

Multiaxes ▶ pendulaires ▶ hélicos légers ▶ autogires ▶ construction amateur

ULM+LSA

VOL moteur

Le MAGAZINE du PILOTE ULM



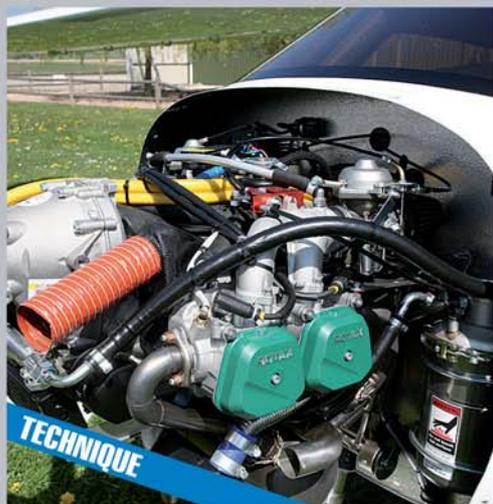
TomarkAero VIPER SD4 LA DANSE DU SERPENT !

Aventure
L'Afrique en ULM (suite)

J'irai poser chez vous...
... Oyonnax LFLK

Arrêté du 12 juillet 2019
Complément de formation
pour les pilotes ULM !

REFROIDISSEMENT ROTAX 912
TEMPÉRATURES DE FONCTIONNEMENT :
COMMENT LES ATTEINDRE ET LES CONSERVER ?



**LE TOUR DE L'ITALIE
EN PENDULAIRE À 70 KM/H !**



Pilotage. Voler à l'étranger :
demande d'autorisation,
dépôt d'un plan de vol,
réglementation...

FICHE PRATIQUE :
Radio Becker AR6201 :
le câblage, 3^e partie

L 14137 - 407 - F: 6,90 € - RD



n° 407 > janvier 2020 > 6,90 €
Belgique, DOM, LUX, PORT CONT 7,90 €
Canada 12,50 \$CA • TOM 1200 cfp

1^{re} partie

Refroidissement des Rotax série 912 carbu

Températures de fonctionnement : comment les atteindre et les conserver ?

En ce début de période hivernale, la seconde question qui vient après la météo, c'est « *Comment faire chauffer mon moteur ?* »... Je suis obligé d'attendre plus de 10 minutes avant de pouvoir décoller...»

Texte et illustrations : Kristof Huchet. Photo : Vol Moteur

Cette affirmation est entendue sur toutes les bases et tous les aéro-dromes où volent des ULM, au détail près de la durée. Pour certains, c'est dix minutes, pour d'autres c'est quinze...

Je vais donc essayer de clarifier les fonctionnements et présenter l'ensemble des solutions techniques qui s'offrent à vous pour permettre à vos moteurs d'atteindre les températures idéales de fonctionnement et surtout de les conserver afin d'en garantir un fonctionnement harmonieux et une usure minimale.

En postulat et pour les valeurs exprimées, je prendrai comme références les publications Rotax suivantes disponibles sur www.flyrotax.com :

- Installation Manual : IM 912 series ED2-R1-E (et suivant) ;
- Operators Manual : OM 912 series ED3-R2-E (et suivant) ;
- Illustrated Parts Catalog : IPC 912 series ED4-R3-E.

Ces manuels définissent les montages, les pièces et les paramètres d'utilisation pour le type de moteurs Rotax série 9-- concernés.

Je prendrai également comme références les températures standards utilisées dans le fonctionnement des moteurs à combustion interne.

Les objectifs que nous cherchons à atteindre sont principalement l'élévation à une température minimale dans un temps le plus contenu possible, l'atteinte des T° idéales de fonctionnement afin de garantir le travail du moteur dans les meilleures conditions, le tout en préservant aux fluides leurs qualités initiales le plus longtemps possible (retarder la dégradation de l'huile). Mais également et surtout la conservation des paramètres de T° dans toutes les phases du vol (roulage, décollage, palier, descente).

Chapitre 1 • un peu de thermodynamique

Bien que paraissant performant, le moteur à combustion interne a un rendement assez médiocre puisque, sans rentrer dans le détail, il est à considérer que 66 % de la puissance énergétique du carburant qu'il consomme est transformé en chaleur et non en énergie mécanique qui ne représente, elle, que 33 % (pour ceux qui voudraient pousser plus loin, il est indispensable d'étudier le cycle de Carnot qui définit ces bases).

