



Contrails !

- [Articles](#)
- [Cellule](#)
- [Moteur](#)
- [Electricité](#)
- [Instruments](#)
- [Météo](#)
- [Lexique](#)
- [Biblio](#)
- [Liens](#)
- [FAQ](#)
- [Autres projets](#)
- [A propos](#)
- [Espace membres](#)

Rechercher





[Accueil](#) [Moteur](#) [Refroidissement](#) [Aérodynamique](#) [Radiateur](#)

Aérodynamique du radiateur



Photo GTH

L'art perdu des avionneurs

Les travaux d'ingénieurs sur le refroidissement des moteurs d'aviation se trouvent maintenant... dans les musées !

Depuis les années 50 les ingénieurs aéronautiques n'étudient plus le refroidissement des moteurs à piston...et ça se voit !
La science des anciens cède la place à une poignée de recettes, qui peu à peu se caricaturent. En observant les machines récentes, parfois on se demande ;-)

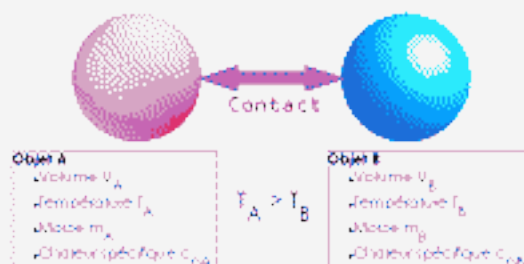
Les recherches se sont arrêtées dans les années 40.
Il y a des raisons : la traînée de refroidissement exorbitante des moteurs à explosion aux grandes vitesses en altitude a précipité, malgré sa consommation élevée, l'avènement du réacteur qui se passe presque totalement du refroidissement.

Les avions à piston ne représente plus qu'une infime proportion de la production.

Haut de page

Les bases

Transfert de chaleur



Doc Wikipedia

Refroidir un corps, c'est prendre une partie de sa chaleur et la transférer à un autre, qui alors se réchauffera. Dans le cas d'un moteur à explosion la chaleur née de la combustion dans les culasses et les cylindres traverse les parois métalliques. Elle se communique alors par conduction à un fluide caloporteur, air ou liquide chargé de l'emporter par convection loin du moteur vers l'environnement. Dans le cas du refroidissement par liquide, un fluide intermédiaire réchauffé par le moteur traverse les tubes d'un échangeur ou radiateur. C'est un courant d'air circulant entre ces tubes qui se charge alors du transfert vers l'atmosphère.

Radiateur dans le vent

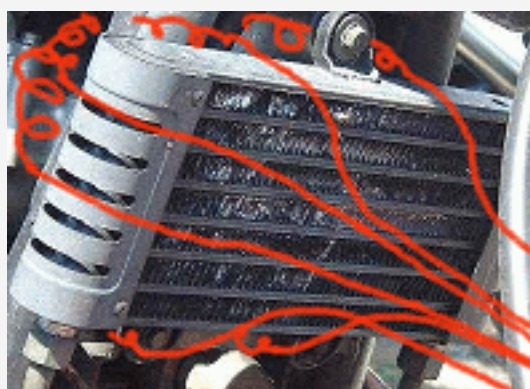
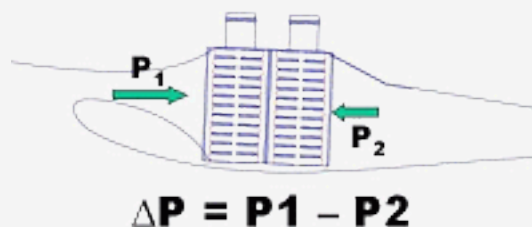


Photo GTH

On pense souvent à tort qu'en exposant directement un radiateur ou des cylindres dans le vent relatif on obtiendra un refroidissement efficace.

En fait moins du tiers de l'air arrivant face au radiateur traverse effectivement le faisceau. Le reste contourne l'obstacle non sans tourbillonner violemment. L'efficacité est quelconque et la traînée considérable.

Le delta P



Doc GTH

Pour refroidir, le radiateur doit être **traversé** par un courant d'air correspondant à un débit massique facile à calculer.

C'est la **différence de pression** entre les deux faces du faisceau qui oblige l'air à le traverser : le ΔP . Sans cette différence, pas de débit dans le faisceau, pas de refroidissement.

