

GIVRAGE AERONEFS  
DOCUMENT  
DE SYNTHÈSE

16 octobre 2008

direction générale  
de l'Aviation civile

direction  
du Contrôle  
de la sécurité

# PRÉAMBULE

L'objectif principal du présent document est de fournir aux participants au symposium un support papier synthétisant les différents exposés présentés à l'occasion de cette conférence.

Ceux-ci ont pour but de sensibiliser les acteurs du transport aérien au danger que représente le givrage, sur tout type d'appareil et en toute saison. Sans être exhaustif et ne pouvant se substituer à la documentation officielle, ce fascicule tentera de vous présenter les processus conduisant à la formation du givrage, ses effets sur les aéronefs et les méthodes destinées à en prévenir l'apparition ou permettant de s'en protéger. Nous vous proposerons un inventaire des textes réglementaires relatifs à ce thème et le plan d'action de la DGAC vous sera présenté.

Une liste des accidents sur les 20 dernières années figure également à la fin de ce manuscrit. Elle illustre le fait que malgré tous les progrès réalisés pour améliorer la protection des aéronefs, le risque est toujours présent.

Un livret intitulé « *Guide de bonnes pratiques* » vous est proposé en complément de ce document. Il s'adresse indifféremment à tous les personnels impliqués dans l'exploitation des aéronefs et énonce des actions simples faisant appel à la logique et au sens pratique et des recommandations visant à diminuer de façon significative les risques.

L'origine des illustrations utilisées dans ce document est mentionnée en bas de celles-ci. Leur reproduction à but commercial est soumise à autorisation.

**NB :**

*En ce qui concerne le traitement des aéronefs au sol, une distinction sera faite entre la notion de dégivrage et la notion d'antigivrage. La première est une opération à but curatif. La seconde est une opération préventive destinée à empêcher pendant un laps de temps déterminé, la formation de dépôts de contaminants givrés sur l'appareil. De manière générale afin d'éviter toute confusion, lorsque l'on évoquera ces deux types d'opérations au sens large, on parlera de « traitement ».*

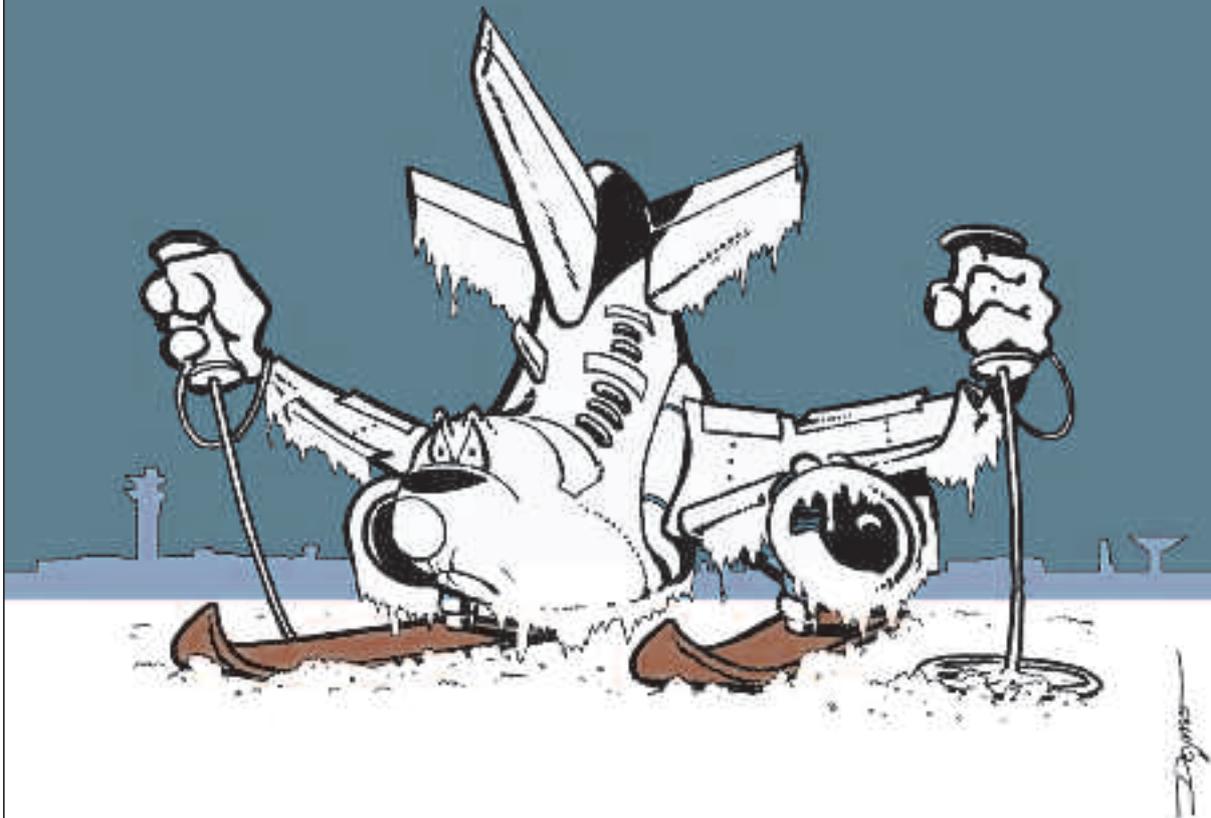


# SOMMAIRE

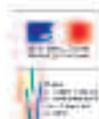
→ 1- Introduction .....	5
1.1 Contexte général .....	3
1.2 Introduction au risque givrage .....	4
→ 2- Aspects météorologiques du givrage .....	8
2-1 Formation du givre .....	8
2-2 Prévisions .....	10
2-3 Retour d'expérience .....	11
2-4 Conclusion .....	11
→ 3- Effets du givrage sur les aéronefs .....	12
3-1 Considérations d'ordre général .....	12
3-2 Effets du givrage sur les aéronefs .....	12
3-3 Conclusion .....	15
→ 4- Protection contre le givrage .....	16
4-1 Lutte et protection contre le givrage au sol (dégivrage & antigivrage) .....	16
4-2 Défenses contre le givrage en vol .....	22
→ 5- Réglementation .....	26
5-1 Navigabilité de l'aéronef .....	26
5-2 Exploitation de l'aéronef .....	26
→ 6- Actions de réduction du risque « givrage » .....	28
6-1 Objectifs du groupe de travail .....	28
6-2 travaux du groupe .....	30
→ 7- Liste d'accidents .....	33
→ 8- Glossaire .....	36



# GIVRAGE AÉRONEFS



NE PARTEZ PAS COÛTE QUE COÛTE ! LE GIVRAGE EST INSIDIÉUX  
**CONTRÔLEZ ET PROTÉGEZ VOTRE AVION !**





# INTRODUCTION

## 1.1 CONTEXTE GÉNÉRAL

Au sein de la Direction Générale de l'aviation Civile (DGAC), la direction du Contrôle de la sécurité (DCS) assure la surveillance et la certification de tous les acteurs de l'aviation civile. Elle est également au cœur de la mise en œuvre du Programme de Sécurité de l'Etat et promeut une nouvelle approche de la sécurité basée sur l'analyse des risques. Pour ce faire, la DCS organise chaque année depuis 2006 un symposium de sécurité afin de sensibiliser le personnel, partager avec vous tous des informations et recueillir vos retours d'expérience. Par la suite, des plans d'actions visant à réduire le risque considéré sont conjointement élaborés.

Ces risques qui sont combattus sont désormais intégrés dans une démarche globale qui est amenée à perdurer. Cette démarche se nomme Programme de Sécurité de l'Etat (PSE) et elle est devenue une norme depuis que l'OACI l'a introduite à partir de novembre 2006 pour les domaines couverts par les Annexes 6, 11 et 14 traitant respectivement des domaines de l'exploitation technique des aéronefs, des services de la circulation aérienne et enfin des aéroports.

Depuis, la DGAC met effectivement en place son PSE qui est l'équivalent pour l'état des Systèmes de Gestion de la Sécurité (SGS ou SMS en anglais) pour les opérateurs.

Le PSE suppose des échanges avec les opérateurs dans l'identification des principaux risques, la définition des objectifs de sécurité associés, la définition des indicateurs de sécurité nationaux pertinents, la conception et la mise en œuvre de plans d'actions d'amélioration de la sécurité.

La DGAC a donc, à partir de sa base de donnée ECCAIRS qui comporte plus de 120 000 incidents ou accidents à la date de ce symposium, déterminé une cartographie des risques. Le domaine opérationnel considéré est celui du transport public.

Cette cartographie a fait ressortir plusieurs risques qui ont été classés en fonction de critères liant la gravité et la récurrence.

Pour l'année 2008, la cartographie est la suivante :

N°	Identification de l'événement indésirable	EU1	EU2	EU3	EU4	EU5	EU6	EU7
E101	Approches non stabilisées	X	#			X		X
E102	Défaillance Masse/centrage		X			X	X	X
E103	Incursions sur pistes				X	X		X
E104	Incident lié au givrage ou aux procédures de dégivrage		X			X	X	X
E105	Rencontre phénomènes météo dangereux (orages, cisaillements de vent)		X			X	X	X
E106	Défaillance d'un seul GMP sur multimoteurs		X			X	X	X
E107	Dépressurisation		X				X	
E108	Ecart de trajectoire en route	X		X			X	
E109	Pertes de séparation en vol			X			X	
E110	Action inappropriée de l'équipage (FH, réglementation)	X	X	X	X	X	X	X
E111	Défaillance des interfaces sol-bord (générique)	X	#	X	X	X	X	X
E112	Evénements liés à une piste contaminée en service					X		X
E113	Défaillance système avion (autre qu'un seul GMP, pressurisation ou reverse)	#	X	#	#	X	X	X
E114	Feu/fumées		X			#	X	X
E115	Défaillance reverse		X			X	X	X
E116	Evénements liés à des travaux/maintenance plate-forme	#			X	X		X
E117	Evénement lié à un incident de maintenance	X	X	#	#	X	X	X

Légende : EU : événement ultime  
EI : événement indésirable

EU1	CFIT
EU2	Ecrasement après perte de contrôle en vol
EU3	Collision en vol
EU4	Collision au sol (haute énergie)
EU5	Sorties de piste
EU6	Dommmages/blessures en vol
EU7	Dommmages/blessures au sol

EI	Activité de réduction de risque de la DGAC avec priorité la plus haute
EI	Doit faire l'objet de plan d'action de réduction des risques de la DGAC
EI	Risque surveillé au titre du PSE
EI	Suivi d'ordre statistique au titre du PSE
EU	Code couleur en fonction de la gravité de l'accident pris individuellement
X	L'EI conduit à un accroissement significatif de la probabilité d'occurrence de l'EU
#	L'EI conduit exceptionnellement à l'EU

(1) Symposium 2006 : Approches non stabilisées - Symposium 2007 : Incursions sur pistes

La DGAC qui a pour objectif de traiter les principaux risques est en train de mettre en place des groupes de travail dont l'objectif est de mieux définir les risques, les combattre par des mesures

préventives ou plan d'actions, mettre en place des indicateurs de sécurité, mesurer l'efficacité des actions entreprises et réévaluer périodiquement le niveau du risque.

## 1.2 INTRODUCTION AU RISQUE GIVRAGE

Le quatrième risque par ordre de priorité dans le tableau ci-dessus se nomme "INCIDENT LIÉ AU GIVRAGE OU AUX PROCEDURES DE DEGIVRAGE".

Il peut mener à un écrasement après perte de contrôle en vol ou bien une sortie de piste ou enfin des Dommages/blessures au sol ou en col.

Le risque givrage fait donc partie des priorités à surveiller et à combattre pour la DGAC.

Plusieurs événements liés au givrage au sol ou en vol se sont récemment produits. Il s'agit des événements suivants :

- l'accident d'un Fokker 100 à Pau en 2005,
- l'incident d'un ATR entre Lyon et Montpellier en 2007,
- plusieurs incidents de givrage relatifs à des jets dans la région de Vienne en Autriche en 2007.

Les deux premiers événements font l'objet de rapports qui sont disponibles sur le site du BEA :

<http://www.bea-fr.org/docspa/2007/f-pg070125p/pdf/f-pg070125p.pdf>

<http://www.bea-fr.org/docspa/2007/f-zy070318/pdf/f-zy070318.pdf>

Les incidents de Vienne ne font pas l'objet de rapports mais sont enregistrés dans la base de données de la DGAC qui se nomme ECCAIRS.

La DGAC a donc publié une information de sécurité sur le givrage qui est disponible à l'adresse suivante :

[http://www.aviation-civile.gouv.fr/html/actu\\_gd/info\\_secu/IS2008\\_01.pdf](http://www.aviation-civile.gouv.fr/html/actu_gd/info_secu/IS2008_01.pdf)

Cette information reprend les principaux accidents survenus en Europe et recense les bonnes pratiques.

Au niveau international et selon la Flight Safety Foundation les données corrélées avec celles du BEA montrent que 173 accidents en Transport public sont liés au givrage au sol ou en vol depuis 20 ans.