Cette production de chaleur est due bien évidemment à la conception même des moteurs qui génèrent des températures très élevées ayant plusieurs origines.

ORIGINE N° 1 : la combustion (notion de température produite)

Nous engloberons ici la nécessaire élévation de la température de l'air par sa compression

(+ 600°) et celle indissociable de la combustion interne communément appelée « l'explosion » (+ 2000°) et ce, en continu tant que le moteur tourne.

Pour aller au plus simple, nous dirons que cette production calorifique a pour origine le « haut moteur ».

ORIGINE N° 2 : les contraintes mécaniques (notion de température subie)

Nous parlerons ici des frottements entre les pièces mécaniques, des résistances et autres mouvements indispensables au fonctionnement (150° max). Par opposition, nous dirons donc que cette production calorifique a pour origine le « bas moteur ».

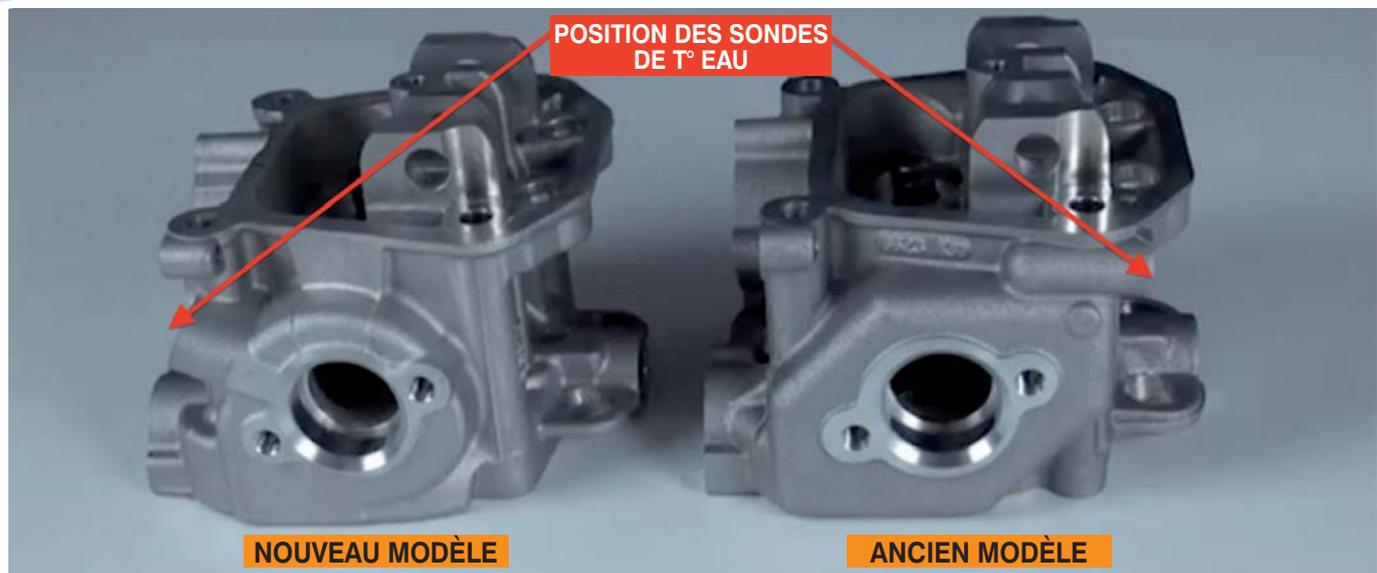
Le haut moteur

L'élévation ponctuelle très importante de la

température dans les chambres de combustion et des pièces y afférant rend ces organes particulièrement exposés (pistons, culasses, soupapes).

Les températures constantes très élevées ont pour conséquences de communiquer la chaleur aux pièces situées à proximité de celles directement exposées, par contact, rayonnement ou radiation. Elles en élèvent très rapidement les températures ainsi que celle de l'air ambiant (sous le capot, s'il y a) cela impose une (des?) solution(s) pour la dispersion rapide de ces calories.

Sur les Rotax série 9--, la mesure de ces températures (Cylinder Head Temperature) s'effectue à l'aide de sondes (**illustration ci-dessous**) situées sur les culasses n° 2 et 3.