Il y a une contrepartie : ΔP implique pression **élevée** sur la face **avant**, pression **moindre** sur la face **arrière**. Conséquence, une force dirigée vers l'arrière, correspondant à une **traînée**.

Le coût du refroidissement

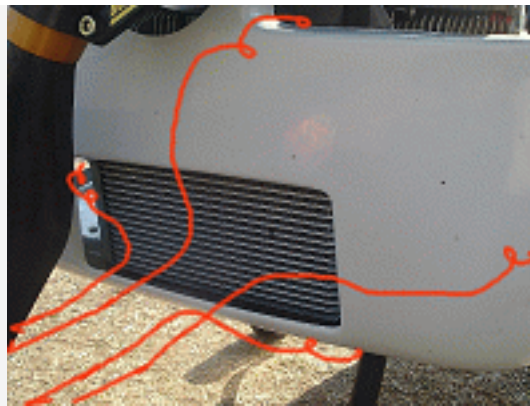


Photo GTH

Les mesures et les calculs montrent que le refroidissement est **indissociable** du **frottement** de l'air sur les parois du faisceau, et de la **différence de pression** entre les faces du radiateur.

On ne peut **refroidir** sans **traîner**. Tout l'art du concepteur/constructeur consiste à refroidir en ne payant que la traînée "obligatoire", en minimisant les traînées annexes.

On peut toujours parvenir à refroidir. Y parvenir au prix d'une traînée minimale est peu fréquent à l'heure actuelle. De nombreux constructeurs d'avions ou d'ULM cumulent traînée excessive et refroidissement insuffisant !

Les facteurs en jeu

En première approximation, l'**échange de chaleur** entre le faisceau ou le cylindre aileté et l'air est **proportionnel** à la **densité** de l'air, au **coefficient de frottement**, à la **vitesse** moyenne de l'air dans les ailettes (donc au débit volumique), et à la différence de température ΔT entre l'air et le cylindre ou le liquide dans le radiateur.

La **puissance** nécessaire au refroidissement est proportionnelle au **carré de la vitesse** dans les ailettes, et à l'**inverse** de la différence de température ΔT entre l'air et le faisceau ou le cylindre. Elle est indépendante de la densité de l'air.

Le refroidissement par **convection** n'est donc **économique** qu'aux vitesses **faibles**, avec des différences de températures aussi **élevées** que possible.

Ces résultats s'appliquent aussi bien aux **radiateurs** qu'au

refroidissement par air des **cylindres** ou des **culasses**.

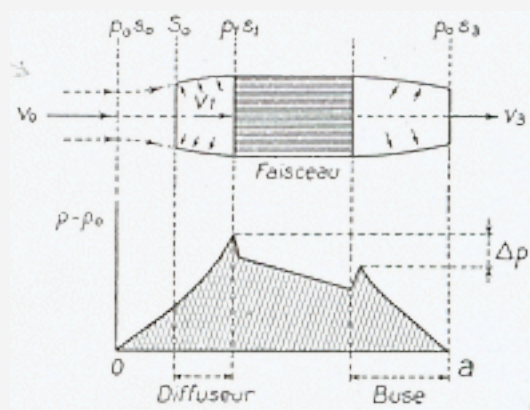
Minimiser la traînée

Pour diminuer la traînée interne il faut donc un faisceau de section suffisante (le débit), un courant d'air ralenti par rapport à la vitesse de l'avion, et assurer un delta T aussi important que possible. Il y a donc intérêt à tourner chaud, dans la limite de la résistance du moteur.

Haut de page

Le carénage

Rôle

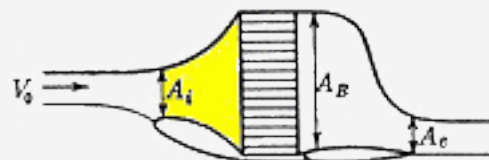


Doc Bréguet-Deville

Le rôle du carénage est d'accompagner l'abaissement de vitesse devant le radiateur, d'augmenter la pression statique nécessaire à vaincre la perte de charge du faisceau, et d'utiliser les pressions sur les parois interne et externe pour diminuer la traînée totale de l'ensemble.

On retrouve ces points dans tous les systèmes d'écoulement interne. La première tâche du concepteur dans ce but, est d'éviter tout décollement.

