par **MICHEL BARRY,**
pilote professionnel,
ingénieur aéronautique.

Les dangers spécifiques du **brouillard**

Le brouillard ne devrait pas provoquer d'accidents ou d'incidents pour les vols en régime VFR. Quand il y a du brouillard, on ne vole pas ! Pourtant...

La réalité est plus nuancée car le brouillard (visibilité inférieure à 1000 mètres) qui a provoqué des accidents, bien qu'annoncé par les documents météo, n'était pas toujours prévu par le pilote. Soit le phénomène était imprévisible à l'heure et à l'endroit où il a été rencontré, soit le pilote n'a pas analysé correctement son dossier météo. La variété des situations dangereuses est illustrée par les sept accidents évoqués ci-dessous. On y trouve des imprudents et des insouciants, mais aussi des pilotes qui ont affronté des situations piégeuses ! Trois de ces accidents ont déjà servi de supports dans nos lignes, illustrant d'autres thèmes comme le manque de préparation du vol et l'objectif-destination. Cumul de fautes qui montre bien comment la plupart du temps un accident est la conséquence de plusieurs causes techniques et surtout humaines indépendantes. Et une nouvelle fois nous constatons que globalement l'accident est souvent le résultat d'un comportement peu rigoureux.

A. Accidents dans lesquels le brouillard a soit joué un rôle essentiel, soit aggravé une situation dans laquelle la sécurité était déjà bien compromise

Cas #1. Un Cessna F 172, piloté par un pilote stagiaire, décolle vers une zone de brouillard

Voir liens #1 sur notre site

Le rapport du BEA fait clairement apparaître un malentendu entre le stagiaire et son instructeur. En effet, bien qu'en possession d'un dossier météorologique complet qui mentionnait la présence de brouillard, le stagiaire n'en a pas mesuré toute la dangerosité. Se pose alors la question de savoir à quel moment, au cours de sa formation, un pilote est déclaré apte à décider, sans l'avis de son instructeur, si les conditions météo sont oui ou non réunies pour que le vol puisse être envisagé. Une hypothèse encore plus grave est mentionnée : elle signale une possibilité d'ambiguïté sur la prévision de la composition de l'équipage telle que décidée en briefing la veille pour le premier vol de l'élève sur la campagne. Elève seul ou accompagné de son instructeur ? Fondée ou non cette éventualité montre à quel point notre langage doit être précis, voire surabondant quand il s'agit de sécurité. Il est tout à fait concevable d'imaginer que ce stagiaire soucieux de respecter une échéance pour son examen pratique ait quelque peu interprété l'avis de son instructeur qui de son côté n'envisageait pas le vol en solo par des conditions aussi piégeuses. Et concernant le brouillard, l'accident montre son aspect imprévisible pour qui n'aurait pas cherché à prévoir sa présence dans la zone. Or la proximité des températures ***Temp. ext/Temp. point de rosée*** des METAR de Dôle, Mâcon et Ambérieu séparées de 1 à 2° et l'observation d'une mince bande de brouillard, montraient clairement la grande probabilité de trouver du brouillard sur toute la route suivie ce jour-là.

Cas	Date	Appareil	Circonstances	Conséquences
1	17/12/2007	F 172 M	Vol solo malgré un risque connu de brouillard sur la route	Pilote décédé
2	14/02/2008	MCR 4S	Obstination à atteindre sa destination malgré une prévision de brouillard	Pilote gravement blessé
3	20/05/2008	PA 28	Obstination à atteindre sa destination malgré du brouillard sur les reliefs	Pilote et 1 passager décédés
4	7/12/2009	DR 400	Formation rapide de brouillard. qui bien que prévue « possible » n'a pas dissuadé le pilote	Pilote décédé
5	22/11/2014	GY 80	Le pilote traverse une couche en descente et percute le sol dans le brouillard	Pilote et 1 passager décédés. 1 passager blessé
6	18/02/2015	DR 400	Le pilote traverse une couche en descente et percute le sol dans le brouillard	Pilote et 1 passager décédés
7	21/02/2015	DR 400	Demi-tour tardif face au brouillard	Pilote et un passager blessés

Exemples BEA
Retrouvez désormais tous les liens des exemples des rapports du BEA de cet article sur le site www.info-pilote.fr, rubrique sécurité.