Le bas moteur

Nous y trouvons des pièces mécaniques particulièrement sollicitées par les efforts, que sont les bielles, le vilebrequin, les cylindres (qui eux participent aux deux sources de chaleur) et dans une moindre mesure les organes de transmission (réducteur), les contraintes mécaniques, les frottements (gérés) et la puissance appliquée sont autant de sources d'élévation de la température.

Sur les Rotax série 9--, la mesure de la température est réalisée à l'aide d'une sonde visée dans le corps de pompe à huile (**illustration ci-dessous**).

Cette sonde est identique électriquement et en dimension aux sondes de 1^{re} génération utilisées pour la CHT.

Vous l'aurez compris, la maîtrise et la gestion de ces deux sources de chaleur d'origines et d'intensités différentes imposent pour leurs gestions des moyens et des solutions différentes car, en plus, leurs propagations ne sont pas simultanées, le haut moteur atteint des températures plus élevées mais également plus rapidement que le bas moteur.

De plus, si l'objectif principal concernant les températures du haut moteur est de les faire

baisser, celui concernant le bas moteur est de les faire monter rapidement à une T° plancher (50°) afin d'éviter les usures mécaniques provoquées par des fonctionnements en dehors des dilatations pour lesquelles elles ont été conçues que l'on appelle les températures de travail ou de fonctionnement.

Impact des températures sur l'usure du moteur lors des phases marginales de :

démarrage : les chocs thermiques lors des premières explosions, les arrachements métalliques et autres frottements avant l'établissement des films d'huile. Elles sont considérées y participer pour +/- 50 % ;

d'arrêt : élévation des températures due à l'arrêt des dispositifs de refroidissement et de lubrification (l'air, l'eau et l'huile ne circulent plus), arrachements métalliques sur les organes en mouvement dus à la disparition des films d'huiles consécutifs à la baisse de la pression. Cette phase y participe à +/- 20 %.

NB : cette problématique est une des causes les plus courantes de la mortalité des turbo. Vous l'aurez calculé, l'utilisation du moteur dans ces plages d'exploitations normales ne génère que +/- 30 % de son usure ou, devrais-je écrire, de ses usures du fait de leurs diversités.

Chapitre 2 • les solutions

Dans le cas du moteur Rotax série 9--, le refroidissement a été confié à 3 fluides qui ont des propriétés physiques chimiques et mécaniques différentes.

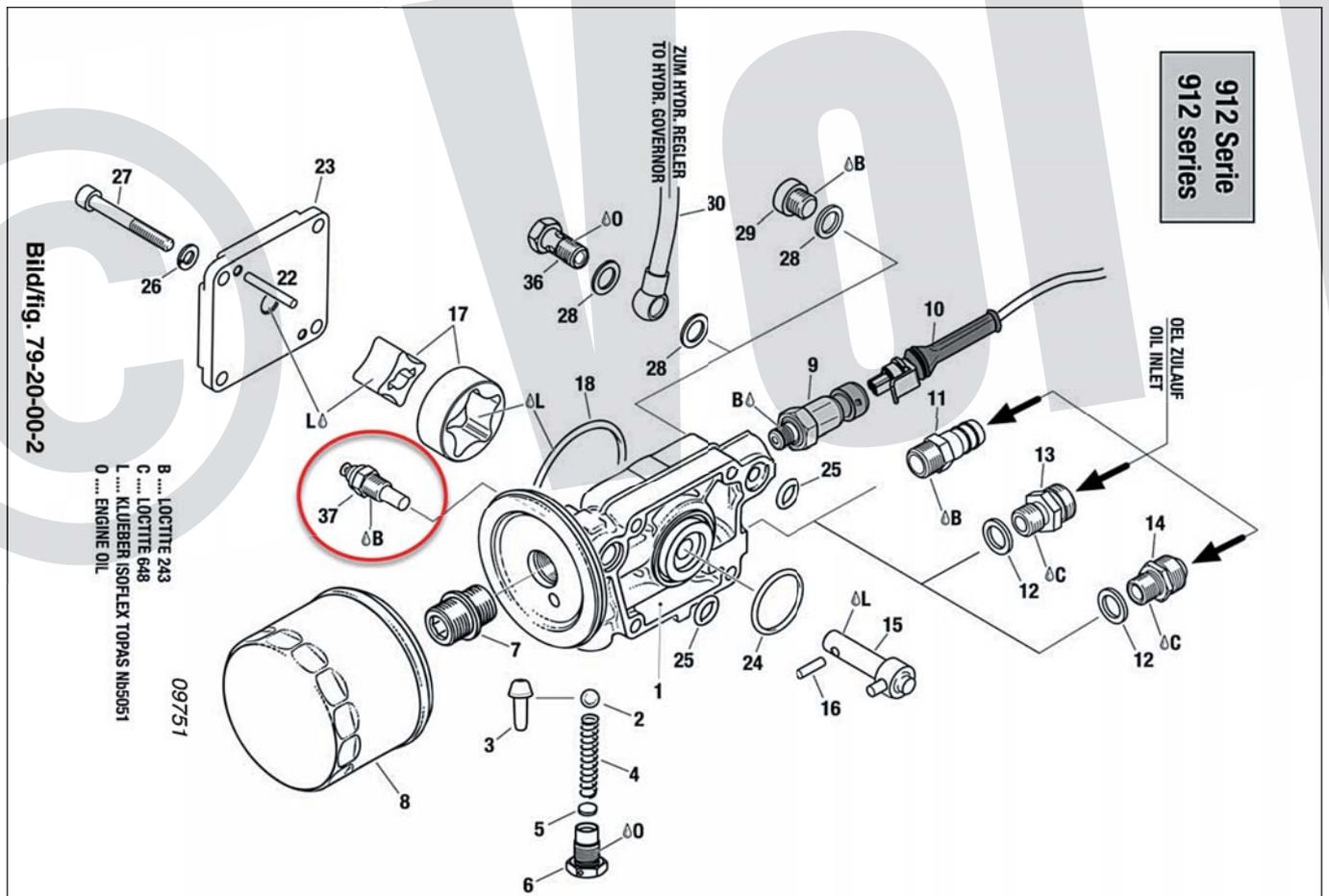
Les 2 premiers fluides, l'air et de l'eau (abréviation commune du liquide de refroidissement), sont utilisés par :