Le diffuseur

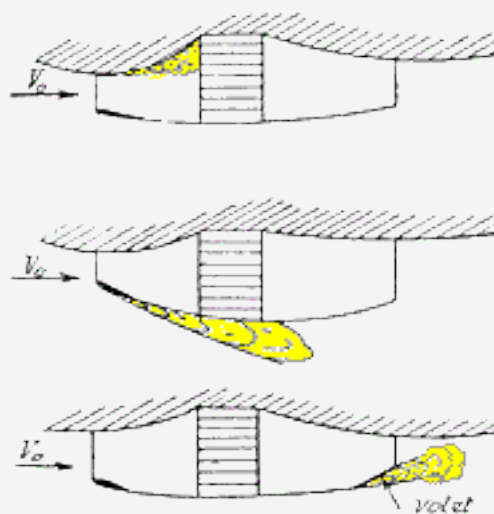


Radiateur avec son diffuseur

Doc Küchemann & Weber

C'est la partie la plus importante du carénage. Il comporte une partie divergente (surtout pas en entonnoir) destinée à ralentir l'écoulement sans provoquer de décollement. En raison de la loi de Bernoulli, un ralentissement sans décollement se traduit par une augmentation de la pression statique. La présence du radiateur derrière un diffuseur bien dessiné contribue à éloigner les décollements.

Le gain est double : la pression augmentée facilite la traversée du faisceau, et cette pression exercée sur les parois du divergent crée une force *vers l'avant*, s'opposant à la traînée du faisceau.



Doc Rebuffet

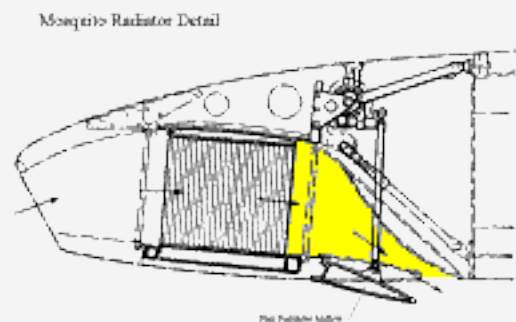
Le dessin externe du diffuseur est également important : l'air qui n'y pénètre pas le contourne. En l'absence de décollement, l'accélération autour de la lèvre et de l'avant du diffuseur génère une résultante orientée elle aussi vers l'avant.

On parvient ainsi à contrebalancer une grande partie de la traînée du bloc radiateur.

On montre que le rendement du diffuseur est primordial dans la réduction de la traînée d'ensemble. C'est donc la partie la plus

critique, et malheureusement souvent la plus bâclée par les constructeurs.

Le convergent



© Toronto Aerospace Museum

À la sortie du radiateur, la pression de l'air a diminué (perte de charge), et sa température a augmenté (donc également son volume). Une sortie **convergente** (buse) permet de réaccélérer l'air et par réaction de générer encore une **force vers l'avant**. Dans l'idéal, l'air expulsé doit l'être avec une vitesse aussi proche que possible de celle de l'écoulement général, en grandeur comme en direction.

Le dessin du convergent est moins critique, les décollements y sont beaucoup moins à craindre du fait de la détente de l'air.

Beaucoup de concepteurs "oublent" le convergent à la sortie du radiateur, gaspillant ainsi de l'énergie cinétique.

Le réglage du refroidissement



Photo GTH

Pour un refroidissement optimal, il est nécessaire de maintenir le débit massique, et donc d'augmenter la section de la veine alimentant le radiateur en montée, et de la réduire à grande vitesse.

Sur le papier, il serait nécessaire de modifier simultanément la section d'entrée en même temps que la section de sortie. En pratique on montre que si la section de l'entrée d'air atteint 30 à 50% de la section du bloc radiateur, le débit ne dépend plus que de la section de sortie. D'où le réglage par volet sur la sortie, qui permet de garder intacte la pression statique devant le radiateur. Si le dessin de l'entrée d'air est bien fait, il est possible d'**éviter tout décollement** interne ou externe.

[Haut de page](#)

Le radiateur

Faisceau en nid d'abeille



Photo GTH

Les radiateurs avaient à l'origine une matrice en **nid d'abeille** : un faisceau de tubes de cuivre évasés à leur extrémité et soudés à l'étain. L'air parcourt la longueur des tubes tandis que le liquide à refroidir circule autour.

