

- | | | |
|----|---------------|--|
| 1. | Fuel Pump | OFF |
| 2. | Throttle | as required |
| 3. | Mixture | lean to 25° F rich of peak EGT. DO NOT lean by EGT above 75% power |
| 4. | Wing Flaps | CRUISE |
| 5. | Trim | as required |
| 6. | Engine Gauges | check |

Le réglage de la mixture doit toujours se faire selon la procédure définie par le constructeur et décrite dans le manuel de vol.

Pour résumer :

- ☞ Savoir reconnaître les phénomènes associés au dosage du mélange ;
- ☞ Manipuler « en douceur » les manettes, afficher « avec soin » la valeur des paramètres et surveiller les températures ;
- ☞ Se référer au manuel de vol pour éviter toute improvisation, en considérant que le moteur équipant l'avion n'est pas tout neuf, les performances annoncées ayant été mesurées dans des conditions bien précises et en utilisant un avion et un moteur récents et finement réglés.

Un voyage préparé en prenant en compte une autonomie et une puissance spécifiées dans le manuel de vol mais réalisé avec un réglage inapproprié de la mixture et/ou une puissance appliquée et des conditions de vol en écart à celles spécifiées peut réserver des surprises, qui plus est par vent de face !

ANNEXE

Riche, pauvre : de quoi parle-t-on ?

Pour pouvoir démarrer puis délivrer de la puissance, un moteur doit être alimenté avec un mélange composé de vapeurs d'hydrocarbure et d'oxygène gazeux.

Un moteur à pistons utilisant de l'essence AVGAS (AViation GASoline) ne pourra fonctionner que si le **rapport entre les masses d'essence et d'air** vaut entre 1/8 (0.125) et 1/20 (0.050). La combustion est complète, avec une progression lente du front de flamme, quand le rapport est de 1/15 (0.0825) soit 1 gramme d'essence pour 15 grammes d'air.

Si le rapport est supérieur à 1/15 le mélange est dit **riche**. S'il est inférieur il est dit **pauvre**.

Lorsque le rapport est de 1/15 le moteur fonctionne à la « meilleure économie ». Lorsqu'il est de 1/12,5 (0.080) il fonctionne à la « meilleure puissance ».

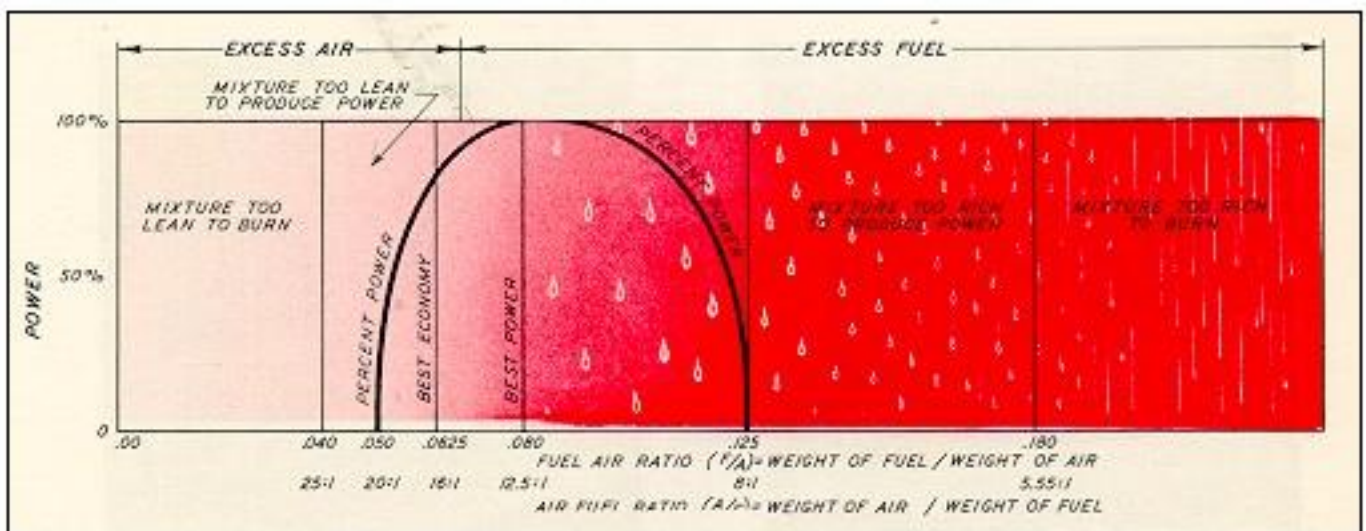
Un mélange trop riche (rapport > 1/8), outre le gaspillage de carburant, engendre des vibrations du moteur et favorise le dépôt de résidus provenant de la combustion incomplète sur les têtes de piston, la partie haute des cylindres, les soupapes et les bougies. A la limite supérieure d'inflammabilité le rapport est de 1/5,5 (0.180), le carburant ne peut pas brûler : un mélange trop riche peut donc rendre le démarrage difficile, voire impossible quand le moteur est noyé !