Le haut moteur

Une circulation de liquide dans les culasses qui sont moulées étanches afin d'éviter tout besoin d'étanchéité par assemblage composite (métal/joint/métal) ce qui évite d'avoir recours à un joint de culasse.

La circulation d'air (disponible à profusion s'il en est) autour des cylindres permet de maintenir leurs températures sans avoir recours à des chambres d'eau imposant des moulages complexes et des étanchéités d'assemblage composites (où l'on retrouve le sacro-saint joint de culasse!).

Si l'utilisation de l'air est évidente et la ressource inépuisable en aéronautique, elle présente des difficultés de management importantes,



pour la stabilité de son flux et la gestion de sa température, notamment lorsque l'aéronef est au sol ou dans des phases transitoires extrêmes (montée, descente) où il est difficile de le gérer.

L'utilisation d'un liquide de refroidissement a, pour elle, la facilité de gestion de son flux mais impose un circuit étanche et complexe contenant un liquide (ici 1,5 l de liquide de refroidissement hors volume des canalisations définis par le constructeur de l'aéronef (+-1 l)) mais dont le devis de poids n'est pas neutre (pompe, canalisations, radiateur, réservoir, liquide...) et la gestion de sa température « pointue ».

Les dangers: les températures de fusion qui sont toujours très proches et le delta de température sur une même pièce de très grande amplitude ce qui génère des contraintes de dilatation très importantes.

Le 3^e fluide: l'huile, est ici utilisée pour ses propriétés « secondaires ».

Le bas moteur

Les qualités de dispersion calorifique de l'huile sont moins connues et moins mises en avant que celles de sa fonction première, la lubrification, mais elles sont réelles et primordiales. Dans un système mécanique harmonieux, la température des pièces en mouvement croît avec la durée de fonctionnement, le régime et le couple exercés mais beaucoup moins vite que celle du haut moteur (vous l'avez remarqué lorsque vous chauffez, la température d'eau monte plus vite que celle de l'huile), elle est également plus stable, elle affiche des variations moins importantes et des maxima supérieurs, l'absence d'eau repoussant la T° d'ébullition (150° max).

Les dangers: des dilatations hors normes, des échauffements, le grippage mais également en cas de température trop basse des abrasions et des arrachements métalliques. La complexité supplémentaire est d'harmoniser les températures et de les stabiliser malgré les contraintes thermiques ambiantes subies par le moteur lors des montées et descentes en altitude.

J'arrête-là les généralités pour passer à la pratique.

Vous avez compris de ce qui précède que les actions à mener pour gérer, stabiliser et maintenir les températures sont d'autant plus différentes que les fluides sont différents.