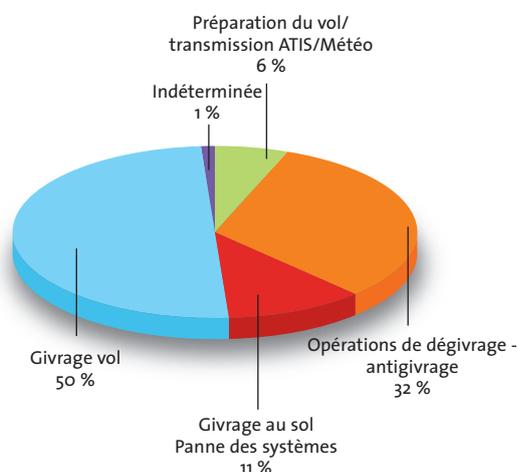
Bien que ces accidents concernent majoritairement des aéronefs à pistons ou des turbopropulseurs, des avions à réacteurs peuvent également être sujets à des incidents liés au givrage.

Si l'on se base sur les données en possession de la DGAC<sup>2</sup>, il apparaît que chaque année la DCS est notifiée d'environ 200 rapports d'incidents relatifs au givrage au sol ou en vol. Etant donné qu'environ 40000 incidents sont rapportés chaque année, cela représente un taux de report de 0,5 %.

Si l'on combine ces données avec celles du BEA, on peut observer en France les informations suivantes :

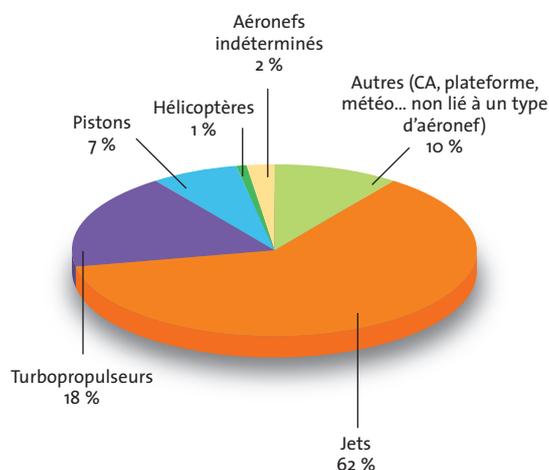
### Événements relatifs au givrage aéronef répertoriés par phases d'exploitation

376 événements - Base ECCAIRS de février 2000 à février 2008



### Événements par type d'aéronef ou service concerné (circulation aérienne/plateforme/service météorologiques...)

376 événements - Base ECCAIRS de février 2000 à février 2008



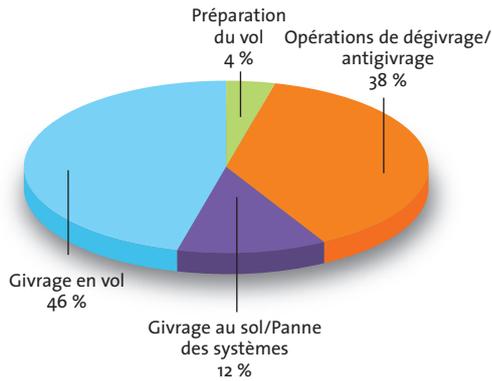
(2) Base de données ECCAIRS



## INTRODUCTION

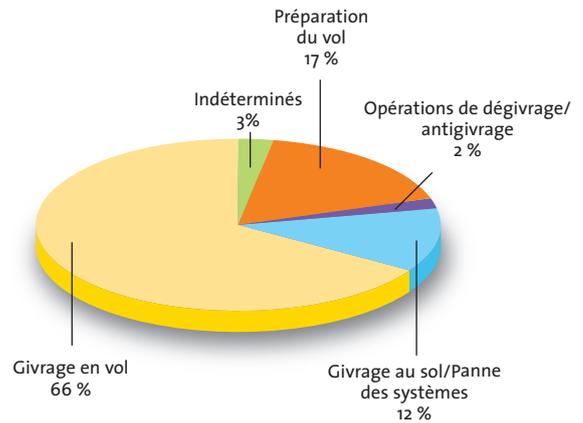
### Événements reportés par des appareils à réaction par phase d'exploitation

234 événements - Base ECCAIRS de février 2000 à février 2008



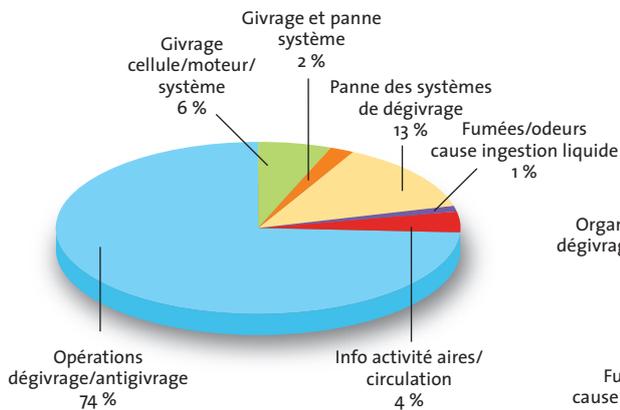
### Événements reportés par les appareils à turbopropulseurs par phase d'exploitation

66 événements - Base ECCAIRS de février 2000 à février 2008



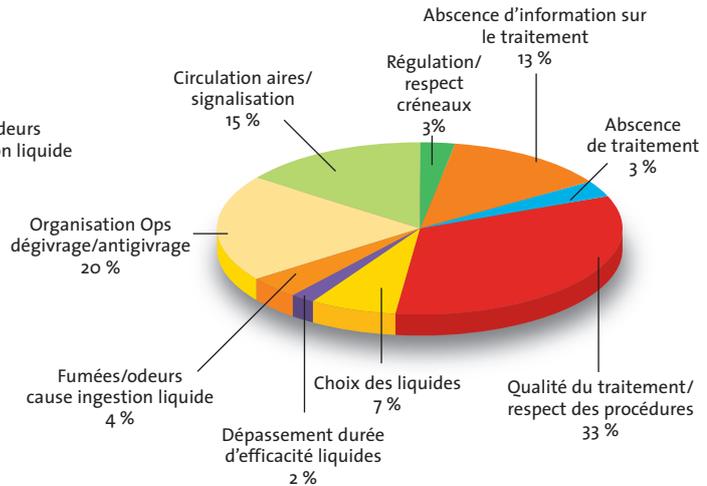
### Opérations au sol (dégivrage/antigivrage+roulage)

163 événements - Base ECCAIRS de février 2000 à février 2008



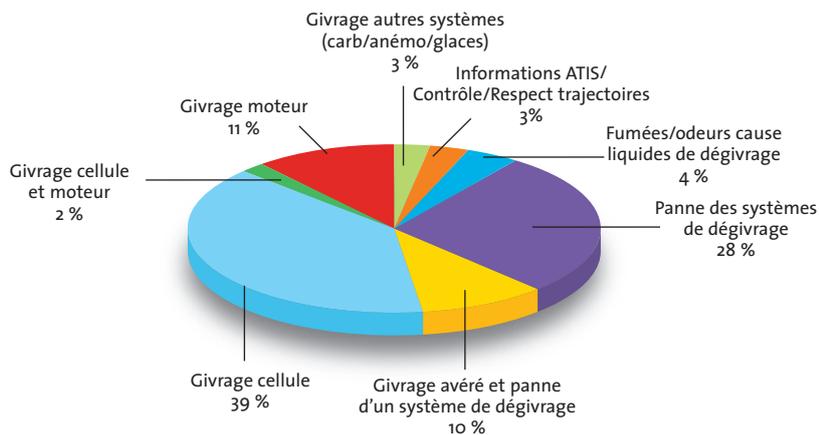
### Opérations de dégivrage-antigivrage

122 événements - Base ECCAIRS de février 2000 à février 2008



### Opérations en vol

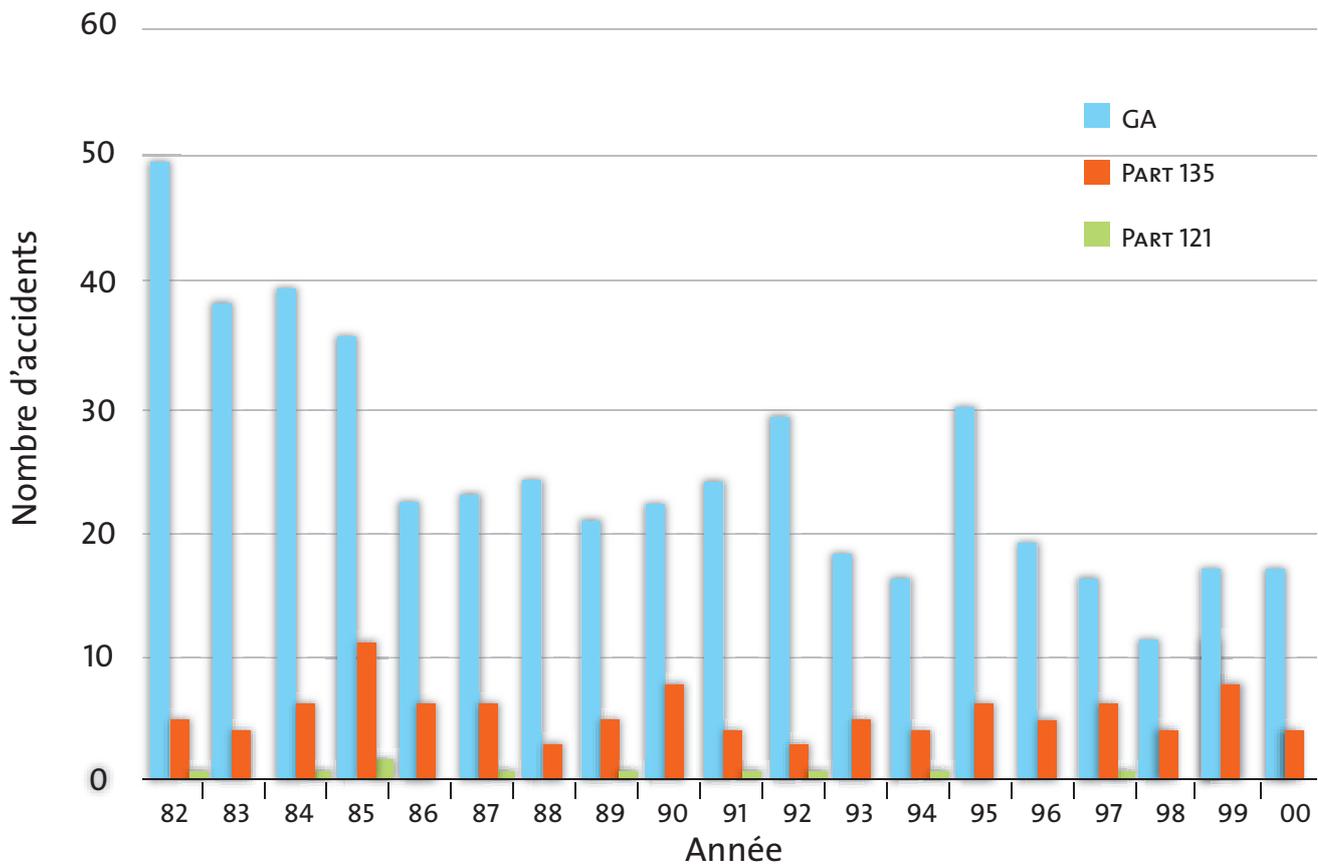
188 événements - Base ECCAIRS de février 2000 à février 2008



Si l'on se réfère à une étude du NTSB sur le givrage des aéronefs (<http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/81425.pdf>) publiée en 2001, on constate à plus grande échelle une cohérence dans la répartition des accidents dus au givrage.

En l'occurrence, l'aviation générale reste très sensible au risque du givrage, et en transport public le phénomène touche davantage les appareils à turbopropulseurs que les jets lors des phases de vol :

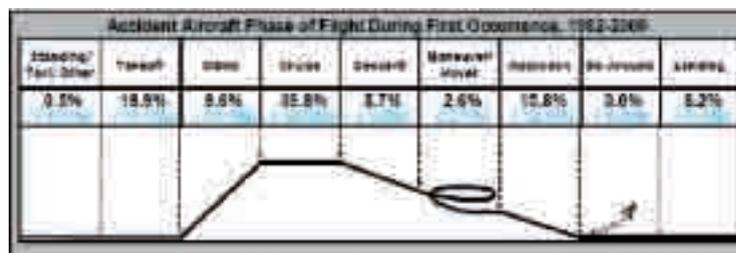
### ACCIDENTS D'AVION DUS AU GIVRAGE (1982-2000)



Aviation accidents associated with airframe icing for the period 1982-2000 :  
 Document NTSB  
 NB : GA : general aviation  
 Part 135 : commuter airlines & air taxis  
 Part 121 : majors airlines & cargo carriers

Quant à la répartition par phase de vol, il apparaît clairement que le givrage présente le plus grand risque au décollage et en croisière :

Percentage of accidents (black) and fatal accidents (blue) by phase of flight  
 Document NTSB





## INTRODUCTION

Le givrage au sol et en vol est donc un risque transverse et complexe. Il met en jeu plusieurs types d'opérations qui n'ont ni la même culture ni les mêmes objectifs et principalement :

- les constructeurs,
- les compagnies aériennes,
- les services de la navigation aérienne,
- les services de la météorologie,
- les aéroports,
- les assistants en escale.