Figure 1. Les bancs de brouillard qui remplissent les vallées avec les anticyclones d'hiver peuvent être survolés sans danger quand ils sont bien localisés et peu étendus. Mais hors de question de s'en approcher ou de prévoir une arrivée sur un aérodrome qui serait concerné.

Cas #2. Un MCR 4S piloté par son propriétaire se laisse piéger par le brouillard

Voir liens #2 sur notre site

Le pilote s'est imposé des obligations. Il n'a pas tenu compte des informations météo disponibles (METAR, cartes TEMSI), ou n'a pas suffisamment préparé son voyage entre Dinard et Pontoise. La lecture des METARs de la région, de la carte TEMSI et des températures à Pontoise (03/02) et à Beauvais (01/01) ne laissait subsister aucun doute sur les chances de parvenir à destination à Pontoise sans trouver du brouillard. Le pilote avait fait le voyage inverse à l'aller et le mauvais temps qu'il avait probablement rencontré lui avait laissé la possibilité de passer. Mais le brouillard du retour ne lui a octroyé aucune chance, même et surtout en descendant très bas.

Cas #3. Un PA 28 est convoyé de Romorantin vers Marseille. Il percute une colline dans le brouillard

Voir liens #3 sur notre site

Le pilote un peu égaré et non conscient de sa faible hauteur rentre dans la couche. Il espère sans doute recouvrer progressivement la vue du sol alors qu'il vole à environ 3 400 ft. Mais il percute le relief à 2 630 ft. Un plafond même simplement bas lui aurait peut-être permis de retrouver la vue du sol. Mais les stratus dont il n'a pas su interpréter le niveau de risque étaient pourtant bien prévus par les messages d'observation des stations de sa route et notamment celle de Clermont-Ferrand. En région montagneuse, les nuages bas s'accrochent au relief et s'apparentent au brouillard.

Cas #4. Un DR400, alors en vol local dans une zone compatible avec le VFR, entre dans le brouillard à faible hauteur. Le pilote perd le contrôle et percute le sol

Voir liens #4 sur notre site

Certains brouillards (voir ci-dessous) se forment très rapidement. Ils peuvent alors contaminer une zone vers laquelle vous vous dirigez ou même vous emprisonner alors que vous volez dans une zone parfaitement compatible avec le VFR. Ils peuvent également apparaître rapidement sous forme de bancs de brouillard épais et denses (300 à 400 m de visibilité) qui, accrochés au sol, empêchent de descendre. Dans de telles zones, en effet, il est impossible de retrouver la vue du sol avant que les brouillards se dissipent, ce que ne permet pas en général, même par beau temps, le rayonnement solaire du mois de décembre sous nos latitudes. La seule solution immédiate est de monter afin de retrouver des couches où le brouillard ne s'est pas encore formé. Tant qu'on reste en régime VFR on peut espérer trouver une solution pour le retour au sol vers un aérodrome praticable. La solution a été proposée au pilote par Seine Info. Mais ce dernier n'a pas eu la capacité de collaborer, tant le maintien de son appareil dans un environnement aussi stressant devait être compliqué pour lui. A noter tout l'intérêt des cartes TEMSI qui présentent une vue globale de la situation. Celle du jour de l'accident indiquait la possibilité de brouillards locaux alors qu'un seul METAR mentionnant une visibilité de 8 000 m et quelques nuages à 2 200 ft à Melun n'était pas représentatif. Se souvenir que le brouillard est un phénomène local.

