PAR MICHEL BARRY
Pilote professionnel, ingénieur aéronautique

# Sécurité

# Le givrage du carburateur

## Comment le prévenir ou rétablir la situation lorsqu'il survient en vol

**Tout pilote peut être amené à voler en conditions givrantes sans en avoir forcément conscience. D'où l'intérêt de savoir comment éviter que de la glace ne se forme dans votre carburateur et, si cela devait vous arriver, quelle utilisation faire du réchauffage-carbu avant qu'il ne soit trop tard et subir un arrêt moteur.**

Sous nos climats, été comme hiver, le givrage du carburateur guette les avions pendant une grande partie de leur temps en vol. Pour cette raison, les appareils certifiés sont tous équipés d'un dispositif qui permet de lutter efficacement contre une obstruction partielle ou totale de l'arrivée du carburant (essence) ou du comburant (air) due à la formation de glaçons. En général, dans la partie la plus étroite, donc la plus froide, du dispositif d'admission. Plutôt préventif que curatif, il doit être mis en œuvre d'une main experte par le pilote.

Les procédures du manuel de vol sont suffisamment confirmées pour voler en toute sécurité dans les atmosphères même très givrantes de nos latitudes. Cependant, quelques conditions exceptionnelles ou un oubli dans la procédure peuvent conduire le pilote à avoir recours d'urgence au « réchauffage-carbu » avec un minimum d'analyse de la situation.

De nombreux exemples d'accidents ou d'incidents montrent que les pilotes n'ont pas toujours compris :

• qu'ils volaient en conditions givrantes ;

• que le réchauffage-carburateur était exclusivement un dispositif à caractère préventif.

D'où la nécessité d'une information argumentée expliquant comment se forme le givre et comment l'éviter ou s'en débarrasser, s'il n'est pas trop tard, avant l'arrêt du moteur.

### A - Aspect théorique du givrage. Un peu de thermodynamique pour vous convaincre qu'on peut givrer même en été

#### 1- Chute de pression naturelle à la traversée du carburateur

Normalement, de son entrée par le filtre à air jusqu'à son passage dans le carburateur, la pression de l'air diminue :

• d'abord, à cause de l'effet venturi dans la buse : le débit d'air admis est constant et comme les sections de passage sont de plus en plus étroites, la vitesse dans le conduit d'admission augmente. Augmentation de vitesse entraîne diminution de pression ;

• ensuite, à cause des différents « accidents de tuyau » comme le papillon d'ajustage de la puissance. Car son rôle est précisément de faire chuter la pression d'admission pour diminuer le débit air + carburant.

Or, si l'on n'apporte pas de chaleur à un fluide dont la pression diminue, sa température diminue aussi. On parle de phénomène de « détente adiabatique » et l'on peut estimer l'ordre de grandeur de la chute de température si l'on connaît la chute de pression. Par exemple, si l'air se détend selon la loi adiabatique, de 30 pouces de mercure à 15 pouces de mercure en pression absolue, sa température absolue chute dans le rapport 0,82. Ainsi prélevé à 20°C (293K) il se refroidit jusqu'à – 33°C (240K). Perte de 53°C.

En réalité, le processus de détente dans un carburateur n'est pas rigoureusement adiabatique et la chute de température est moindre. Mais il n'est pas rare de constater des abaissements de température compris entre 15°C et 30°C ce qui laisse entrevoir de grandes probabilités pour qu'un air humide rencontre des conditions fortement givrantes à la traversée du carburateur. D'autant plus que la pulvérisation du carburant provoque son évaporation donc apporte sa petite contribution à la machine frigo que constitue la buse du carburateur…

#### 2 - Les rôles conjugués de l'humidité et de la température d'air extérieur (OAT)

En air parfaitement sec (hygrométrie relative nulle donc hygrométrie absolue nulle), chaud ou froid, le risque de provoquer une accrétion de glace à la traversée du carburateur n'existe théoriquement pas. Inversement, plus l'air est chargé en vapeur d'eau, plus les risques de givrage sont élevés. Or un air froid se sature plus facilement en vapeur d'eau qu'un air chaud. En conséquence, une certaine masse d'air chaud saturé (hygrométrie relative 100 %, hygrométrie absolue fonction de la température) contient davantage d'eau que la même masse d'air froid saturé. Si les conditions de givrages sont remplies (température négative dans le carburateur) l'air chaud apportera davantage de glace que l'air froid et le givrage sera plus sévère.