Le risque givrage ne peut donc avoir pour réponse qu'une série de mesures visant à toucher l'ensemble des acteurs.

C'est pourquoi à l'automne 2007, afin d'appréhender les causes du problème et de proposer des axes de prévention visant à réduire les risques givrage, un groupe de travail composé de représentants de la compagnie REGIONAL (Groupe Air France), du Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la Sécurité de l'Aviation Civile (BEA), de Météo France, d'ATR et de la direction du Contrôle de la sécurité (DCS), a été créé (cf annexe 1). L'originalité du groupe de travail est d'avoir permis aux principaux opérateurs et leur autorité de surveillance respective de s'asseoir à la même table afin de confronter leurs points de vue et dégager des solutions communes.

Un état des lieux sur le givrage ainsi qu'une évaluation de l'efficacité des barrières de prévention en matière de givrage au sol et en vol ont été réalisés.

Le BEA a publié dans sa revue Incident en Transport Aérien des rapports d'enquêtes sur le givrage.

Un guide de bonnes pratiques à destination des opérateurs a été réalisé par la DCS.

A l'issue du symposium sur le givrage, la DCS mènera des actions à long terme tant au niveau national qu'international. Ces actions seront détaillées dans ce document.

Tous ces documents seront mis en ligne sur le site de la DGAC, onglet grand dossier, onglet sécurité, et mis à jour au fur et à mesure.

L'adresse à laquelle sont regroupées la plupart des informations relatives à la sécurité et traitées par la DCS figure ci-dessous:  
[http://www.aviation-civile.gouv.fr/html/actu\\_gd/secu3/index.htm](http://www.aviation-civile.gouv.fr/html/actu_gd/secu3/index.htm)

Le symposium organisé par la DCS le 16 octobre 2008 est l'occasion de présenter aux professionnels les résultats de ces travaux, de les sensibiliser et de promouvoir le retour d'expérience.

## 2-1 FORMATION DU GIVRE

### → 2-1-1 PROCESSUS DE FORMATION

#### 2-1-1-1 Définitions : condensation solide, congélation, surfusion

La **condensation solide** est le processus par lequel l'eau passe de son état gazeux directement à son état solide.

La **congélation** est le processus par lequel l'eau passe de son état liquide à son état solide. Il est important de noter que les gouttelettes liquides ne se congèlent pas nécessairement à 0°C. Elles restent alors à l'état **surfondu** c'est-à-dire des gouttes liquides à température négative. Elles peuvent demeurer liquides à des températures bien inférieures à 0°C. Cet état instable cesse lorsqu'il y a contact, soit sur un objet, soit en entrant en contact avec un noyau glaçogène : une particule microscopique qui agit comme déclencheur à la congélation de la gouttelette. Ces noyaux sont plus ou moins efficaces selon la température.

#### 2-1-1-2 Paramètres influents

Les paramètres météorologiques les plus influents sur les conditions givrantes sont la température, le contenu en eau liquide et la taille des gouttes :

##### • Température

Les intervalles de température les plus favorables aux conditions givrantes vont de 0°C jusqu'à -15°C. Les noyaux glaçogènes actifs sont plutôt rares dans certains intervalles de température, et les nuages se composent alors en grande partie de gouttelettes liquides surfondues plutôt que de cristaux de glace.

Des gouttelettes surfondues ont été observées à des températures allant jusqu'à -35°C. Cependant, au-delà de -40°C, les gouttes se congèlent spontanément, le risque de conditions givrantes est pratiquement nul.

##### • Contenu en eau liquide – CEL

Deuxième paramètre important dans la formation de givre, la quantité d'eau liquide contenue dans les nuages va conditionner le risque et la sévérité des conditions givrantes.

Cependant cette valeur n'est pas stable dans le temps et dans l'espace. Au sein d'une même couche nuageuse, le CEL peut beaucoup varier.

##### • Taille des gouttelettes

La taille des gouttelettes influence la sévérité du givrage du fait de leur accréation différente par les diverses parties d'un avion. Les plus petites gouttelettes ont tendance à frapper les parties les plus en avant ou à être transportées par les lignes d'écoulement autour de l'appareil sans rien toucher. Par contre, les plus grosses gouttelettes bien qu'atteignant les parties directement en contact avec le vent relatif, peuvent s'écouler en arrière des zones protégées.

On parle de gouttelettes jusqu'à 40µm. A partir de 200µm on considère qu'il s'agit de grosses gouttes SLD (supercooled liquid droplets).

Il est à noter que la certification des avions prend en compte des gouttes jusque 50µm.

### → 2-1-2 LES TYPES DE GIVRAGES ET D'ACCRÉTIIONS

#### 2-1-2-1 Gelée blanche

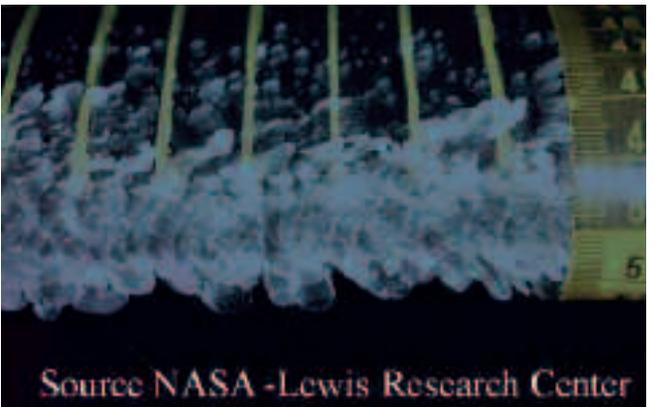


La gelée blanche a un aspect cristallin en forme **d'aiguilles, d'écaillés ou de plume** qui la rend friable. Elle se forme par **condensation solide**, passage direct de la vapeur d'eau en cristaux de glace. L'accréation peut se produire en dehors des nuages, au sommet des couches nuageuses ou lors d'une descente ou d'une montée rapide dans une couche humide lorsque l'avion est froid. Ce phénomène est aussi fréquent au sol sur un avion au parking par des températures froides. Les conditions météorologiques les plus favorables sont les conditions anticycloniques en hiver.

#### 2-1-2-2 Givre blanc

Le givre blanc s'accumule quand des gouttelettes se congèlent rapidement en frappant un avion. Ce processus de congélation rapide emprisonne des bulles d'air pour former du givre blanc : de la glace cassante et opaque de couleur laiteuse. Le givre blanc s'accumule sur les bords d'attaque des ailes et sur d'autres parties exposées de la surface de l'avion. Tout en s'accumulant, le givre blanc s'entasse et s'étend alors vers l'avant, c'est-à-dire vers le courant d'air en provenance de l'avant de l'avion.

#### 2-1-2-3 Givre transparent



Le givre transparent ou givre clair se présente généralement comme une couche mince et lisse de glace transparente. Elle peut prendre la forme de ruisselets, de raies ou de bosses.



## 2 – ASPECTS MÉTÉOROLOGIQUES DU GIVRAGE

Il se forme lorsque seule, une petite quantité des gouttelettes se congèle à l'impact ; la plus grande partie reste liquide pendant un certain temps et se congèle progressivement en s'écoulant sur la surface de l'avion.

Dans ce processus, il y a peu de bulles d'air qui restent emprisonnées dans la glace ainsi formée. Elle est alors moins opaque et plus dense que le givre blanc.

### 2-1-2-4 Givre mixte

Les valeurs du contenu en eau liquide, de la température et de la taille des gouttelettes peuvent varier beaucoup sur une échelle de distance de l'ordre de quelques dizaines de kilomètres ou moins. Cela signifie qu'un avion peut rencontrer, le long de sa trajectoire, du givre blanc et du givre clair dans un mélange appelé givre mixte. Le givre mixte se compose souvent de couches qui alternent entre de la glace opaque et de la glace claire. Tout comme le givre clair, le givre mixte peut s'étaler plus loin sur la surface de l'avion et est alors plus difficile à enlever que le givre blanc.

### 2-1-2-5 Verglas

Lorsque il y a précipitations de gouttelettes d'eau surfondue on parle de pluie ou de bruine givrante. Les perturbations au passage des fronts sont les conditions les plus favorables à ce type de givrage.



### 2-1-2-6 Brouillard givrant

Dans des atmosphères saturées dans les basses couches, à des températures négatives il y a apparition de brouillard givrant. Plus la saturation est importante, plus le brouillard associé est important et l'intensité du givrage augmente.

### → 2-1-3 CLASSIFICATION DU GIVRAGE

Des études scientifiques ont permis de relier les intensités de givrage à des paramètres microphysiques : taille des gouttes et contenu en eau liquide, et par extension à des types de nuages ou des mécanismes de formation. A ces intensités de givrage sont associés des types de givrage et des effets sur l'avion.

La figure ci-dessous reprend de manière théorique les divers paramètres selon chaque interlocuteur :

- Le scientifique mesure des tailles de gouttes et des contenus en eau liquide lors de vols spéciaux de mesures et des types particuliers de nuages.
- Le prévisionniste, selon les types de nuages et leur processus de formation associe des conditions potentielles de givrage, c'est-à-dire des conditions où tous les paramètres météorologiques sont réunis pour qu'un avion givre.
- Le pilote quant à lui visualise un certain type de givrage et surtout en expérimente les conséquences sur son avion.

Figure 1 : Tableau récapitulatif des conditions givrantes

		Classe 1 FAIBLE	Classe 2 MODERE	Classe 3 FORT
Scientifique	Quantité moyenne d'eau surfondue	< 0,6 g/m <sup>3</sup>	0,6 à 1,2 g/m <sup>3</sup>	> 1,2 g/m <sup>3</sup>
	Diamètre moyen des gouttelettes	< 50 µm		> 50 µm
Météorologiste	Atmosphère	Stable	Instable	Fortement instable
	Nuages	As, Ns, Sc stable Brouillard, St minces Ac peu développé	As, Ns, Sc instable Brouillard, St denses Cu Cb	Brouillard, St très humides Ac Cu Cb
Pilote	Type de givrage	Gelée blanche Givre blanc	Givre blanc Givre mixte Givre dur	Givre mixte Givre dur Pluie, bruine givrantes
	Action	Pas de contraintes	Envisager de changer de conduite de vol	Changer <b>immédiatement</b> de conduite de vol

La simple catégorisation de la masse d'air telle que définie ci-dessus ne permet pas de façon certaine d'en extrapoler l'accrétion et les effets en matière de performances sur un appareil donné.

Pour catégoriser le givrage subi par l'aéronef de façon « opérationnelle », l'OACI a fixé trois intensités d'accrétion en fonction des contraintes appliquées à la conduite de l'avion en vol (référence OACI : RAC 4444 APP1).

Les définitions sont les suivantes : entre parenthèses les termes en anglais.

- FAIBLE (LIGHT) : n'implique pas de contraintes particulières sur la conduite de l'avion.
- MODERE (MODERATE) : conditions de givrage pouvant amener l'équipage à juger utile de changer de cap ou d'altitude.
- FORT (SEVERE) : conditions givrantes amenant l'équipage à **changer immédiatement** de cap ou d'altitude.

Lorsque les conditions d'intensité « faible » durent, le risque lié au givrage augmente. Le terme « sévère » est parfois employé en français à la place de « fort » ou pour indiquer des situations intenses. Il est à noter que **cette classification se**

*Il faut retenir qu'il n'y a pas « une » sévérité de givrage pour tous les avions passant dans la même zone. Il y a des conditions givrantes qui selon le type d'avion, la phase du vol, sa vitesse, le moment où il traverse la zone, et les conditions rencontrées au préalable vont provoquer un givrage plus ou moins fort.*

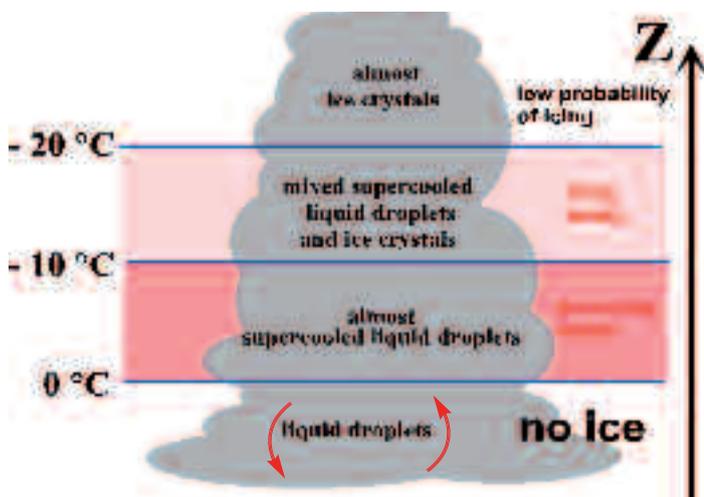
## → 2-1-4 CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES FAVORABLES

Au sein des masses nuageuses il existe différents processus permettant de retrouver les paramètres favorables aux conditions givrantes.