Cas #5.Le pilote d'un Gardan GY 80 traverse une couche en descente. Il ne retrouve pas la vue du sol et perd le contrôle dans une manœuvre au cours de laquelle une demi-aile se détache

Voir liens #5 sur notre site

Cet accident avait déjà fait l'objet d'une analyse dans notre numéro 717 de décembre 2015, vue sous l'angle de « l'objectif destination ». Ce mois-ci, il illustre le manque de crédit apporté aux TAFs de la route, TAFs qui ne laissaient aucun doute quant à la probabilité soit de rencontrer du brouillard sous la couche, soit de trouver une couche à très basse hauteur sans risque de percuter le sol. La dislocation de l'appareil en vol montre aussi une probable durée du vol en IMC bien plus longue que la descente à travers une couche morcelée et au-dessous de laquelle on peut continuer à voler en VMC. Poursuivre une telle descente en aveugle alors que l'IMC se prolonge anormalement est bien plus dangereux en cas de brouillard au sol que de remonter au-dessus de la couche afin de chercher une solution plus experte avec le contrôleur.

Compte-tenu des observations des témoins qui ont vu passer l'avion dans le brouillard, la température extérieure et la température du point de rosée relevées dans les METARs de la zone devaient être suffisamment proches et auraient dû alerter le pilote.

Cas #6. Le pilote d'un DR400 se laisse enfermer en montant, entre la couche nuageuse et le relief

Voir liens #6 sur notre site

Accident déjà rapporté en décembre 2015 (*IP* n°717).

Même remarque que dans le cas précédent. Les observations au sol (Lyon, Saint-Etienne) montrent toutes un écart de température, entre température au sol et température du point de rosée, de l'ordre de 4 à 5°. S'élever de 2 500 à 3 800 ft provoquera immanquablement un refroidissement de la masse d'air de l'ordre de 3 à 4° qui fera se rapprocher dangereusement les deux températures. En plus de la couverture nuageuse propre au relief, le risque de rencontrer du brouillard était grand pour qui aurait analysé correctement l'ensemble des données météo.

Cas #7. Le pilote d'un DR400 tente de faire demi-tour face au brouillard, à 2 000 ft près du relief. Mais trop tard pour garder la vue du sol et éviter la collision avec les arbres

Voir liens #7 sur notre site

Accident déjà rapporté en décembre 2015 (*IP* n°717).

Des informations données par Météo France estimaient un taux d'humidité de 90 %, très propice à la formation de brouillard. La carte TEMSI indiquait un plafond de stratus entre 500 et 2 000 ft et une visibilité hors des nuages pouvant se réduire à 1,5 km. Le METAR de Clermont-Ferrand donne 05/01, respectivement pour la température au sol et la température du point de rosée. Rencontrer du brouillard vers 3 000 ft n'aurait pas dû être une surprise.

B. Une meilleure connaissance du phénomène de brouillard pour mieux s'en méfier

1 Aspect thermodynamique du processus de formation ou de dissipation

Un kilogramme d'air sec peut seulement contenir une quantité finie d'eau sous forme de vapeur invisible, transparente. Avec 100 km de visibilité, votre regard traverse 100 km d'air humide, mais non saturé, sans aucune difficulté. Mais au-dessus d'une quantité critique de quelques grammes, l'air est dit « saturé en eau » et il la rejette sous forme de gouttes (pluie) ou de fines gouttelettes (brouillard) (tableau, figure 2).

Le tableau permet de comprendre comment les deux paramètres, masse d'eau par kilogramme d'air (hygrométrie absolue) et température influent sur la formation du brouillard. Par exemple :

- **Figure 3, A** : lors d'un refroidissement. De l'air à 15 °C contient 8 g d'eau sans être saturé. S'il se refroidit à 5 °C, l'eau se condense et peut former du brouillard (à 5 °C, masse maxi sans saturer : 5,4 g, donc 2,6 g en trop) ;
- **Figure 3, B** : lors d'une humidification à température constante

Température de l'air (°C)	-10°	-5°	0	+5°	+10°	+15°	+20°	+25°	+30°
Masse d'eau provoquant la saturation de 1 kg d'air (g/kg)	1,6	2,5	3,8	5,4	7,6	10,6	14,7	20,1	27,2
Masse d'eau provoquant la saturation de 1 m3 d'air (g/m3)	2	3	4,5	6,5	9,5	13	17	23,5	30

Figure 2. Températures et masses d'eau provoquant la saturation d'un kilogramme d'air sec ou d'un mètre-cube d'air pris dans les conditions standard.