Et au-dessous de -15°C l'air même saturé (hygrométrie relative = 100 %) contient si peu d'eau dissoute qu'il n'y a pratiquement pas de risque de fort givrage !

| Température (degrés Celsius) | Quantité d'eau maximale contenue à saturation dans 1 m³ d'air sec (gramme/mètre cube d'air sec) |
|---|---|
| -15°C | 1,38 g/m³ |
| 0°C | 4,85 g/m³ |
| +30°C | 30,37 g/m³ |

## B - Aspect technique du givrage dans le carburateur

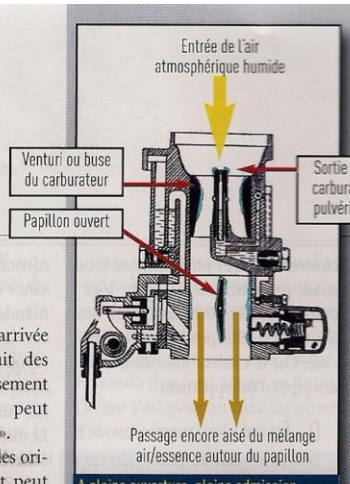
Souvent, l'obturation de l'arrivée du comburant (air) produit des troubles moteur par enrichissement excessif du mélange qui peut conduire à l'« extinction riche ».

Parfois aussi, l'obturation des orifices de sortie du carburant peut conduire à un arrêt brutal du moteur par manque de carburant : « extinction pauvre » *(exemple ci-dessous)*.

### BEA cas n°1

*« L'examen des différents circuits (air, électrique, carburant) ne montre aucune défaillance. L'échappement présente des traces blanchâtres qui traduisent la combustion d'un mélange pauvre en carburant.*

*Le pilote explique qu'il a effectué les actions avant décollage, notamment les essais de réchauffage du carburateur. Il n'a pas actionné le réchauffage du carburateur lorsque le régime du moteur a diminué en vol. Il a de plus préféré s'écarter de la zone densément peuplée qu'il survolait plutôt que de persévérer pour redémarrer le moteur. Les conditions météorologiques du jour étaient propices à un givrage sévère du carburateur, quelle que soit la puissance délivrée par le moteur. »*

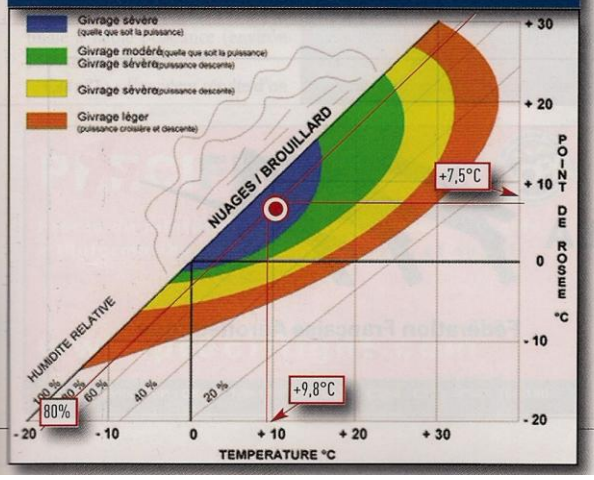



**A pleine ouverture, pleine admission, papillon ouvert, par exemple au décollage.** Même si l'air est humide et se détend à des températures inférieures à 0°C, les dépôts de glace sont peu gênants pour l'arrivée du mélange air/essence dans le moteur. Peu ou pas de surfaces perpendiculaires à l'écoulement, donc pas de prise pour l'accrochage de la glace. Seules de sévères conditions de givrage peuvent conduire à un arrêt moteur.