### 2-1-4-1 Composition des nuages

La figure 2 représente la coupe schématique d'un nuage. La présence et la quantité de gouttelettes sont conditionnées par la température de l'atmosphère. Le nombre de gouttelettes surfondues est le plus important près de l'iso 0°C. Des mouvements ascendants et descendants brassent les cristaux de glace et les gouttelettes entre les différentes altitudes. Ceci alimente le nuage en gouttelettes d'eau surfondues. L'importance des mouvements augmente le brassage et permet de trouver des gouttelettes surfondues à des températures allant en moyenne jusqu'à -20°C.

Figure 2 : Description schématique d'un nuage



**base sur les conséquences pour l'avion au cours d'un vol et non pas sur les conditions météorologiques mises en cause.**

Des propositions sont en cours pour améliorer les définitions des intensités en les associant à des repères visuels et faciliter ainsi le report des observations de givrage par les pilotes (référence WAF-SOPSG/2-IP/10 en liaison avec des travaux de la FAA).

Les évolutions proposées portent sur la catégorisation des intensités de givrage et notamment sur la définition du terme de « severe » associé à un givrage tel que les systèmes de dégivrage ne sont plus aptes à assurer leur rôle et que l'accrétion peut se produire en arrière des surfaces protégées : face au danger du phénomène, une sortie immédiate de telles conditions est nécessaire.

Le risque de givrage est augmenté principalement lorsque les mouvements ascendants et descendants s'intensifient (convection, orographie) ou lorsqu'il y a augmentation du contenu en eau liquide (convergence, transport des masses d'air sur des zones humides). Les inversions au sommet des couches nuageuses favorisent aussi le maintien de conditions givrantes.

### 2-1-4-2 Processus reliés aux nuages

Les conditions givrantes se retrouvent principalement :

- Dans les zones de convection, où les mouvements internes au nuage sont très importants et l'humidité bien présente. Les cellules orageuses sont considérées comme des lieux de givrage fort.
- Dans les zones d'orographie, le mouvement ascendant induit par le terrain peut conduire à des zones nuageuses couvrant des centaines de kilomètres, ou peut créer des nuages plus petits chapeautant les cimes des montagnes..
- Au niveau des fronts (principalement fronts chauds) où les masses d'air chaud surmontent des masses d'air froid. Elles créent des zones propices au givrage en raison des mouvements ascendants et de la présence de forte humidité. Ceci entraîne des risques de pluie ou de bruine givrante.
- Au sol dans des conditions de brouillard (forte humidité), lorsque les températures deviennent négatives, on observe du brouillard givrant. Plus le brouillard est dense plus le givrage est intense.

## 2-2 PRÉVISIONS

### → 2-2-1 MÉTHODES DE PRÉVISION

Pour établir sa prévision le météorologiste dispose de plusieurs outils.

- Les données observées : imagerie satellite, imagerie radar, radiosondages, et les observations du réseau météorolo-



## ASPECTS MÉTÉOROLOGIQUES DU GIVRAGE

gique au sol. A partir de ces informations, il a une connaissance des conditions météorologiques en temps réel et de leur évolution proche.

- Les sorties de modèles de prévisions numériques fournissent une prévision de la situation météorologique pour des échéances plus ou moins lointaines.
- Les systèmes élaborés : Météo France dispose d'un système basé sur la fusion de données qui permet d'identifier les zones givrantes.

En analysant l'ensemble de ces données le prévisionniste rédige des messages et établit des cartes transmises sur le réseau international.

Celles-ci sont accessibles aux pilotes lors de la préparation de leurs vols.

Il faut garder à l'esprit que le prévisionniste détermine des conditions givrantes, c'est-à-dire des zones où toutes les conditions sont réunies pour qu'il y ait accretion de givre sur l'avion à partir des paramètres pertinents dont il dispose. Cependant en raison du caractère instable de l'eau surfondue, et des paramètres propres à l'avion (phase du vol, vitesse, type d'avion, temps passé dans les conditions,...) les conséquences ne seront pas nécessairement les mêmes pour deux avions différents. Le pilote doit adapter sa vigilance en fonction des propres paramètres de l'avion.

### → 2-2-2 SYMBOLIQUE DU GIVRAGE DANS LES CARTES MÉTÉO TEMSI

La TEMSI ou carte du TEMps Significatif signale les zones nuageuses présentant un risque pour le pilote lors de son vol. Les conditions givrantes sont signalées sous forme de sigle indiquant la sévérité. Seules les intensités « givrage modéré » ou « MOD ICE » et « givrage fort » ou « SEV ICE » sont indiquées

Notez bien que les conditions indiquées se rapportent à toute la zone festonnée indiquée sur la carte et non pas seulement à l'emplacement du symbole givrage.

### → 2-2-3 CODIFICATION TAF ET METAR

Plusieurs messages sont à la disposition des pilotes :

- METAR : message d'observation d'aérodrome.
- SPECI : message d'alerte d'aérodrome.
- TAF : message de prévision d'aérodrome.

A travers le temps sensible (précipitations givrantes ou non, neige) et les températures rapportées dans ces messages d'aérodrome, il est possible de connaître les risques de givrage en approche de l'aérodrome.

- SIGMET : message d'alerte sur le domaine d'une FIR. Les conditions givrantes observées ou prévues sont transmises dans ce message. Les informations importantes sont actualisées en temps réel si nécessaire.

## 2-3 RETOUR D'EXPÉRIENCE

Il n'existe actuellement pas de capteur automatique de givrage installé sur l'avion, comme c'est le cas pour la turbulence. Seuls les pilotes ont la possibilité de rapporter le givrage quand il existe, via la fréquence au contrôleur aérien ou via les ASR<sup>(3)</sup>, lorsque le phénomène rencontré a été particulièrement notable. Ces retours d'expérience sont précieux. En effet ils permettent en temps réel :

- de **prévenir les autres pilotes de la zone à risque**. Cette information lorsqu'elle parvient au météorologiste lui permet d'actualiser sa connaissance de la situation météorologique et surtout de mettre à jour les messages diffusés et notamment les messages d'alerte (SIGMET, TAF, SPECI).
- Les rapports météorologiques de vol indiquant la présence ou non du phénomène, faits de manière plus systématique permettraient d'alimenter des systèmes d'identification et de prévision de givrage tel le produit SIGMA développé par Météo France.

En temps différé ces rapports de vol pourraient composer une base de données très utile pour la connaissance du phénomène, le contrôle, la validation et la calibration des systèmes de prévision. Ils permettront à terme d'améliorer la prévision du givrage et les informations disponibles pour le pilote.

Météo France a mis en place sur son site Internet un dispositif de report permettant de décrire les phénomènes météorologiques rencontrés au cours du vol :

<https://www.meteofrance.com/FR/aviation/index.jsp>, rubrique « Retour d'expérience » puis « récit météorologique de vol ».

## 2-4 CONCLUSION

A partir des informations dont il dispose, le prévisionniste fournit les cartes et les messages que le **pilote interprète selon les conditions de son vol**.

En effet pour les mêmes conditions météorologiques, selon les circonstances et les caractéristiques du vol, les conséquences ne seront pas complètement identiques. C'est ce qui rend encore plus difficile la prévision des conditions givrantes et l'adaptation de la sévérité selon chaque avion en particulier.

Aussi, afin d'améliorer la connaissance des conditions givrantes et les relier aux effets sur l'avion, il est nécessaire de bénéficier des **comptes-rendus de vol**.

Disponibles en temps différé, les comptes-rendus de vol permettent de constituer une base de données d'observations en vol importante pour les développements futurs, tandis qu'en temps réel, ils sont un élément important dans la sécurité des autres avions en permettant d'avertir de conditions à risques au travers des messages SIGMET.

(3) ASR : Air Safety Report

## 3-1- CONSIDÉRATIONS D'ORDRE GÉNÉRAL

Il convient de dissocier les conditions givrantes (dépendantes de la T° et de la quantité d'eau) de leurs conséquences sur l'aéronef évoluant dans cette même masse d'air puisque dépendant d'autres critères comme la T° de peau ou l'aérodynamique de l'appareil.

C'est ainsi que pour des conditions givrantes définies au sens du terme météo, le givrage se matérialisera de façon différente en fonction du type d'aéronef. C'est pour cela que la définition des conditions givrantes nécessitant la mise en œuvre des dispositifs de protection n'est pas « standardisée ».

En effet, la formation de givre sur la cellule est liée à la présence d'une atmosphère givrante et une température de peau de l'avion localement inférieure à 0°C, ou à des précipitations.

En vol, l'accrétion de glace est généralement causée par la congélation de gouttelettes d'eau surfondue (supercooled water droplets) à la surface de l'appareil. Les conditions favorables sont des températures statiques comprises entre 0 et -15°C.

Le givrage se matérialise de différentes façons sur l'aéronef : il peut toucher différents systèmes, la cellule, les moteurs mais le **risque majeur** reste la **perte de contrôle en vol** liée à la dégradation du profil.

L'appareil est en danger lorsque les conditions de givrage dépassent celles pour lesquelles il est certifié (CS 25.1419 appendix c). En effet, si la plupart des phénomènes de givrage en vol impliquent des gouttelettes d'eau comprises entre 10 et 50 µm, des gouttelettes de taille supérieure peuvent parfois être rencontrées (SLD : super large droplets).

On emploie alors le terme de « givrage sévère » qui outre la traduction de « givrage fort » en anglais est généralement utilisé par les constructeurs ou les exploitants pour définir un givrage « opérationnel » qui dépasse les critères de certification.

## 3-2- EFFETS DU GIVRAGE SUR LES AÉRONEFS

*Contrairement à une idée trop souvent répandue, l'effet le plus important du givrage sur les avions est la **modification du profil aérodynamique** et non l'augmentation de la masse.*

### Processus de formation :

L'accrétion de givre/glacé peut se produire au sol comme en vol et revêtir plusieurs formes :

- Gelée blanche (frost)
- Givre blanc (rime ice)
- Givre transparent/verglas (glaze ice)
- Givre mixte (mixed ice)
- Crêtes de glace (ridge of ice)

## → 3-2-1 CELLULE AVION

### 3-2-1-1 Aspects aérodynamiques

L'accrétion de givre/glacé entraîne :

- Diminution du taux de montée.
- Diminution de la vitesse horizontale.
- Augmentation de la vitesse de décrochage.
- Diminution du plafond pratique.

Le dépôt de contaminants givrés sur l'aile, **même en faibles quantités**, rend sa surface rugueuse : cette rugosité modifie localement le gradient de pression de la couche limite et peut la rendre turbulente ou la faire décoller de la surface.

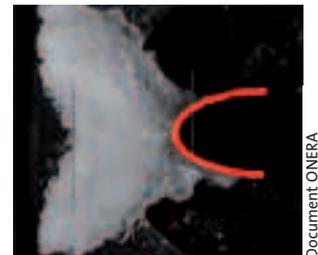
Au sol, la contamination s'opère généralement sur l'extrados de l'appareil, de façon plus ou moins uniforme en fonction de la température de peau de la cellule (les gouvernes peuvent donc être contaminées).

La contamination au sol peut être provoquée par :

- La condensation solide de vapeur d'eau.
- Neige.
- Pluie givrante.
- Pluie ou forte humidité sur aile froide (cold soak wing).
- Poudrin de glace (précipitation de petits cristaux).

En vol, l'accrétion s'effectue généralement sur les parties directement exposées au vent relatif (bords d'attaque).

Elle peut revêtir de nombreuses formes et aspects : les échanges thermiques entre les gouttelettes et le milieu environnant, la forme des surfaces impactées déterminent celle de l'accrétion définitive : double corne, « runback ice »...



Document ONERA

Si les bords d'attaque sont généralement les premiers touchés, la contamination peut rapidement migrer le long du profil lorsque la température statique est proche du point de congélation.

La pluie et la bruine se congelant (FZRA, FZDZ) produisent d'importantes accrétions en raison de la présence de grosses gouttelettes d'eau surfondue, de taille supérieure à celle définie dans l'enveloppe de certification (CS 25.1419 appendix c).

Les petites gouttelettes sont plus facilement déviées que les grosses gouttelettes dont l'inertie est plus importante : à titre indicatif, pour un rayon de courbure de 20 mm et une vitesse de 300 noeuds, 96 % des gouttes de 50 µm de diamètre sont captées, 84 % des gouttes de 30 µm et seulement 50 % des gouttes de 10 µm de diamètre.

### Effets des accrétions :

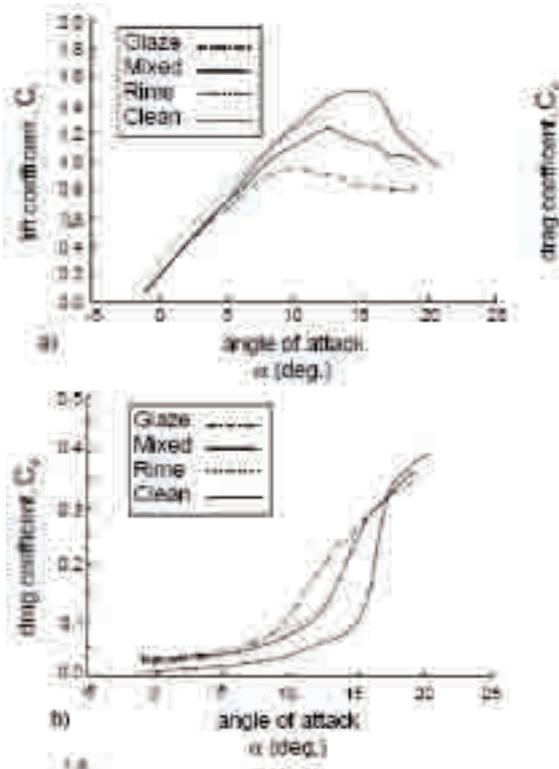
#### • Diminution de portance

- Diminution de Rz pour un angle d'incidence donné.
- Réduction de la Rz maximum.
- Réduction de l'angle de Rz max.