(arrivée d'une masse d'air maritime par exemple). Un air à 25°C, 14 g d'eau non saturé, est humidifié par 11 g d'eau soit 25 g au total. Il serait déjà saturé à 20,1 g (point de rosée). Il ne peut contenir l'eau en excès et la libère sous forme de brouillard.

2 Le point de rosée, l'hygrométrie relative

Un moyen pratique d'informer le pilote du risque de rencontrer du brouillard dans la zone est de lui indiquer à quelle température (température du point de rosée) l'air se saturerait en eau et donc formerait du brouillard.

Dans l'exemple A ci-dessous (15 °C, 8 g d'eau par kg d'air sec), le tableau montre qu'à 15 °C il faut 10,6 g pour saturer l'air. La température du point de rosée, ou plus simplement *« Point de rosée »*, serait donc comprise entre 15 °C et 10 °C. Voir **figure 3 A** où on peut lire environ 11 °C pour le point de rosée sur la courbe de saturation.

Le METAR contiendrait l'information suivante : 15/11 et il y aurait lieu de s'inquiéter de toute baisse de température extérieure qui se rapprocherait de 11 °C. A noter que la notion de point de rosée permettrait seulement d'anticiper les risques de brouillard à hygrométrie absolue constante. Mais si l'on est proche de la température de rosée on est également à la merci d'une légère humidification. D'où l'intérêt et la simplicité pour le pilote de la notion de point de rosée.

On appelle hygrométrie relative le pourcentage entre la masse d'air contenue dans un certain volume d'eau et la masse d'air nécessaire à sa saturation.

Dans l'exemple B, avant humidification, l'air contient 14 g d'eau par kilogramme. Sachant qu'à 20,1 g il est saturé, avec 14 g son hygrométrie relative vaut 14/20,1 = 0,70 ou 70 %. On considère que vers 10 ou 20 % d'hygrométrie relative l'air est très sec. Entre 20 et 50 %, il est sec. Au-dessus de 50 %, il est humide et l'eau qu'il contient présente des risques à la fois pour la formation du brouillard, mais aussi pour les diverses formes de givrage, notamment pour le givrage du carburateur.

3 Les moyens de prévention les plus usuels à la disposition des pilotes

• Sur les METAR : par la mention FG (Fog) et par la proximité entre température extérieure et point de rosée. Exemple.

METAR LUDO 031100Z 18008KT 2000 0900SW R09R/2000 BCFG BR OVC002 03/02 Q1022

FG (Fog) et 03/02 pour les températures (extérieure/point de rosée) espacées de seulement 1°, deux informations qui laissent supposer que cet aérodrome est difficilement accessible pour l'instant en VFR.

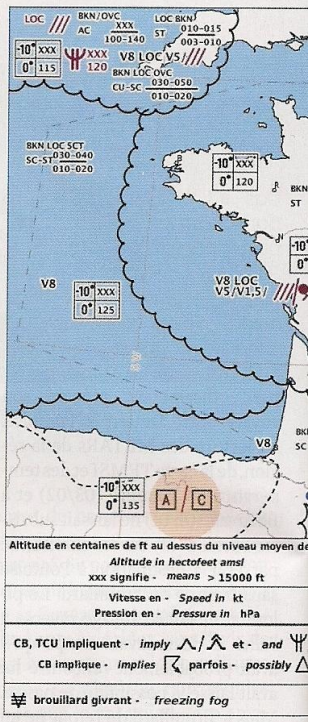
• Sur les cartes TEMSI : **figure 4**

On remarque des zones particulières A qui font l'objet de la mention en marge, à droite, avec le symbole spécifique du brouillard, trois traits horizontaux.