**A ouverture intermédiaire, par exemple en croisière ou en descente.** Le papillon est l'organe d'ajustage de la puissance. En croisière ou en descente il est faiblement ouvert. Le faible passage entre lui et les parois du cylindre dans lequel il pivote est très vulnérable à la formation de glace. D'autant plus que le givre ou la glace s'accumulent facilement sur les obstacles. Risque d'arrêt moteur par manque d'air.

**FIGURE 1 : Schéma du processus de givrage sur un carburateur vertical**
Sur cette coupe d'un classique carburateur d'avion (Doc. Solex) on distingue, recouvertes en bleu, les zones les plus concernées par le givrage. La buse laisse en général un passage suffisant pour que le moteur ne cale pas. En revanche, la diminution de son diamètre le plus étroit (col) augmente encore la dépression et peut conduire à une plus forte aspiration de l'essence. La richesse du mélange sera augmentée, phénomène qui s'observe souvent avant un arrêt complet dû au givrage : fonctionnement irrégulier du moteur, fumées, bougies noires... Mais au voisinage du papillon le risque d'obstruction totale est beaucoup plus probable.

**FIGURE 2 : Diagramme de risque de givrage du carburateur d'avion (appliqué au cas n°1 du BEA)**
Le report des températures (température extérieure 9,8°C ; point de rosée 7,5°C) permet de conclure à une hygrométrie relative de 80 % sur le classique diagramme de « Sévérité du givrage ». Il montre que dans l'exemple n°1 du BEA, on pouvait prévoir un givrage sévère (centre de la zone bleue) et ce, quelle que soit la puissance délivrée par le moteur. D'où l'obligation de voler avec le réchauffage-carbu tiré dès la montée quand on rencontre de telles conditions.




## C – Le dispositif de réchauffage de l'air du carburateur

Il obéit aux exigences de la certification de l'appareil.

Exemple : performances et caractéristiques du dispositif de réchauffage pour un appareil certifié en CS VLA (ex-JAR VLA)

**523-VLA.1093 Protection du système d'admission contre le givrage**

Le système d'admission d'air d'un moteur à pistons doit comporter des moyens pour empêcher et éliminer la formation de givre. A moins que cela ne soit réalisé par d'autres moyens, il doit être montré qu'en air sans condensation visible à une température de -1°C :

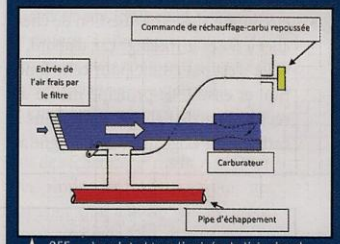
(1) JAR : Au niveau de la mer, tout avion équipé de moteurs utilisant des carburateurs classiques à venturi a un préchauffeur qui peut fournir une élévation de température de 32°C, lorsque les moteurs fonctionnent à 75% de leur puissance maximale continue ;

(2) JAR : En altitude, tout avion équipé de moteur utilisant des carburateurs classiques à venturi a un préchauffeur qui peut fournir une élévation de température de 50°C, lorsque les moteurs fonctionnent à 75% de leur puissance maximale continue ;

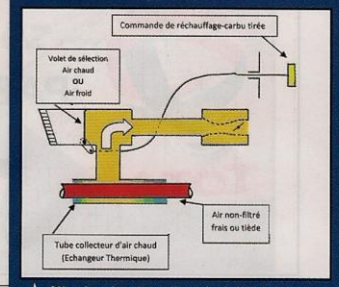
(3) JAR : En altitude, tout avion équipé de moteur utilisant des carburateurs tendant à empêcher la formation de givre a un préchauffeur qui, lorsque les moteurs fonctionnent à 60% de la puissance maximale continue, peut fournir une élévation de température de 38°C.