Toutefois, la bonne nouvelle est que le carburant non brûlé a l'avantage de refroidir les têtes de cylindre : c'est pour cette raison que la manette doit toujours être sur « plein riche » à pleine puissance, par exemple lors du décollage et de la montée.

Un mélange trop pauvre augmente dans certaines conditions (et plus particulièrement sur les moteurs turbo compressés) le risque de détonation (progression très rapide du front de flamme). A la limite inférieure d'inflammabilité le rapport est de 1/25 (0.040) : le moteur s'étouffe !

Si un gain d'altitude enrichit le mélange, une perte d'altitude l'appauvrit : on prendra donc soin de replacer la manette sur « plein riche » avant d'entamer une descente, son oubli pouvant avoir des conséquences fâcheuses sur le moteur et la puissance délivrée, notamment en finale en cas de remise de gaz.

Variation de la puissance selon le ratio Masse de carburant/Masse d'air dans le mélange



A l'adresse <http://www.airsafety.com.au/whyalla/whyalla.pdf> se trouve un rapport fort bien documenté d'un accident survenu en Australie à un avion utilisé avec des conditions de réglage inappropriées.

Graphes de la variation**-des températures**

« tête de cylindre » et
« gaz d'échappement »,

**-du pourcentage de la meilleure
puissance en croisière et
-de la consommation spécifique
selon la réglage du mélange**
(source Lycoming)

Le pic d'EGT⁴ intervient au voisinage
de la meilleure économie.

A la meilleure puissance, l'EGT est
inférieure d'environ 150°F au pic
d'EGT.

Entre un réglage « plein riche au
décollage » et un réglage à la
meilleure économie en croisière :

- la variation crête à crête de l'EGT est d'environ 350°F et d'environ 35°Celsius pour la CHT ;
- la baisse de consommation est très nette (environ 15%).