Simple à fabriquer ce type de faisceau offre à l'air de refroidissement la **même surface d'échange** qu'au liquide.

Or pour un échange optimal, la surface léchée par l'air doit être beaucoup **plus importante** que celle offerte au liquide. Omniprésent dans les années 30, ce type de faisceau se rencontre encore dans les radiateurs d'huile des gros moteurs à pistons et des turbomachines.

Faisceau à lames d'eau



Photo GTH

Les radiateurs modernes ont un faisceau à **lames d'eau**. Le liquide de refroidissement circule dans des tubes d'aluminium aplatis, entretoisés par des ailettes soudées qui **accroissent la surface d'échange** avec l'air. Ce type de construction offre une bonne **tenue à la pression**. Les extrémités du faisceau comportent des boîtes à eau qui distribuent le liquide dans les différents tubes.

Küchemann (Cf bibliographie) montre que pour un transfert de chaleur optimal, le **Reynolds** dans les passages d'air doit être **faible**, le diamètre des passages réduit, et le faisceau **profond**. La rugosité des passages augmente la perte de charge dans le faisceau sans accroître le transfert de chaleur. Cependant, des ailettes judicieusement ondulées (dans le sens de l'écoulement) améliorent la convection. De même des ailettes fendues en **persiennes** créent autant de **points d'arrêts** qui "rafraîchissent" la couche limite et diminuent les Reynolds locaux.

On peut observer sur la photo des ailettes lisses et taillées en persiennes.

[Haut de page](#)

[Les recherches](#)

L'effet Meredith

C'est en 1935 que l'aérodynamicien anglais F.W.Meredith publia une note sur la possibilité d'obtenir une **poussée** grâce à l'apport de chaleur d'un radiateur de refroidissement.

Dans les mois suivants, les aérodynamiciens allemands, français et américains incorporaient ses données dans leurs études. L'**effet Meredith** était né.

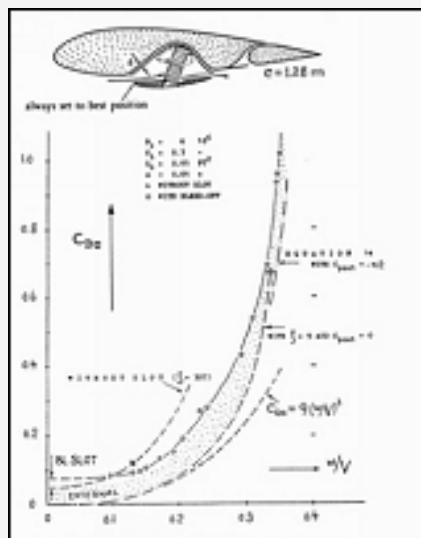
[Voir la suite](#) ▶

Les années 1935-1938

Au cours des années 35 à 38 les aérodynamiciens allemands établirent les grandes bases de l'aérodynamique des radiateurs. Les traductions de leurs travaux sont accessibles sur le site du NACA.

En France, Louis Bréguet et son ingénieur en chef René Devillers publient en 1938 une synthèse des connaissances de l'époque. De façon compréhensible, les travaux américains portent principalement sur le refroidissement par air : ils ne produisent qu'un moteur à refroidissement liquide opérationnel.

Des années 40 à aujourd'hui



© Hoerner

La seconde guerre mondiale voit fleurir de nombreux travaux sur les raffinements du refroidissement par liquide, sans guère de changement par rapport aux bases établies avant-guerre. Les aérodynamiciens du NACA corrigent le refroidissement d'un certain nombre d'appareils dont les concepteurs ont (déjà !) oublié les principes de base.

A partir de 1943, les recherches s'orientent vers l'aérodynamique des grandes vitesses et les réacteurs, la connaissance du refroidissement des moteurs à pistons commence à décliner.

Après la guerre, les aérodynamiciens allemands publient en anglais la somme de leurs travaux : Hoerner, Küchemann & Weber. Dans les années 60 à 80, Miley publie plusieurs études sur le refroidissement des moteurs d'avions légers, basées sur les connaissances des années 40. Ce sont les dernières études connues sur la question.

[Envoyer un message](#)

[Haut de page](#)

[Accueil](#)

[◀ Précédente](#)

© 2005-2006 Gilles Thesee



Dernière modification le
14-07-2006 à 12:01:30