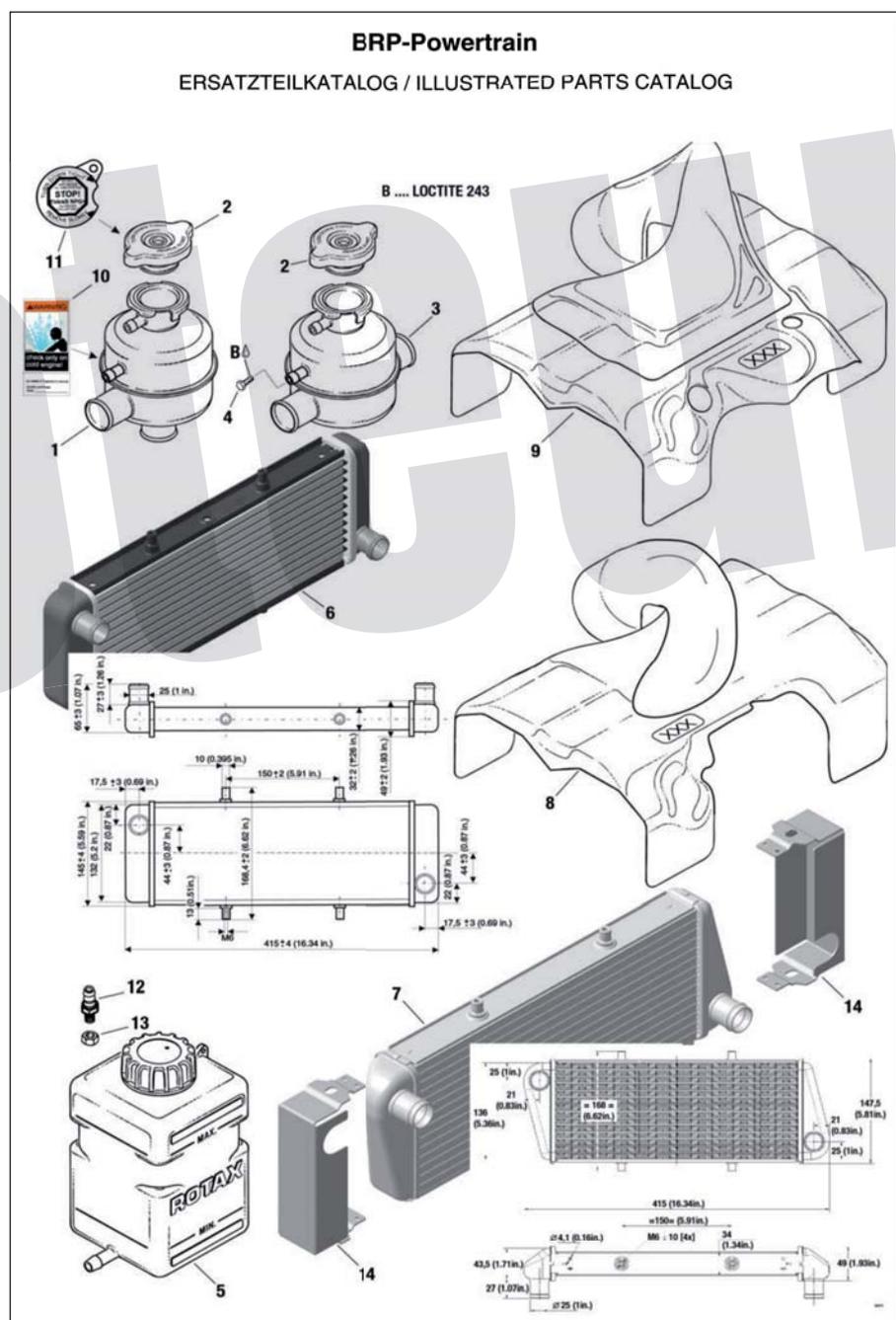
Chapitre 3 • l'air

Dans le cas du Rotax série 9--, et pour sa circulation autour du moteur, il existe deux solutions proposées par le motoriste.

Il est important de comprendre que Rotax laisse liberté au constructeur de l'aéronef de choisir les solutions techniques selon un cahier des charges (Installation Manual).

La circulation du flux d'air autour du moteur (et dans son compartiment) dépend des entrées et sorties d'air dessinées sur l'aéronef par son constructeur.