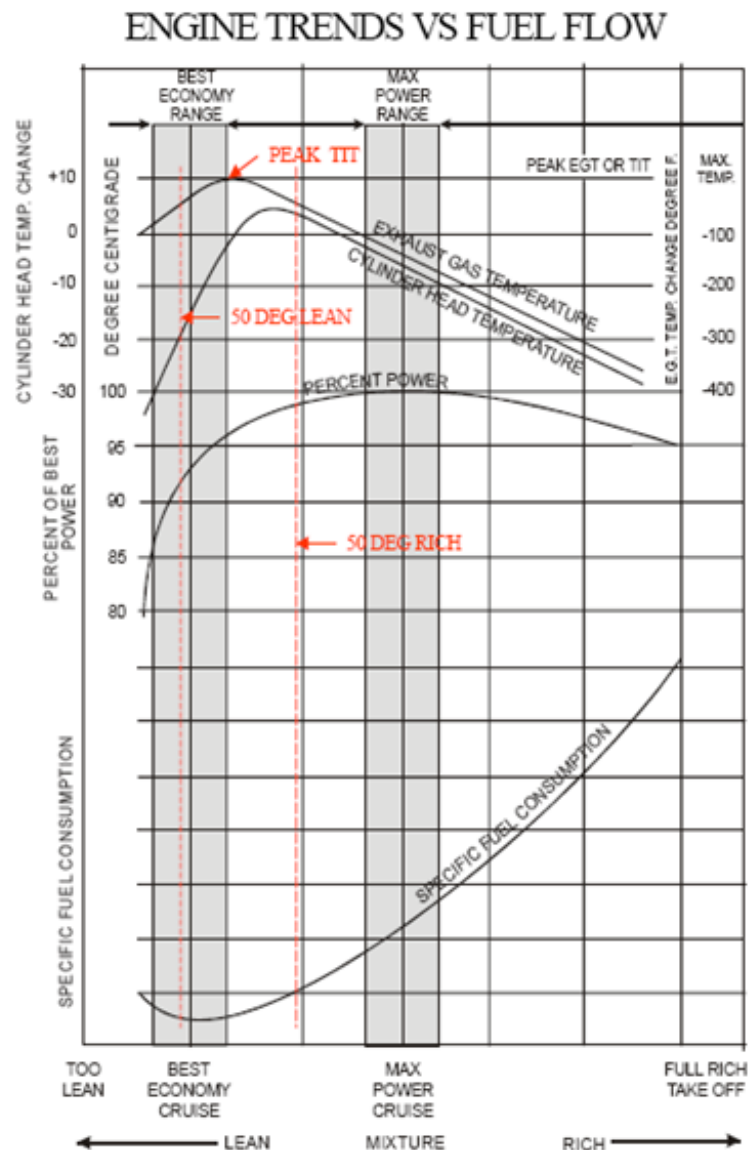
En croisière, entre la meilleure
puissance et la meilleure économie,
l'écart de puissance est d'environ
8%.

La CHT est à son maximum entre
ces deux réglages mais plutôt proche
du réglage à la meilleure économie
en croisière.

Un mélange « pauvre » a donc
tendance à faire chauffer le moteur !

Essais moteur : deux points d'attention

1. En vérifiant l'allumage, si des écarts hors des limites spécifiées sont constatés ou si des vibrations apparaissent quand une seule rampe d'allumage est en service (le moteur « ne tourne pas rond »), cela peut signifier un encrassement des bougies. Dans certains cas il est possible d'y remédier en faisant tourner le moteur pendant une vingtaine de secondes au régime auquel la vérification est habituellement faite, après avoir appauvri jusqu'à la limite de la chute franche de régime. Au sol la mixture étant habituellement « plein riche », cette opération engendre une surchauffe momentanée des têtes de cylindres qui permet d'éliminer certains dépôts diminuant l'efficacité des bougies ou empêchant l'étincelle de se produire. Toutefois pendant cette opération il convient de surveiller le maintien de la CHT dans sa plage verte.
2. L'efficacité de la « réchauffe du carburateur » est constatée par la légère baisse du régime moteur lorsque la manette de réchauffe est tirée et par le retour au régime précédent lorsqu'elle est repoussée.