# 3 - EFFETS DU GIVRAGE SUR LES AÉRONEFS

- **Augmentation de la traînée**
  - Augmentation de  $R_x$  pour un angle d'incidence donné.
  - Augmentation de  $R_x$  pour une  $F_z$  donnée (la meilleure finesse est obtenue à des  $R_z$  faibles).
- Le dépôt de contaminants givrés provoque une **diminution de l'angle d'incidence auquel apparaît le décrochage**.



Document NASA

L'accrétion de givre est rarement symétrique sur les deux demi-ailes : ceci explique qu'en cas de décrochage, celui-ci s'accompagne souvent d'un départ en roulis incontrôlé.

L'état de surface de l'aile est modifié par la présence de contaminants givrés qui en fonction de leur rugosité peuvent affecter gravement les caractéristiques de l'aile.

A la suite de l'incident de Hanovre en 1969, Fokker a réalisé des essais en soufflerie sur une aile contaminée par des grains correspondant à des aspérités, à l'échelle réelle, d'un millimètre, répartis sur la surface de l'extrados à raison d'une aspérité par centimètre carré. Cela correspond à une contamination légère par une chute de pluie verglaçante ou de neige. Ces essais ont montré que, lorsque le bord d'attaque est contaminé, la réduction de la portance maximale est de l'ordre de 25 % et celle de l'incidence de portance maximale d'environ  $6^\circ$ .

## 3-2-1-2 Givrage de l'aile

### Au sol et au décollage :

La longueur de la corde de profil est un paramètre prépondérant car en présence de contamination, plus elle est faible, plus la rugosité relative augmente. La longueur de la CDP

diminuant de l'emplanture vers l'extrémité de l'aile, on peut observer les phénomènes suivants :

- Décrochage des extrémités d'ailes.
- Risque de perte d'efficacité des ailerons.
- Rotation anticipée (la portance se décale vers l'avant).

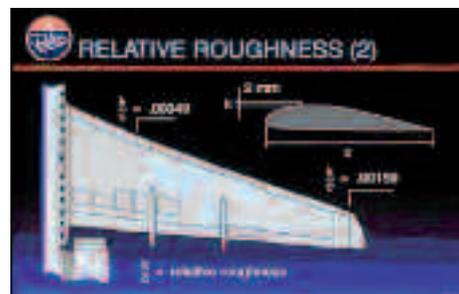
Exemple : sur DC-8, pour une contamination de 0,7 mm, la perte de portance est de 18 % à  $\frac{1}{4}$  de l'envergure et de 27 % à hauteur des ailerons.

La température de peau de l'avion a une influence directe sur l'accrétion : des précipitations liquides peuvent se solidifier au contact d'une surface négative.

De plus, la température du carburant contenu dans les réservoirs d'ailes peut modifier localement la Température de peau.

Les appareils pourvus d'ailes non munies de bords d'attaque (ailes « dures ») sont plus particulièrement sensibles aux effets du givrage au cours de la rotation.

Une diminution de la température intervient lors de la course au décollage et la rotation par augmentation de la dépression créée sur l'extrados (effet Venturi). Cette diminution peut être de l'ordre de 3 à  $5^\circ\text{C}$  à la rotation mais son effet dans le processus d'accrétion doit être relativisé.



Document FOKKER

### En vol :

La glace se forme plus facilement sur les surfaces ayant une forte courbure. L'effet de la contamination est donc inversement proportionnel à l'épaisseur relative de l'aile.

En vol, la température d'impact augmente avec la vitesse : les avions rapides sont moins vulnérables au givrage.

## 3-2-1-3 Givrage de l'empennage

Le processus de formation est identique à celui d'une aile si ce n'est que la corde de profil est beaucoup plus faible ce qui implique une rugosité relative élevée.

Symptômes : modification d'assiette à piquer (compensée par le PA si engagé), oscillations, perte d'efficacité de la profondeur, mouvement incontrôlé à piquer.

*Des problèmes de contrôle peuvent intervenir au moment de la sortie des volets : modification de l'équilibre des forces non compensée par la faible portance d'un empennage contaminé.*

### 3-2-1-4 Effets sur les gouvernes

- **Augmentation du moment de charnière** des gouvernes sur les avions non équipés de servocommandes : lorsque de la glace se forme sur l'extrados de la gouverne de profondeur (ou aileron), il y a modification de l'écoulement aérodynamique : la gouverne est ainsi entraînée dans un mouvement à cabrer.

Pour retrouver l'équilibre, il faut mettre du trim à piquer. Lorsque la vitesse augmente, on parvient en butée de compensation et le moment de charnière ne peut plus être annulé.

Un décollement brutal de la glace présente sur la gouverne peut avoir de graves conséquences : le mouvement de la gouverne à piquer peut entraîner une perte de contrôle.

Voir info BEA : <http://www.bea-fr.org/itp/events/ita1/ita1.pdf>

- **Blocage des volets par le gel** de l'eau présente dans les gaines des commandes.
- **Blocage des gouvernes par réhydratation des résidus** des épaississants des fluides de dégivrage :

le blocage s'opère dans les charnières entre les plans fixes et les gouvernes (ou les compensateurs) : les résidus sont réhydratés par la pluie puis gèlent lors de la montée.

Les appareils non équipés de servocommandes sont plus sensibles à ces phénomènes car l'équipage devra développer des efforts importants pour faire face à l'augmentation de la résistance de la gouverne.

## → 3-2-2 PROPULSION AVION

Les effets varient en fonction du type de propulseur (turbo-propulseur, turboréacteur, turbomoteur, moteur à piston), de la disposition des moteurs (sous les ailes ou à l'arrière), et de la configuration des entrées d'air. Risques encourus :

- Extinction moteur due au givrage entrée d'air et fan + ingestion glace ou slush.
- Perte de puissance.
- Vibrations élevées.
- Endommagement des turbomachines.
- Projection de glace par les hélices.

### 3-2-2-1 Givrage moteur

Le givrage s'opère dans l'entrée d'air par accumulation de neige/glace qui obstrue le conduit aérodynamique et diminue ainsi le rendement du moteur. Ces accumulations peuvent s'opérer au sol (absence de contrôle de l'entrée d'air, roulage sur les taxiways contaminés) ou en vol lorsque les dispositifs de protections ne sont plus suffisants. Elles peuvent se détacher des entrées d'air et entrer en contact avec les aubages du compresseur.

La présence de contaminants sur les aubages du compresseur peut générer d'importantes vibrations imposant des limitations d'utilisation du moteur.

Le roulage est particulièrement propice au givrage des turboréacteurs puisque tournant à faible régime, le givre peut se former dans l'entrée d'air ou sur les aubages, et le moteur a

tendance à aspirer les contaminants sur les aires de roulage.

Voir SIN EASA : [http://www.easa.europa.eu/home/c\\_sin.html](http://www.easa.europa.eu/home/c_sin.html)

Le givrage est favorisé par :

- La non détection de dépôts dans les entrées d'air selon leur configuration (turbopropulseurs) ou sur la face arrière des aubes.
- Les opérations au sol, sous précipitations à des températures voisines de 0°C, après la mise en route.
- Une utilisation tardive des systèmes d'antigivrage en conditions de givrage sévère.

**Givrage par cristaux de glace (ice cristal icing) :** des pertes de puissance et extinctions moteurs ont eu lieu en haute altitude, lors de la traversée de fortes pluies, à proximité d'orages. Sans que l'équipage perçoive des signes de givrage, des cristaux de glace en quantité significative peuvent passer à travers le fan, entrer dans le compresseur, fondre et créer un film humide sur les aubages, les parties relativement chaudes et les vannes de prélèvement d'air. Ce film peut ensuite capter d'autres cristaux qui en s'agglomérant peuvent entraîner un décrochage compresseur et une extinction.

Conditions propices :

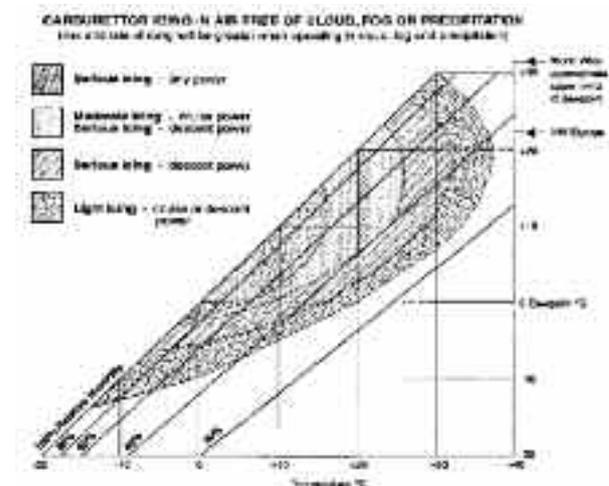
- L'été, à proximité de nuages convectifs.
- Altitude > à 20000 ft.
- Indications de TAT anormales (ISA +10).

Voir : [http://www.flightsafety.org/asw/juno8/asw\\_juno8\\_p12-16.pdf](http://www.flightsafety.org/asw/juno8/asw_juno8_p12-16.pdf)

### 3-2-2-2 Givrage des moteurs à pistons

En ce qui concerne les moteurs à pistons équipés de carburateur, le givrage intervient par formation de glace là où l'air humide est détendu et où le carburant est vaporisé (en température positive et hors conditions givrantes).

Les conditions propices au givrage sont une température comprise entre 0 et 15°, une forte humidité relative et un régime moteur faible (papillon fermé).



Les moteurs à pistons à injection peuvent également être victimes du givrage du conduit d'admission.



## EFFETS DU GIVRAGE SUR LES AÉRONEFS

### → 3-2-3 HÉLICOPTÈRES

#### 3-2-3-1 Givrage rotor (Tête de rotor et pales)

- La perte asymétrique de glace peut entraîner d'importantes vibrations.
- Les capacités d'autorotation peuvent être altérées par l'accumulation de givre sur la partie centrale du disque rotor.

#### 3-2-3-2 Givrage moteur

- L'ingestion de glace par les turbomoteurs est liée au décollage de la glace accumulée dans les entrées d'air ou déposée sur le fuselage.
- L'obstruction de l'entrée d'air peut provoquer une perte de puissance voire l'extinction du moteur. Le vol en conditions givrages avec des filtres/grilles (inlet screens) installés devant les entrées d'air présente un réel danger.

#### 3-2-3-3 Givrage cellule

L'augmentation de la masse est marginale mais peut avoir d'importantes répercussions si elle est conjuguée à une perte de puissance.

### → 3-2-4 EFFETS SUR LES AUTRES SYSTÈMES

**3-2-4-1 Givrage des dispositifs anémométriques :** lorsque l'antigivrage est inopérant ou insuffisant à empêcher l'accrétion, les indications anémométriques (badin, vario-mètre...) peuvent devenir erratiques, des alarmes de décrochage risquent de survenir.

**3-2-4-2 Givrage du carburant :** chaque type de carburant a des caractéristiques propres en matière de point de congélation et des limitations d'utilisation pour chaque type d'appareil lui sont associées.

Pour mémoire : température de congélation du carburant JET A1 = - 47°C

Outre les caractéristiques de chaque carburant, la présence d'eau dans les réservoirs à des températures négatives entraîne la formation de cristaux de glace. Lorsque la température s'abaisse au-delà de -18°, ces cristaux s'agglomèrent ce qui peut perturber l'alimentation des moteurs (particulièrement si des systèmes d'élimination de l'eau sont défectueux) voire même leur extinction.

**3-2-4-3 Givrage du pare-brise :** même si l'antigivrage des glaces est actif, il peut parfois être insuffisant en cas de givrage fort et entraîner la perte des références visuelles.

**3-2-4-4 Blocage des issues :** les joints des issues peuvent geler et empêcher leur ouverture et rendre hasardeuse une évacuation.

**3-2-4-5 Obstruction des drains :** l'accumulation de glace sur les drains et mises à l'air libre, peut provoquer des dysfonctionnements (circuit carburant).

**3-2-4-6 Entrave au bon fonctionnement du train d'atterrissage :** l'accumulation de neige ou de « slush » (lors du roulage ou du décollage) sur les portes ou les contacteurs peut perturber la manœuvre du train d'atterrissage. La présence de slush autour des roues peut également provoquer leur blocage.

**3-2-4-7 Augmentation de la consommation de carburant :** l'altération des performances de l'appareil dues au givrage susceptible d'être rencontré doit être pris en compte dans le calcul du carburant embarqué (voir les données constructeur en ce qui concerne le carburant supplémentaire).