• Tableau GAFOR. **fig. 4**, codage type GAFOR encerclé en mauve

Toute zone dans laquelle la visibilité est prévue comme pouvant être inférieure à 1,5 km peut être suspectée lors de la préparation du vol comme pouvant être recouverte rapidement par le brouillard.

Figure 4. Risque de brouillard dans les zones « A » de la carte TEMSI du 06/12/2018 (Les surlignages roses sont rajoutés sur cette figure pour sa compréhension).



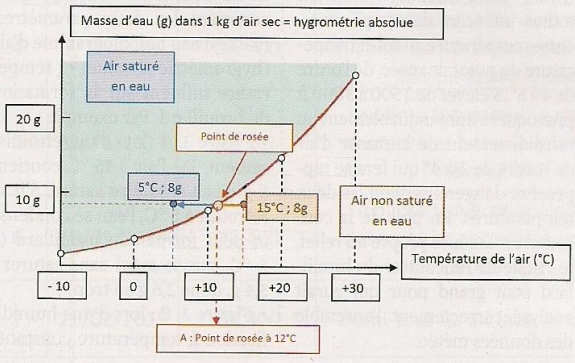
4 En vol

Un pilote doit savoir si la zone dans laquelle il évolue présente des risques de brouillard. Une liste non exhaustive des cas courants permet de mieux se méfier du :

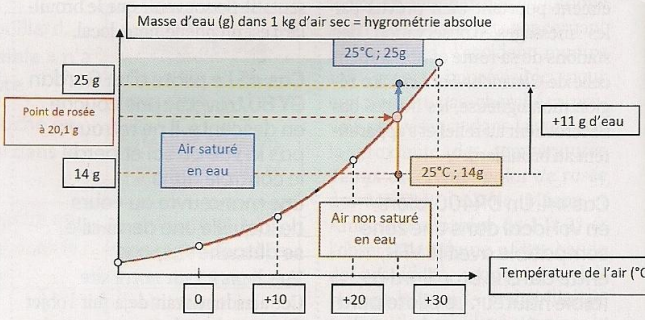
• **brouillard des vallées** (fi-

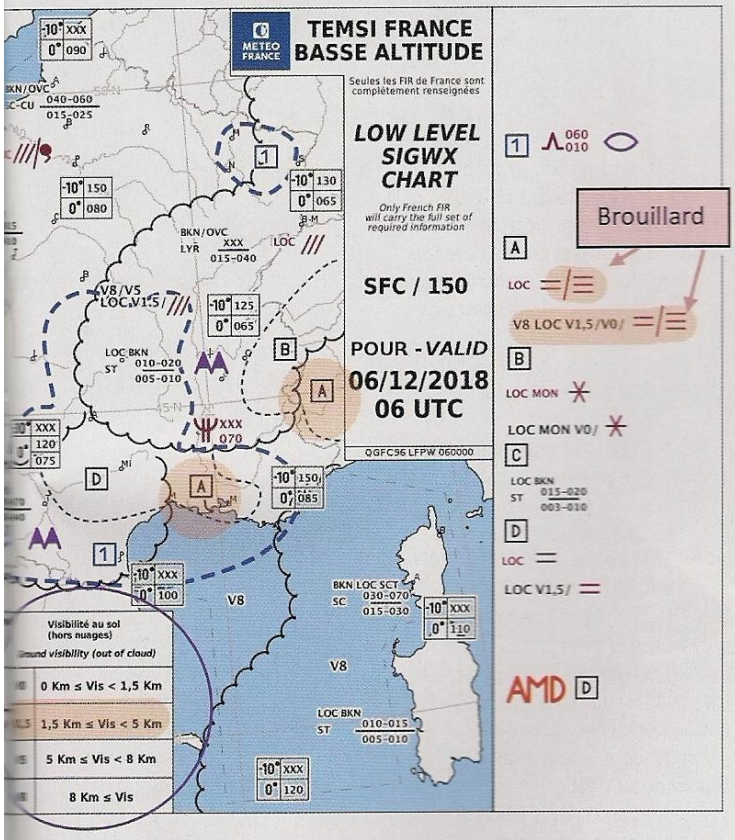
Figure 3. Les deux principes fondamentaux de formation du brouillard : refroidissement, apport d'humidité, de part et d'autre de la courbe de saturation en rouge

A. Lors d'un refroidissement, l'air se sature en eau au fur et à mesure que sa température diminue. Sa température passe par la température du point de rosée (environ 12°C). Une fois qu'elle aura saturé l'air, l'eau sera présente sous forme de très fines gouttelettes (brouillard) ou de gouttes plus grosses, bruine, pluie.