Pour les moteurs refroidis par air, à aspiration atmosphérique et munis d'un carburateur, le dispositif de réchauffage, conforme aux exigences ci-dessus, peut être schématisé par les dessins de la figure 3 ci-dessous.

**FIGURE 3 : Fonctionnement schématique du réchauffage-carburateur**
Une boîte de distribution « tout ou rien », assure une fonction exclusivement « OU » permettant au carburateur de recevoir OU de l'air froid OU de l'air chaud. Pas de position intermédiaire possible




« OFF » : le volet obture l'arrivée de l'air chaud. L'air frais traverse le filtre avant d'entrer dans le carburateur.




«ON» : le volet obture l'arrivée de l'air frais. Le carburateur aspire un air qui s'est réchauffé au contact de la pipe d'échappement

A noter que sur «ON», le carburateur aspire de l'air non filtré, celui qui règne sous le capot autour des pipes d'échappement. En vol, aucun risque en principe d'endommager le moteur car le réchauffage-carburateur est censé fonctionner loin des poussières et autres brins d'herbe. De plus, cette aspiration sans passage par un filtre susceptible de se colmater (paquets d'herbes, sacs plastiques, neige abondante, givrage de filtre…) est une alternative intéressante à essayer pour le pilote qui identifierait à temps l'origine d'une baisse de régime d'origine inconnue. Tout comme le dispositif «Alternate Air» des moteurs à injection.

Seule précaution liée à l'air non filtré: éviter d'utiliser le réchauffage-carbu au roulage sauf si des signes évidents de givrage se manifestent. Dans un tel cas, et si le METAR confirmait des risques de givrage sévère, il serait toujours temps de renoncer au vol…

A noter que le volet de distribution (air chaud ou air froid) fonctionne en tout OU rien et doit impérativement être utilisé ainsi. Pas question de chercher à doser le mélange car, d'abord, le volet n'est pas étudié pour cette fonction et ensuite le principe même du réchauffage de l'air qui entre dans le carburateur exige que l'on s'éloigne au maximum, soit par le «très chaud» soit par le «très froid», des températures tièdes favorables au givrage du carburateur.

**FIGURE 4 : Indicateur de température dans le carburateur**
La plage en jaune correspond à un risque de givrage. Le pilote doit ajuster le réchauffage-carbu de façon à ce que l'aiguille reste en dehors de la zone jaune. Elle est définie précisément en fonction de chaque avion.

Seule exception à cette règle : Si le carburateur est muni d'une sonde de température et d'un indicateur de température-carburateur en cabine (*figure 4*), donc si vous ne travaillez pas en aveugle, vous pouvez ajuster le mélange air chaud/air froid car la boîte de distribution est dans ce cas un mélangeur plus ou moins proportionnel.

De toute façon, renseignez-vous dès qu'une installation n'est plus standard !

Comme les performances et caractéristiques du dispositif de réchauffage de l'air du carburateur obéissent à des exigences qui ont été vérifiées lors de la certification de l'appareil, vous pouvez et vous devez utiliser le réchauffage-carbu, sans vous poser de questions sur ses limitations. En revanche, sur les appareils non certifiés, les exigences ne sont pas toujours au rendez-vous. Ainsi, vous pouvez : soit courir des risques de givrage et d'arrêt moteur si le dispositif n'est pas assez efficace, soit réchauffer excessivement l'air et rencontrer d'autres phénomènes tout aussi préjudiciables (vapor lock, détonation, endommagement des joints…) si le dispositif est trop efficace. Car la chaleur abonde autour des pipes d'échappement.

## D - En vol

Les ennuis dus au givrage du carburateur se présentent toujours sous la même forme : une perte de puissance ou une baisse de régime alors que le pilote ne soupçonne pas «qu'il peut givrer».