**3-2-4-8 Altération des communications radio :** le givrage des antennes peut perturber les signaux radio par distorsion du signal ou provoquer une altération mécanique de l'antenne en engendrant des vibrations.

*Nota : Même s'il ne s'agit pas à proprement parler de « givrage » de l'aéronef, la rencontre de grêle peut provoquer des dommages structurels importants :*

*En vol, les ailes et plus particulièrement les bords d'attaque peuvent être déformés sous l'effet du choc des grêlons et en modifier irrémédiablement les caractéristiques. Toutes les surfaces directement en contact avec le vent relatif peuvent être touchées : radôme, entrées d'air...*

*Au sol, l'effet peut se faire ressentir sur tout le revêtement de l'extrados de l'appareil (ailes, gouvernes, fuselage...).*

## 3-3- CONCLUSION

Le givrage peut avoir des conséquences multiples sur les systèmes de l'aéronef et ces effets peuvent se conjuguer.

**Même une faible quantité de contaminants givrés peut avoir d'importantes répercussions en matière de performances aérodynamiques.**

Cette contamination se manifeste de manière aiguë lors de la modification de la configuration de l'appareil ou du changement d'attitude. C'est pour cela qu'il est indispensable de respecter le principe de l'« avion propre » avant d'entamer un vol.

**Tous les appareils, y compris ceux dotés de turboréacteurs, sont concernés par ce risque.** De même, des appareils de tourisme, non dégivrés peuvent être confrontés à ces phénomènes lors de la rencontre inopinée de telles conditions.

Les appareils sont plus vulnérables lorsqu'ils évoluent en basses couches et lors des phases d'approche ou de décollage. Cependant, les effets du givrage peuvent aussi se ressentir à des niveaux élevés ou des températures très basses (< à -15°C).

**L'intensité du givrage est parfois difficile à apprécier et peut de plus évoluer rapidement. Les accidents sont généralement liés à la sous-estimation du phénomène.**

## 4-1 LUTTE ET PROTECTION CONTRE LE GIVRAGE AU SOL (dégivrage & antigivrage)

### → 4-1-1 PRÉAMBULE

La contamination au sol peut s'étendre, uniformément ou non, à toutes les surfaces d'un aéronef dont certaines peuvent être difficiles à observer. Elle ne fait aucune distinction entre les petits avions, les gros avions ou les hélicoptères.

**IL N'Y A JAMAIS DE QUANTITE NEGLIGEABLE DE GLACE OU DE GIVRE !**

L'adhésion au **CONCEPT DE L'AERONEF PROPRE** est essentielle pour garantir la sécurité du vol : l'importance des effets de la contamination est telle qu'il est **interdit d'effectuer ou de tenter d'effectuer le décollage d'un aéronef si du givre, de la glace ou de la neige adhère à des surfaces critiques de l'appareil** :

- La dégradation des performances des aéronefs et les modifications de leurs caractéristiques de vol lorsque des contaminants gelés sont présents sur la voilure sont **imprévisibles**. Elles **peuvent être dissymétriques**. Elles **peuvent être masquées par l'effet de sol** dans les premiers instants du décollage.
- Un contaminant peut aussi empêcher le mouvement des gouvernes, obstruer des sondes essentielles à la conduite machine ou au fonctionnement des systèmes, ou gravement affecter le fonctionnement des moteurs, ...



© Transport Canada



© NASA

La lutte contre le givrage au sol passe impérativement par :

- Des procédures à jour et une communication précise entre les différents acteurs : le tout conforme à la réglementation et aux pratiques recommandées.
- Une bonne connaissance des phénomènes de givrage et de leur complexité.
- Une stratégie de lutte qui consiste en :
  - Une analyse de la situation,
  - Un traitement adéquat de l'aéronef (méthodes, fluides utilisés), un contrôle de la qualité de ce traitement,
  - Un suivi de l'évolution de la situation depuis la première analyse jusqu'à la prise de décision de décoller (ou non).
- Une technique de décollage adaptée.

### → 4-1-2 PROCÉDURES – COMMUNICATION

Les **procédures** de chaque intervenant doivent être documentées, à **jour** et mises en œuvre. Elles doivent être **conformes à la réglementation et aux pratiques recommandées en vigueur** (voir en particulier avec les recommandations de l'AEA : <http://www.aea.be/press/publications/index.html>). Le cas échéant, elles doivent décrire les consignes particulières applicables à un type d'aéronef donné.

Le strict respect des procédures est la meilleure façon de se prémunir du risque de givrage.

**A aucun moment, la communication** entre les différents personnels impliqués dans la mise en œuvre des procédures **ne doit être approximative** :

- utiliser un **vocabulaire précis et approprié** : un dégivrage n'est pas un antigivrage, le nom du fabricant (la marque) d'un fluide n'est pas la dénomination du fluide (c'est cette dernière qui doit être transmise à l'équipage)...
- **respecter la codification réglementaire** pour transmettre (recevoir) les **paramètres du traitement sans en oublier aucun**.

De plus, **toute personne qui observe des contaminants gelés** sur les surfaces critiques d'un aéronef **doit le signaler immédiatement au commandant de bord** (équipe au sol, PNC, etc.).

### → 4-1-3 CONNAISSANCE DES PHÉNOMÈNES DE GIVRAGE AU SOL

Les paramètres impliqués dans les phénomènes de givrage au sol sont nombreux et évoluent dans le temps ; leurs interactions sont complexes et ils sont parfois difficiles à mesurer (ou peuvent ne pas être tous disponibles).

*Plus que de « conditions givrantes » (expression réductrice, trop souvent associée uniquement au tandem « OAT-Humidité visible »), il faut parler de « Conditions conduisant à la formation ou au dépôt de contaminant givré sur les surfaces de l'aéronef ».*

# 4- PROTECTION CONTRE LE GIVRAGE

Cette appellation permet de garder à l'esprit l'ensemble de conditions et de phénomènes dont la combinaison peut entraîner une contamination avant le début du décollage, entre autre :

- La température extérieure (OAT) et ses évolutions.
- Les précipitations, même faibles, et toute forme d'humidité visible.
- L'humidité de l'air ambiant, et la condensation sur la structure (aile en particulier).
- L'écart entre OAT et point de rosée.
- La température de la structure et de la surface de l'aile ainsi que la température du carburant (celui contenu dans l'aile et celui avitaillé) :

Le **phénomène de l'aile imprégnée de froid** (« cold-soaked wing ») est un phénomène dangereux : selon les conditions du vol précédent et/ou les conditions du stationnement, et/ou la température du carburant avitaillé, la température de l'aile peut être/reste négative et entraîner la congélation et l'adhérence de toute humidité entrant en contact avec sa surface (intrados et/ou extrados), même si l'OAT est très largement positive.



I-6 : Aile imprégnée de froid : congélation de l'humidité ambiante sur l'extrados

© Transport Canada



I-5 : Aile imprégnée de froid : Glace et givre sur l'intrados

© Wesjet

- L'effet du vent (refroidissement pendant le stationnement ou lors du roulage, projections, ...),
- L'exposition du point de stationnement (orientation du vent, position de l'aéronef, effet de masque des bâtiments, aéronef partiellement ou temporairement abrité...),
- Les phénomènes rencontrés lors du vol précédent qui peuvent avoir entraîné l'accrétion de contaminant sur les surfaces (l'ensemble des surfaces peut être concerné) lors du passage dans les couches chargées d'humidité (descente, approche, atterrissage) ou lors du roulage sur des taxiways contaminés.

**Connaître ces phénomènes et les garder à l'esprit est primordial pour déterminer une stratégie de lutte adaptée.**

## → 4-1-4 STRATÉGIE DE LUTTE : ANALYSE, TRAITEMENT, CONTRÔLE, SUIVI

### 4-1-4-1 Analyse

Afin de respecter le « **CONCEPT DE L'AERONEF PROPRE** », l'analyse des points précédents doit conduire :

- à effectuer un **contrôle de contamination** pour établir la nécessité de **rendre l'aéronef propre (dégivrage)** :
  - Varier les angles de vue et les angles d'éclairage,
  - Toucher les surfaces, en particulier les surfaces critiques (et pas uniquement le bord d'attaque), à la recherche de toute rugosité ou sensations tactiles différentes de celles de la peau de l'aéronef,
  - Fournir (demander) un moyen d'accéder aux surfaces difficilement observables autrement (empennage, extrados, entrées d'air, ...).
- à **anticiper une contamination et protéger l'aéronef** (rendu **propre** par un moyen adapté (**antigivrage**)).



I-7 : Contrôle tactile : recherche de contaminant givré adhérent à l'aile sous une couche de neige + utilisation d'un escabeau pour atteindre l'extrados.

© NASA

### 4-1-4-2 Traitement

Pour retirer un contaminant des surfaces d'un aéronef, il est possible d'utiliser des moyens mécaniques/manuels (balais, racloirs souples, ...), d'utiliser de l'air soufflé ou de le placer dans des conditions permettant la fonte naturelle des contaminants.

Pour protéger les surfaces propres d'un aéronef il est possible de l'abriter simplement dans un hangar, voire de couvrir tout ou partie de ses surfaces avec des protections amovibles adaptées (manchons de pales, bâches, etc.).

Se référer aux consignes de chaque constructeur de chaque type d'aéronef pour connaître la liste, les caractéristiques et les précautions d'utilisation de ces moyens.

Ces moyens mécaniques/manuels/naturels sont en général inadaptés aux gros aéronefs et/ou aux contraintes de l'exploitation quotidienne. Leur efficacité est par ailleurs très limitée, d'autant plus si les conditions conduisant à la formation ou au dépôt de contaminant givré sur les surfaces de l'aéronef restent présentes.

De ce fait, le moyen le plus utilisé pour traiter un aéronef est la pulvérisation d'un fluide aux propriétés physicochimiques adaptées : dit fluide/liquide de dégivrage ou d'antigivrage.

**ATTENTION : POUR LES HELICOPTERES, LES METHODES D'UTILISATION DES FLUIDES DE DEGIVRAGE OU D'ANTIGIVRAGE SONT ENCORE PEU (VOIRE PAS DU TOUT) DEVELOPPEES : SE RENSEIGNER AUPRES DU CONSTRUCTEUR.**

#### Principe du Dégivrage au moyen de fluide

Préalablement à l'application d'un **fluide de dégivrage**, pour économiser ce dernier, un moyen mécanique peut être utilisé pour retirer de grandes quantités de contaminant non adhérentes aux surfaces.

La pulvérisation sous forte pression et au plus près de la surface d'un liquide de dégivrage chauffé combine :

- **une action mécanique** : la pression du jet, pulvérisé près de la surface à traiter, permet de « percer » la couche de contaminant pour que le liquide entre en contact avec la peau de l'aéronef ; elle balaie le contaminant hors des surfaces,
- **une action thermique** : la chaleur (principalement conduite par le revêtement de l'aéronef) fait fondre le contaminant et le décolle de la surface.



© Flight Option



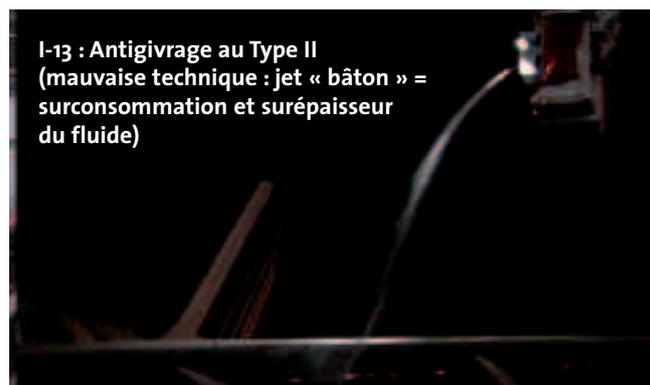
© Air France

L'action chimique du glycol contenu dans le fluide offre de plus une protection résiduelle plus ou moins longue suivant les caractéristiques du mélange fluide/eau utilisé : en cas de précipitations actives, cela permet d'appliquer un fluide d'antigivrage avant que le premier fluide de dégivrage ne gèle.

**Il est recommandé de n'utiliser que du Type I comme liquide de dégivrage** : il n'est pas recommandé de dégivrer les aéronefs au moyen de fluides de Type II ou IV car, même fortement dilués, l'application répétée de ces derniers entraîne l'accumulation de résidus, lesquels représentent un danger potentiel pour la sécurité des vols.

#### Principe d'Antigivrage au moyen de fluide

La pulvérisation d'un fluide d'antigivrage, froid, au moyen d'un jet « douche » et avec une buse très mobile, a pour but de répartir équitablement le fluide sur les surfaces à protéger pour les recouvrir d'une **couche uniforme de 2 à 3 mm de liquide visqueux**.