B. Lors d'une humidification à température constante qui apporte +11 g d'eau par kg d'air, l'air se sature en eau à température constante. Point de rosée : 25 °C, 20,1 g.





gure 1), qui s'est formé au lever du soleil parce que l'air atteignait sa température la plus basse de la journée. Caractéristique des anticyclones, donc des atmosphères très calmes, en hiver, il peut être survolé, mais on doit s'assurer qu'il est très localisé et que la trajectoire prévue n'y conduit pas. On l'appelle aussi « brouillard de rayonnement ». Il disparaît avec l'ensoleillement. Processus de formation type A, figure 2.

• **brouillard d'advection**. Il se forme brutalement sur la terre froide quand le vent y pousse une masse d'air humide. Processus de formation de type B, figure 3. Très dangereux car il se déplace et peut envahir rapidement une région en ciel clair. Il peut également donner l'impression au pilote d'absorber l'avion qui s'en approche avant d'avoir le temps de faire demi-tour. Probable cause de l'accident cas n°4. Voir aussi REX du 05/11/2017 pour une expérience qui ressemble fort à la rencontre avec une formation rapide et brutale de brouillard d'advection.

• **brouillard de pente ou de relief**. Il est lié à la remontée, en général rapide d'une masse d'air frais et humide, poussée par le vent et qui se refroidit en dessous de son point de rosée quand elle atteint une certaine altitude. Formation, de type A et éventuellement B si l'air se charge d'eau en s'élevant. On le confond avec un stratus. Il est à l'origine des accidents des pilotes qui pensent retrouver la vue du sol en passant sous le nuage, notamment au-dessus des reliefs. Accidents cas n°3, n°6, n°7.

Dans tous les cas, la seule conduite est de renoncer à un vol si le brouillard est prévu à destination ou sur la route. On peut voler par beau temps au voisinage de zones dans le brouillard, mais on doit s'informer plus fréquemment des dernières observations. Sachez que le contrôle est une source d'information, mais aussi une assistance permanente pour vous trouver des solutions en cas d'urgence.

Pensez enfin que pendant l'hiver les basses températures favorisent plus facilement la formation des brouillards car l'air froid nécessite moins d'eau pour se saturer que l'air chaud. ●

REX DU MOIS Couche de nuages très basse n° EILEACR2OX

Le 29 décembre dernier, nous avons été confrontés à Tarbes à un phénomène surprenant et à mon sens pas vu par les prévis (ou très tard).
Alors que nous étions en vol à l'ouest de Tarbes, CAVOK sur l'ATIS et TAF plutôt très optimiste jusqu'à 16 h TU, une couche de nuages très basse a envahi le terrain très rapidement par le nord.
J'ai pu passer sans trop de soucis avec mes élèves en faisant la finale au-dessus des nuages (la couche arrivait à la balise ADF TL). En finale, la visi oblique était très faible (moins de deux NM) car l'atmosphère était en plus polluée par les fumées d'écobuage associées au soleil bas sur l'horizon. Nous avons vu la piste tard et atterri sans problème. Par contre, plusieurs autres avions/ULM se sont posés plus « limite ». Enfin l'hélico de la gendarmerie s'est dérouté sur Ossun avec des conditions marginales.

Nous avons donc tous été surpris par ce phénomène rapide, non prévu sur les messages et dont apparemment le prévi n'a perçu la présence que tard. J'ai suivi la progression de la couche sur SAT24 pendant le vol et on la voyait bien se déplacer.