En cas de difficultés à faire pénétrer et circuler l'air naturellement autour du moteur ou dans son compartiment (flux perturbant l'aérodynamique des machines fines par exemple) Rotax a conçu des conduits munis d'une écope et d'un conduit qui permet de canaliser un flux d'air et de le diriger directement autour des cylindres ou pour permettre la dispersion calorifique. On retrouve des ailettes au travers desquelles l'air s'écoule, se réchauffe pour s'échapper par le dessous du moteur (**illustration ci-dessous**).





Certains constructeurs ont fait le choix d'équiper les entrées d'air par un volet. Ici, un Ikarus C42 équipé de la sorte...



**VOLET D'ENTRÉE D'AIR
ACTIONNABLE EN VOL
(belle réalisation d'amateur)**

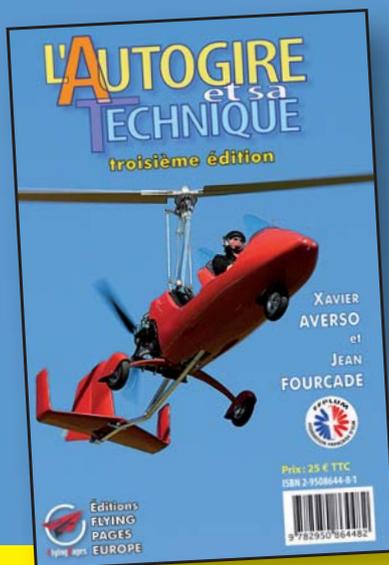


... Certains constructeurs amateurs ont également adaptés ce type de volet.

Il est important de comprendre que Rotax laisse liberté au constructeur de l'aéronef de choisir les solutions techniques selon un cahier des charges.

Il est très difficile d'intervenir ou de modifier les entrées d'air, et ce, pour une raison très importante, c'est que l'air circule (ah bon!), et donc, s'il y a lieu d'en modifier l'entrée, il est nécessaire d'en modifier également l'extraction. Or, cette dernière est directement liée au dessin de la machine, à sa vitesse et surtout à la dépression créée sous et le long de son fuselage où se produit l'extraction de l'air. En précisant que ni la température du moteur qui dépend des contraintes mécaniques qu'il subit et de sa charge de travail, ni les écoule-

ments autour de l'appareil ne sont constants en forces valeurs et pressions (montée, virage, descente, accélération, réduction...). Néanmoins, certains constructeurs utilisent des dispositifs destinés à gérer ce flux comme sur l'Ikarus C42 où le débit de l'air entrant par le conduit forcé dispose d'un volet commandé par le pilote qui module l'entrée de l'air vers le radiateur et dans le compartiment moteur, permettant de gérer l'élévation de la température globale dans l'ensemble du compartiment moteur (**illustrations ci-dessus**).



L'AUTOGIRE

et sa technique

Le manuel indispensable du pilote autogire

En vente sur www.flying-pages.com/shop_fr ou par tél 01 46 70 14 88

La tenue des paramètres, et notamment celle des températures, est primordiale pour la longévité du 912 (et dérivés).

Le fait de réduire les entrées d'air dynamiques dans le compartiment moteur a pour résultante d'élever la température par le rayonnement des pièces naturellement refroidies par ce flux d'air : les cylindres admettent jusqu'à 200 °C en fonctionnement.

Dans les phases de chauffe, si l'on réduit le volume d'air autour des cylindres, la température du métal s'élève très rapidement et se communique aux pièces contiguës et par rayonnement à l'ensemble du compartiment moteur favorisant la montée en T° du moteur. Attention aux régimes élevés où les frottements et les contraintes sont maximums sur les pièces mécaniques en mouvement. Leur T° s'élève, il sera alors nécessaire de rétablir la totalité du flux d'air initialement prévu. C'est en priorité sur cette source de production de chaleur que nous agissons avec les volets d'entrée d'air. Leur réglage est donc complexe. **À suivre...**



Christophe HUCHET
Formateur Technique
AFULM
LF3557
La Baillée sous Champ Fleury
35340 LIFFRE
www.afulm.fr
<https://www.facebook.com/rotaxserie9/>

Pour votre sécurité venez vous former à l'entretien et la maintenance de votre ROTAX série 9 -

www.afulm.fr



Dans le prochain numéro : l'huile, le liquide de refroidissement, les systèmes mixtes de refroidissement.