© Air France



© Air France



## PROTECTION CONTRE LE GIVRAGE

L'épaisseur du film visqueux et les propriétés chimiques du liquide (type et dilution) vont permettre à ce dernier d'**absorber l'humidité ambiante ou les précipitations actives** pendant un certain temps (cf. Chap. 4.4.) avant que le liquide lui-même ne commence à geler :

Le glycol contenu dans le fluide abaisse son point de congélation en dessous de la T° ambiante (dans les limites d'utilisation du fluide) ; les précipitations fondent à son contact et sont absorbées par le fluide épais ; au fur et à mesure qu'il absorbe les précipitations la dilution du fluide augmente et son point de congélation remonte ; quand le point de congélation du fluide atteint la T° ambiante, le fluide a perdu son efficacité et les précipitations gelées vont commencer à s'y agglomérer

(les propriétés du fluide rendent ce phénomène visible ce qui permet de détecter la fin de la protection).

### Fluides de dégivrage et fluides d'antigivrage

Tous les fluides de dégivrage (Type I) et antigivrage (Type II, III ou IV) doivent respecter les spécifications élaborées par la SAE (Society of Automotive Engineer) et doivent passer avec succès des tests portant sur leurs propriétés physiques, leur pouvoir antigivrant, leurs propriétés aérodynamiques et leur durée d'efficacité (<http://www.uqac.ca/amil/fr/documentation/articles/2003-2004/SAEChicago03performance-corrected.pdf>).

<p><b>Liquides de Type I</b> Norme SAE : AMS-1424 Composition : Glycol, eau. Couleur (*) : orange</p>	<p>Les liquides de Type I sont <b>conçus pour éliminer les contaminants de surfaces des aéronefs</b>. Ce sont des fluides dits « newtoniens » : Ils n'ont aucune viscosité propre ; ils offrent une protection très limitée (durée d'efficacité très faible en cas de précipitations actives ou d'aile imprégnée de froid) car la majorité du liquide s'écoule des surfaces traitées. Ils ont tendance à geler rapidement (et dès qu'ils gèlent, ils adhèrent à la surface de l'aéronef), rendant la prédiction ou l'observation de leur perte d'efficacité quasi impossible. Ils doivent toujours être dilués : se reporter aux consignes du fabricant de fluide.</p>
<p><b>Liquides de Type II ou IV</b> Norme SAE : AMS-1428 Composition : Glycol, eau, épaississants (polymères). Couleur (*) : Type II = incolore Type IV = vert</p>	<p>Bien qu'ils puissent être aussi utilisés pour dégivrer les aéronefs (si appliqués sous pression, chauffés, dilués), ils sont <b>principalement conçus pour une protection antigivrage</b> ; les polymères qu'ils contiennent leur donnent des propriétés particulières :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- liquides <b>visqueux</b> : ils restent sur les surfaces après l'application ; très peu de liquide s'écoule d'un aéronef immobile ou au roulage.</li> <li>- liquides « <b>non newtoniens</b> » : la viscosité diminue sous l'action de forces de cisaillement ce qui permet d'évacuer le liquide lors de la course au décollage (écoulement aérodynamique de l'air).</li> <li>- ces liquides gèlent progressivement, de la surface du liquide vers la surface de l'aéronef, ce qui permet de détecter la fin de l'efficacité du liquide.</li> </ul> <p>Cela permet de plus longues durées d'efficacité dans des conditions de précipitations étendues (taux et type) comparé aux liquides de Type I (<a href="http://www.tc.gc.ca/AviationCivile/commerce/DelaisdEfficacite/menu.htm">http://www.tc.gc.ca/AviationCivile/commerce/DelaisdEfficacite/menu.htm</a>).</p> <p>Ils peuvent être utilisés purs (100 %) ou dilués avec de l'eau (25 % d'eau ou 50 % d'eau).</p> <p><b>Inconvénient de ces fluides :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ils sont très sensibles aux conditions de stockage (cisaillement dans des pompes inadaptées ou mal réglées, exposition aux UV, corrosion) et d'utilisation (chauffage répétés) qui dégradent leurs propriétés antigivrantes,</li> <li>- ils ne devraient être utilisés que sur des aéronefs ayant une vitesse de rotation élevée (sup à 100kt) : consulter le constructeur (fluides approuvés, éventuelles majoration des vitesses de décollage).</li> <li>- ils entraînent le dépôt de résidus sur les surfaces traitées lesquels s'accumulent avec la répétition des applications et en l'absence de lavage régulier avec un liquide de Type I ou de l'eau. Ces résidus représentent un danger potentiel pour la sécurité des vol (profil aérodynamique des ailes perturbé, réhydratation de résidus secs qui gèlent et bloquent les commandes, ...).</li> </ul>
<p><b>Liquides de Type III</b> Norme SAE : AMS-1428 Composition : Glycol, eau, épaississants (polymères). Couleur (*) : jaune</p>	<p>Ce sont des fluides d'antigivrage épaissis, dont les caractéristiques générales sont identiques à celles des liquides de Type II ou IV, sauf en ce qui concerne la viscosité. Leur viscosité est plus faible : ils ont été conçus pour être utilisés sur des aéronefs ayant une vitesse de rotation faible (inf. à 100 kt). Ils sont peu répandus et sont exclusivement utilisés en Amérique du Nord.</p>

Dans tous les cas, les fournisseurs de service de dégivrage/antigivrage doivent suivre les consignes du fabricant du fluide (consignes de dilution, limites d'utilisation, conditions de stockage et d'application, etc.).

I-15 : Echantillons\* des différents fluides disponibles (le Type III n'est pas encore présent en Europe)



© NASA

(\*) : Attention : les couleurs ne sont données qu'à titre indicatif ; les spécifications SAE n'imposent pas la coloration systématique, elles recommandent seulement les couleurs si le fabricant décide de teinter son fluide

#### Prévention des risques de résidus de fluides épais

Eviter la répétition de l'application de fluides AMS1428 est la seule mesure actuellement efficace pour éviter autant que possible l'accumulation de résidus de fluides sur les surfaces de l'aéronef (zones aérodynamiquement calmes ou non), à l'intérieur des panneaux/carénages, dans les cavités ou dans les commandes de vols (<http://www.bea-fr.org/francais/rapports/rap.htm>, rapport N°1 ; [http://www.bfu-web.de/cln\\_009/nn\\_53140/EN/Publications/Investigation\\_20Report/2005/Report\\_05\\_5X007\\_BAE146\\_Stuttgart\\_templateId=raw,property=publicationFile.pdf/Report\\_05\\_5X007\\_BAE146\\_Stuttgart.pdf](http://www.bfu-web.de/cln_009/nn_53140/EN/Publications/Investigation_20Report/2005/Report_05_5X007_BAE146_Stuttgart_templateId=raw,property=publicationFile.pdf/Report_05_5X007_BAE146_Stuttgart.pdf)) :

- Privilégier l'utilisation du Type I aussi longtemps qu'il est adapté aux conditions extérieures.
- Privilégier les opérations de dégivrage/antigivrage en deux phases : 1<sup>ère</sup> phase = dégivrage au Type I, 2<sup>e</sup> phase = antigivrage avec un fluide épais (Type II ou IV),
- Assurer la traçabilité des applications pour suivre la répétition des applications de type épais et prendre les mesures d'inspection et de nettoyage appropriées (inspection/nettoyage des zones cachées et des gouvernes selon instructions du constructeur + nettoyage général régulier de la cellule).

I-16 : résidus réhydratés de fluide AMS1428 entre le Stab Trim et la gouverne de profondeur (hiver 2008)



© Luxair

I-17 : résidus réhydratés de fluide AMS1428 sur tout l'extrados des ailes (hiver 2008)



© Regional



I-19 : résidus partiellement réhydratés de fluide AMS1428 à l'intérieur des commandes de vol

© Leading Edge (Walter Randa)

I-20 : résidus de fluide AMS1428 gelés sur l'extrados des ailes



© Leading Edge (Walter Randa)

#### 4-1-4-3 Contrôle du traitement

Le contrôle de la qualité du traitement effectué est primordial :

- pour vérifier que le dégivrage a bien retiré tous les contaminants. Au besoin, un contrôle tactile doit être effectué. Dans tous les cas, se référer aux consignes constructeur pour tenir compte des particularités de l'aéronef (contrôles spécifiques) :



## PROTECTION CONTRE LE GIVRAGE

Si de la glace transparente était présente sur l'aéronef avant le dégivrage, il se peut que ce dernier ne l'ait pas entièrement retirée (elle adhère fortement aux surfaces et le transfert de chaleur via la peau de l'aéronef peut ne pas avoir été suffisant pour la décoller entièrement). Il reste alors des plaques de glace transparente sous la couche résiduelle de fluide. Ces plaques sont d'autant plus difficiles à détecter que le fluide chaud aura atténué la rugosité en surface de la glace brute. **Lors du contrôle tactile post-traitement**, outre la recherche de rugosité, **il faut être particulièrement attentif aux sensations tactiles différentes de celles de la peau de l'aéronef et aux discontinuités de surfaces.**

- pour s'assurer que l'antigivrage a bien couvert toutes les surfaces à protéger, de façon homogène et symétrique (chaque côté de l'aéronef doit être traité de façon identique), entre autre : varier les angles de vue et d'éclairage, vérifier que les bords d'attaque soient complètement recouverts, observer l'empreinte des ailes dessinée au sol par le fluide comme avec un pochoir : une absence de trace peut indiquer un défaut d'application, etc.
- dans tous les cas un moyen d'accès adéquat doit être fourni/utilisé pour permettre de réaliser ces contrôles (visuels et/ou tactiles) sur les surfaces difficilement observables depuis le sol.



© NASA

I-21 : Inspection tactile après dégivrage

### 4-1-4-4 Suivi – Temps de protection (Hold Over Time – HOT)

Quelle que soit la décision en ce qui concerne le traitement de l'avion, tant que les conditions conduisant à la formation ou au dépôt de contaminant givré sur les surfaces de l'aéronef peuvent exister, l'équipage de conduite doit assurer un suivi continu de leur évolution ainsi que de l'évolution de l'état des surfaces critiques.

Ce suivi doit être assuré jusque dans les derniers instants qui précèdent le décollage : ce n'est qu'à ce moment que le Commandant de Bord prendra la décision finale, soit de s'aligner pour décoller sans délais, soit de rejoindre un emplacement pour effectuer une vérification complémentaire ou un (nouveau) traitement.

Les tables des temps de protection (Hold Over Time Tables – HOT Tables) des fluides de la SAE sont mises à jour régulièrement sur le site des Autorités canadiennes (<http://www.tc.gc.ca/AviationCivile/commerce/DelaisEfficacite/menu.htm>).

Cette publication donne la liste des fluides qualifiés par le Laboratoire International de Matériaux Antigivre (seul habilité à ce jour, le LIMA est rattaché au Département des Sciences Appliquées de l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC), <http://www.uqac.ca/amil/>) et permet de vérifier la validité d'un fluide donné ; elle présente en outre un tableau de correspondance entre la VISIBILITÉ DANS LA NEIGE PAR RAPPORT À L'INTENSITÉ DES PRÉCIPITATIONS, et, pour le personnel au sol, les procédures d'application de chaque type de fluide ainsi que les valeurs de viscosité la plus basse pour les fluides épaissis.

Les temps de protection (Hold Over Time - HOT) sont une indication de la durée de protection raisonnablement attendue dans des conditions de précipitation données.

Ils dépendent de la façon dont les conditions extérieures évoluent : type et intensité des précipitations, OAT, qualité du film de protection sur les surfaces, etc.

Leur prise en compte ne peut se faire qu'associée à un suivi de l'évolution des conditions extérieures et de l'état des surfaces :

- Une étude menée par Transport Canada a montré qu'il arrive rarement que les pilotes décollent alors que la durée d'efficacité des liquides s'achève et qu'ils sont donc peu habitués à reconnaître les signes de perte d'efficacité et à savoir où rechercher de tels signes sur les surfaces critiques (lorsque les conditions d'observation le permettent) :
  - L'inspection avant le décollage devrait viser avant tout le bord d'attaque et le bord de fuite de l'aile. Les gouvernes et/ou les déporteurs (spoilers) du bord de fuite donnent habituellement des signes précoces d'une perte d'efficacité imminente du liquide sur le bord d'attaque.
  - Un fluide dont la perte d'efficacité est imminente présente un aspect mat alors qu'un fluide encore efficace présente un aspect brillant.

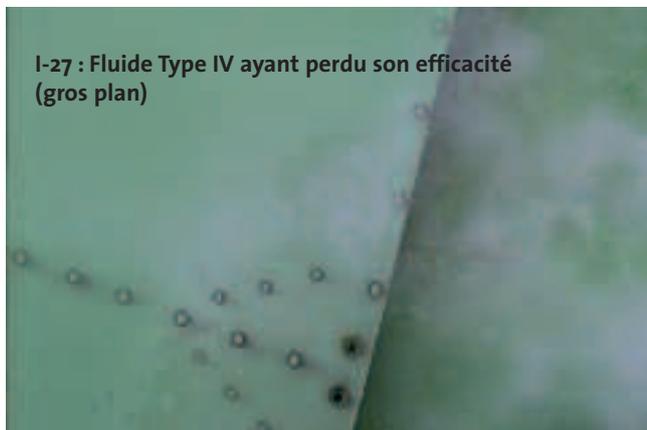


I-26 : Perte d'efficacité d'un fluide de Type II en plusieurs endroits de l'aile

© Transport Canada

I-27 : Fluide Type IV ayant perdu son efficacité (gros plan)

© Wesjet



#### → 4-1-5 TECHNIQUE DE DÉCOLLAGE ADAPTÉE

Le décollage d'un avion traité par fluide ou d'un avion non traité opérant par conditions adverses réclame l'observation de certaines précautions :

- Lorsque publiées, suivre les recommandations constructeur (majoration de vitesse de décollage) associées à l'utilisation de fluides épaissis (Type II et IV).
- Dans tous les cas, avion traité ou non, et particulièrement lorsque le décollage s'effectue en conditions hivernales adverses : effectuer une rotation souple et constante afin de garder une cadence en rotation inférieure ou égale à  $3^\circ/s$ .  
Attention : plusieurs accidents sont consécutifs à une rotation anticipée et trop brutale.