Quelques conclusions du BEA le montrent :

**Cas n°2 :** «L'appareil est en croisière vers 3 300 pieds, après environ 30 minutes de vol, le pilote perçoit des ratés moteur et pense à un givrage carburateur. Il actionne le réchauffage-carburateur, ce qui reste sans effet, il envisage alors un problème d'alimentation carburant. Il met en marche la pompe électrique, sélectionne le réservoir gauche mais le moteur s'arrête. Il effectue alors un atterrissage en campagne au cours duquel le train avant se rompt et l'hélice est endommagée.

L'analyse de la situation météorologique indique que les conditions d'un givrage carburateur étaient réunies.»

**Cas n°3 :** «Après deux heures quinze de vol, en croisière à 3 000 pieds QNH, à environ 5 Nm de l'aérodrome de destination, le pilote constate une baisse rapide de puissance moteur. Il met alors la commande de réchauffage-carburateur sur la position «chaud», puis la repousse rapidement. Il effectue des allers-retours de plein réduit à plein gaz sur la commande de puissance. Le moteur cale et le pilote effectue un atterrissage en campagne. En fin de roulement, l'appareil passe sur le dos.

L'examen du moteur ne montre aucune anomalie.

La figure 2 indique que l'avion évoluait dans une zone où le givrage était modéré à sérieux au régime de croisière.»

**Cas n°4 :** «Au cours d'un vol d'instruction, à 2000 pieds, l'élève débute un exercice de simulation de panne moteur à la verticale de l'aérodrome de Pontoise. La puissance est réduite. Pendant la descente, l'instructeur rappelle à l'élève les actions à effectuer pour la réalisation de cet exercice, notamment la mise en service de la pompe électrique et du réchauffage-carburateur. En fin de trajectoire, l'avion est trop bas et ne peut rejoindre la piste. L'instructeur reprend les commandes et tente d'augmenter la puissance sans y parvenir. Sûr de ne pouvoir atteindre la piste, en finale, il choisit d'atterrir devant lui face au vent, dans un champ de blé dont les sillons sont dans l'axe d'atterrissage.

Aucune anomalie moteur n'a été décelée au sol, le moteur a été remis

en fonctionnement sans difficulté après l'événement. La commande du réchauffage-carburateur a été actionnée trop tardivement.»

**Cas n°5** : «En croisière à 2 500 pieds, volant juste au-dessous de la base des nuages, le pilote constate une diminution progressive de la puissance du moteur. Il actionne sans succès le réchauffage-carburateur mais ne récupère pas de puissance. Il vérifie le fonctionnement des magnétos et change de réservoir sans plus de résultat. Il décide alors d'atterrir dans un champ. En finale, le moteur commence à retrouver de la puissance. Le pilote pose l'avion sans dommage.

Au sol, les vérifications et les essais effectués ne révèlent aucune anomalie. Après autorisation de l'aviation civile, un pilote professionnel assure le décollage.

La courbe de risque de givrage carburateur (*figure 2*) indique que, compte tenu des conditions dans la zone, le risque de givrage du carburateur en croisière était important.

La mise en œuvre du réchauffage-carburateur après l'apparition des premiers symptômes n'a pas permis de résoudre assez tôt le problème car son action est essentiellement préventive.»

**Cas n°6** : «L'avion est équipé d'un moteur Limbach de 80 chevaux ne disposant pas de dispositif de réchauffage du carburateur.

Le pilote a indiqué avoir effectué la finale à faible puissance (environ 1 500 tours par minute).»

**Cas n°7** : « L'accident résulte d'un givrage du carburateur alors que l'avion volait en croisière. Le pilote n'a pas identifié ce phénomène. La puissance du moteur diminuant, un atterrissage d'urgence a été réalisé. En raison d'un vent arrière en finale, l'avion s'est posé au-delà du point d'aboutissement choisi.»