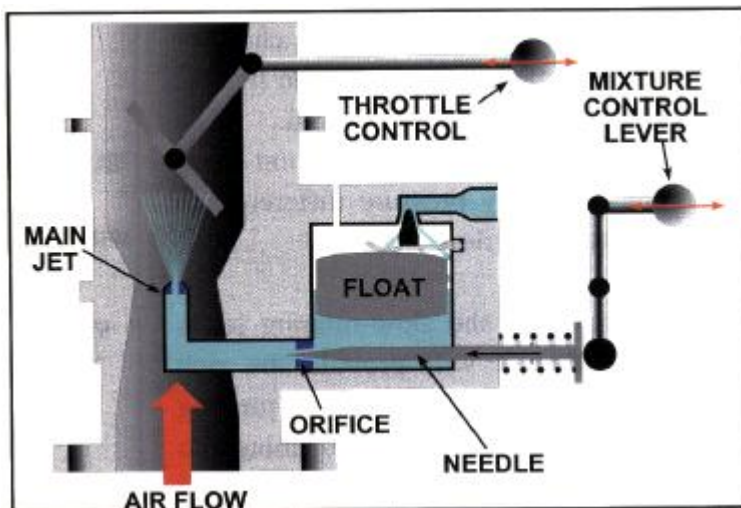
⁴ Désigné également PEAK TIT : Turbine Inlet Temperature (sur un moteur équipé d'un turbo compresseur)

Cette baisse de régime est due à l'enrichissement momentané du mélange air/essence. En effet l'air entrant dans le carburateur étant plus chaud, sa masse volumique est plus faible. La position du papillon des gaz étant inchangée, le débit d'air reste identique mais la masse d'air et donc d'oxygène gazeux présente dans le mélange est moindre alors que la masse d'essence vaporisée est inchangée : la capacité énergétique du mélange carburé diminuant, la puissance délivrée est alors plus faible, ce qui au bout du compte se traduit par une baisse de régime.

Une manette rouge pour actionner le dispositif de réglage du mélange

Cette manette (*mixture control lever*) n'est que la partie visible du dispositif servant à régler le dosage : elle actionne le pointeau (*needle*) permettant de modifier la surface d'ouverture de l'orifice au travers duquel l'essence liquide peut circuler vers l'injecteur principal (main jet) : un robinet en quelque sorte ! (cf. ci-dessous l'illustration d'un carburateur) :

- ☞ la fermeture de l'orifice interrompra la circulation et provoquera l'extinction du moteur ;
- ☞ son entière ouverture permettra la circulation d'une quantité maximum d'essence ;
- ☞ l'ouverture partielle diminuera cette quantité, avec un effet sur le débit donc du dosage.



Dispositif de réglage de la mixture, dans un carburateur

(pointeau en position « plein riche »).

Le débit de carburant (*fuel flow*) caractérise la quantité d'essence liquide sortant de l'injecteur par unité de temps.

Sur un moteur à injection (sans carburateur - cas du DA20 et du TB20), le dispositif est similaire mais se situe plus en aval, dans les pipes d'admission, au niveau des organes de distribution du carburant.

La masse d'essence vaporisée dans l'air à la sortie du carburateur dépend d'une part de la surface d'ouverture de cet orifice et d'autre part de la dépression due à l'effet Venturi au voisinage de la sortie de l'injecteur (gicleur).

La valeur de cette dépression est déterminée par l'intensité de l'aspiration d'air à l'entrée du carburateur (i.e. le débit d'air ou *air flow*) elle-même conditionnée par le degré d'ouverture du papillon des gaz commandé par la manette de gaz (*throttle control*).

Point d'attention et recommandation pour l'application de la pleine puissance

Lors d'une application de la pleine puissance (par exemple pour le décollage ou en cas de « remise de gaz ») alors que le moteur tournait à faible puissance ou « tout réduit », l'ouverture en grand du papillon des gaz ne provoque pas instantanément une augmentation du flux d'air et donc de la dépression nécessaire à la vaporisation d'une quantité suffisante d'essence. Ce déficit momentané d'essence est compensé par un apport complémentaire via la pompe de reprise actionnée lors de l'enfoncement de la manette de gaz. Si cet enfoncement est trop rapide, il provoque un enrichissement excessif du mélange (le moteur « ratatouille » et éjecte une fumée noire⁵).

Il convient donc d'agir sans précipitation sur cette manette, pour laisser à la physique le temps de produire l'effet Venturi et aux divers organes d'alimenter le moteur.

⁵ Fumée blanche = présence d'eau dans le circuit d'alimentation – Fumée bleue = présence d'huile