## E – Se rappeler les classiques recommandations

**• D'abord prévenir le givrage du carburateur**

• Au sol, vérifiez la commande du réchauffage-carburateur. Trop libre, elle peut être déconnectée, trop dure elle peut être inopérante. Habituez-vous à la course de la tirette afin de pouvoir détecter toute anomalie. En cas de doute, ne partez pas, même en conditions atmosphériques clémentes.

• Au sol, puis en vol, prenez la mesure du risque de givrage tout le long de votre route afin de déterminer quand vous aurez besoin du réchauffage-carburateur en vol. Température de rosée et température extérieure données par une station au sol et OAT dans l'avion vous indiquent l'hygrométrie et le risque encouru. Soit sur le diagramme de la figure 2 :

**Zone hors des couleurs :** réchauffage-carbu seulement avant toute réduction en descente. Pensez à le mettre «ON» quelques minutes avant de réduire car moteur réduit la pipe d'échappement n'est pas assez chaude pour débuter un éventuel dégivrage.

**Zones orange, jaune, vert :** surveillance du givrage notamment en croisière et en descente. Réchauffage fortement recommandé sauf en montée.

**Zone bleue :** réchauffage en permanence sauf au décollage.

Cas particulier des temps très froids (au-dessous de -5°C) : Certains constructeurs recommandent d'utiliser le réchauffage-carburateur en permanence. Rien à voir avec le givrage mais une façon de corriger une carburation trop pauvre car l'air froid est trop dense pour le réglage de la plupart des carburateurs même à pleine richesse.

**Au-dessous de -15°C :** il y a peu de chance que le givre s'accroche dans le carburateur. Réchauffer l'air ne pourrait que faire fondre temporairement les cristaux dans l'entrée. En se resolidifiant ils deviendraient de sérieux candidats à la formation de glace…

• Pendant les vérifications avant décollage, on contrôle l'efficacité du réchauffage-carburateur : en l'activant, le moteur tournant autour de 1 800 tr/mn doit perdre 100 à 200 tr/min. Cela correspond à l'arrivée d'air plus chaud ce qui enrichit le mélange et provoque la petite baisse de régime.

**• Ensuite guérir, s'il n'est pas trop tard**

Dès qu'on vole en «atmosphère à tendance givrante» il est prudent d'évaluer en permanence la sévérité du givrage qui peut affecter le carburateur. En cas de fort doute, on tire le réchauffage-carbu «ON» en permanence et on surveille la puissance.

Mais si les conditions givrantes sont moyennement sévères, on ne doit pas garder le réchauffage-carbu «ON». Dans ce cas, on vole réchauffage-carbu «OFF» et on procède régulièrement au test suivant : alors qu'il est repoussé, on tire le réchauffage-carbu «ON»

- Si le moteur perd 100 à 200 tr/mn (comme aux essais avant décollage) et reprend des tours dès qu'on repousse : le réchauffage-carbu n'est pas nécessaire pour l'instant.
- Si le moteur prend des tours tout en cafouillant, on vient de faire fondre un givrage naissant dont l'ingestion produit les irrégularités de fonctionnement. Dans ce cas, on garde le réchauffage «ON» jusqu'à la fin du vol.

Si on identifie un début de givrage par une baisse importante du régime, un fonctionnement irrégulier du moteur, des vibrations… on tire immédiatement la commande et on n'y touche plus. Ne pas la repousser comme dans le cas n°3 du BEA ! On s'efforce alors de garder la puissance le plus longtemps possible en mettant plein gaz. Ainsi on peut espérer libérer le papillon en train de se couvrir probablement de glace, garder les échappements chauds et aspirer davantage d'air chaud.

Enfin, voler en conditions «risque de givrage carburateur» sans dispositif de réchauffage (*cas BEA n°6*) est très imprudent même pour un appareil qui n'avait jamais givré auparavant.●