## 4-2 DÉFENSES CONTRE LE GIVRAGE EN VOL

On ne peut parler du givrage en vol sans énoncer un principe de base, principe valable pour tous les avions évoluant dans des conditions givrantes fortes, dues soit au niveau de vol, soit aux conditions météorologiques défavorables, ce principe de base sera de quitter les conditions givrantes si c'est possible, sinon rechercher une stratégie permettant de moins givrer de façon à toujours garantir la sécurité.

Parmi les principes généraux de lutte contre le givrage, on peut retenir l'utilisation des moyens de dégivrage, et l'utilisation des moyens de détection et d'anticipation du givrage. Les actions consistant à prévenir les effets du givrage viendront ensuite.

Ainsi, prévention, détection et stratégie de lutte sont les moyens à mettre en œuvre successivement contre le givrage.

#### → 4-2-1 PRÉVENTION

La prévention du givrage pourra se faire par exemple en utilisant de façon permanente le réchauffage des glaces, le réchauffage des sondes anémométriques, en mettant en marche de façon préventive le dégivrage des entrées d'air moteur.

La prévention du givrage peut recouvrir différentes formes dont la plus importante est l'information. Les PIREPS qui ne sont pas encore véritablement utilisés en France, les observations d'aérodromes et aussi les observations ponctuelles venant d'autres aéronefs se situant dans la même zone. Il est très important d'insister sur l'information car plus celle-ci est fluide et rapide, plus les dangers sont à même d'être écartés. Aussi la lecture attentive des cartes météo à ce sujet renseigne le pilote sur les conditions givrantes qu'il va rencontrer sur son trajet.

#### → 4-2-2 DÉTECTION

Il existe plusieurs principes de détection du givrage, tels que :

- Observation d'indices visuels spécifiques ou non
- Détection de conditions givrantes.
- Détection d'accrétion de glace.
- Surveillance des performances aérodynamiques.

La détection visuelle peut s'effectuer en observant l'accrétion de glace sur une sonde dédiée (Ice évidence probe), on parle alors d'indices visuels spécifiques.

Les accrétions sur les glaces, les entrées d'air moteur, les cônes d'hélices ou les essuie-glaces constituent des indices révélateurs d'un givrage important.

La détection de conditions givrantes ou d'accrétion de glace peut être réalisée à l'aide de sondes dédiées.

Différents types de sondes sont utilisés pour détecter les conditions givrantes mais elles sont généralement de type pénétrant.

Les sondes détectant l'accrétion sont plutôt du type affleurant et installées dans des zones spécifiques favorables aux accrétions (bords d'attaque, entrées d'air).



En cas de givrage modéré à fort, la diminution de portance et l'augmentation de la traînée consécutive à l'accrétion de contaminants sur l'aile, se traduisent par l'augmentation de l'incidence et la diminution de la vitesse.

La surveillance des performances aérodynamiques s'avère être un excellent moyen d'apprécier l'intensité et la survenue du givrage. Un système d'avenir a été développé sur ATR où il est dénommé A.P.M. (Aircraft Performance Monitoring).



## PROTECTION CONTRE LE GIVRAGE

Il permet de délivrer à l'équipage une information précise concernant la sévérité du givrage puisqu'il ne se borne pas à détecter des conditions favorables au givrage mais il surveille en permanence l'évolution des performances avion, révélatrices d'une contamination de l'appareil.

Son principe de fonctionnement est basé sur la comparaison entre la traînée théorique sans accréation et la traînée réelle de l'appareil à l'instant donné.

L'APM fournit une aide à l'équipage afin d'anticiper la décision de quitter les conditions de givrage sévère avant qu'elles n'entraînent une perte de contrôle. Nous sommes là à mi-chemin entre la prévention et la détection ce qui démontre une fois de plus que la sécurité concernant le givrage peut être appréciée tout au long d'un processus qui ne se limite pas à la détection de conditions favorables à ces phénomènes.

### → 4-2-3- DISPOSITIFS DE DÉGIVRAGE ET D'ANTIGIVRAGE

#### 4-2-3-1 Dispositifs communs à tous types d'avions

Les éléments dégivrés ou antigivrés sur un avion sont :

- les différentes sondes (anémométriques, de décrochage),
- les entrées d'air moteur et certains éléments du moteur,
- les bords d'attaque de l'aile,
- les bords d'attaque du plan fixe horizontal, parfois la dérive,
- les glaces frontales et latérales.

Il convient de préciser que les éléments protégés contre le givrage peuvent être dégivrés ou antigivrés. Dans ce dernier cas, l'utilisation des systèmes est davantage préventive (empêche l'accréation de glace) que curative (élimine la glace accumulée) : leur fonctionnement est permanent et peut intervenir dès le début de la phase de vol afin de prévenir

toute accréation sur des éléments vitaux pour la poursuite du vol : tubes pitots, glaces frontales, entrées d'air, cônes d'hélices...

Une fois le givrage détecté, les systèmes de dégivrage sont mis en fonctionnement de manière automatique ou manuelle, mais leur utilisation peut aussi être anticipée.

Les turbomachines quant à elles sont protégées par des dispositifs d'antigivrage à air chaud présents dans les entrées d'air et/ou les stators des compresseurs.

Les bords d'attaque sont généralement dégivrés par circulation d'air chaud (environ 80°C) prélevé au niveau des compresseurs moteurs. Leur utilisation est limitée au sol afin d'éviter les déformations du revêtement.

On trouve également des dispositifs pneumatiques à effet mécanique, des dégivreurs électrothermiques.

#### 4-2-3-2 Appareils à hélices (turbopropulseurs et pistons)

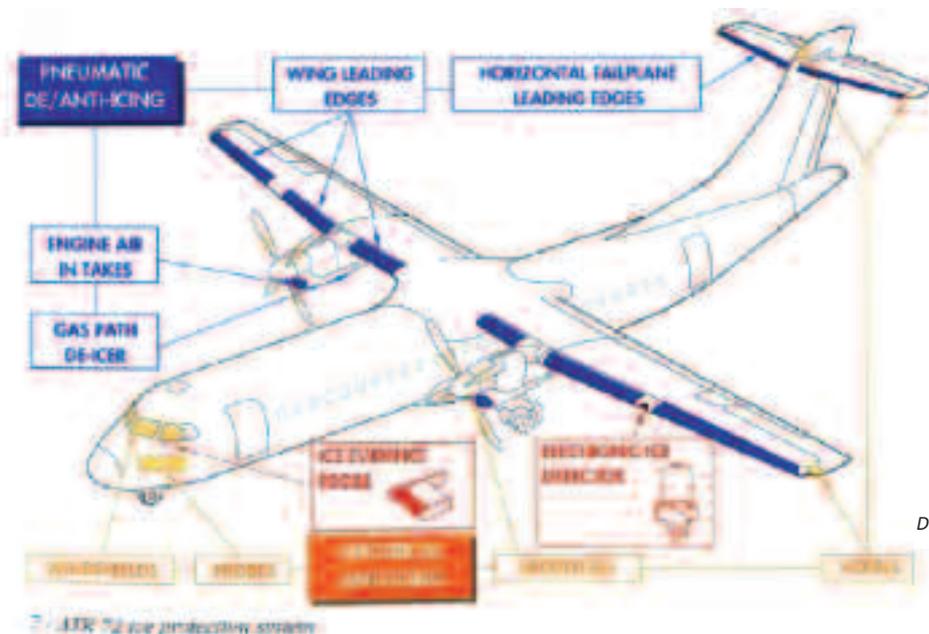
En plus des dispositifs cités précédemment, les hélices nécessitent une protection contre les effets du givrage, afin de garantir un rendement optimal, permettre un libre changement de pas et éviter les projections trop importantes de glace.

Pour ce faire, le bord d'attaque des pales est dégivré, généralement dans la partie de profil la plus proche du cône : les dispositifs utilisés font appel à des tapis de dégivrage électrique dont le fonctionnement est généralement cyclé.

On rencontre encore aujourd'hui sur des avions légers, des dispositifs basés sur la projection de glycol.

Les cônes d'hélice peuvent également être dégivrés, de façon cyclée comme les pales ou en continu.

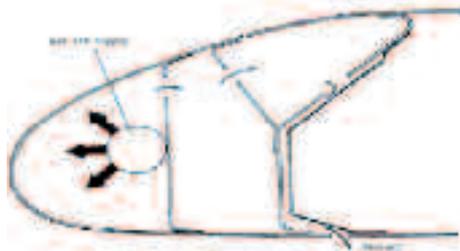
Les entrées d'air des GTP peuvent être protégées par circulation d'air chaud ou par des dispositifs pneumatiques à effet mécanique.



Document ATR

(4) GTP : Groupe Turbopropulseur

La puissance plus limitée des turbopropulseurs comparée à celle disponible sur les jets a conduit les constructeurs à privilégier le dégivrage des bords d'attaque des ailes par dispositifs pneumatiques à effet mécanique (boudins ou boots). On trouve cependant quelques turbopropulseurs équipés de dégivrateurs électriques ou à circulation d'air chaud.



Ci-dessus : bord d'attaque dégivré par circulation d'air chaud.  
Ci-contre : dégivrateurs pneumatiques à boudins gonflables.  
*Documents Icing flight manuel - DGAC*

Ces dispositifs pneumatiques font appel à des tapis parcourus par des chambres qui sont alternativement gonflées puis dégonflées.

Cependant, la circulation d'air chaud reste le procédé le plus efficace bien que nécessitant des prélèvements de puissance importants.



#### 4-2-3-3 Hélicoptères certifiés pour le vol en conditions givrantes

Outre les éléments communs à tous les appareils (protection des glaces, sondes, entrées d'air), ce type de machine nécessite le dégivrage des pales (rotor principal et anti-couple) : celui-ci est assuré électriquement par des tapis chauffants présents sur leur bord d'attaque ; les pales du rotor principal sont dégivrées de façon cyclique tandis que les pales du rotor anti-couple sont antigivrées en permanence.

#### → 4-2-4 STRATÉGIE DE DÉFENSE

Il ne faut pas perdre de vue le fait que même si un avion est certifié pour opérer en conditions givrantes, l'expérience a montré que des phénomènes atmosphériques extrêmes peuvent être rencontrés. Tous les types d'appareils peuvent être concernés.

**Le principe de base de la protection contre le givrage est l'attention qui doit être portée aux performances.**

En ce qui concerne les appareils équipés de turboréacteurs (jets), la stratégie peut être assez différente de celle retenue pour les turbopropulseurs. En effet, on peut considérer que d'une manière générale les jets sont moins exposés que les turbopropulseurs car ils passent généralement moins de temps en atmosphère givrante en raison de leur vitesse ( $V_i/V_p$  et  $V_z$ ) et des niveaux de croisière utilisés.

La marge de protection des réacteurs est supérieure à celle des turbopropulseurs compte tenu des moyens mis en œuvre pour le dégivrage (air chaud d'efficacité supérieure aux boots). L'utilisation de ces dispositifs peut entraîner pour certains appareils une baisse des performances liée à l'augmentation des prélèvements.

Les turbopropulseurs sont en revanche davantage soumis aux aléas du givrage de par leur altitude de vol, leur vitesse et tous les paramètres météo qui favorisent par ailleurs l'accrétion de givre, par exemple : le vol en atmosphère orageuse, le vol en atmosphère humide et température basse, le vol en conditions givrantes en général.

→ **Le meilleur moyen de prévenir le risque givrage consiste à éviter la traversée des zones (localisation géographique et tranche d'altitude concernée) où un givrage modéré ou fort est prévu ou rapporté.**

Pour ce faire, il faut :

- Prendre en compte les **prévisions météo** (TEMSEI, TAF...)
- Prendre en compte les **observations météorologiques** et toute **actualisation** possible (SIGMET, METAR...)
- Prendre en compte les reports en temps réel de phénomènes météo dangereux :
  - les PIREPs/AIREPs si disponibles,
  - l'écoute des échanges radio peut renseigner sur la rencontre de phénomènes de givrage,
  - l'ATC dans le cadre du service d'information de vol peut transmettre toute information météo utile.



## PROTECTION CONTRE LE GIVRAGE

- Surveiller l'**évolution des conditions extérieures** (températures, masses nuageuses...).
  - Tenir compte des systèmes de détection de givrage et des indices visuels.
- **Lorsque malgré tout, l'aéronef est amené à traverser des conditions givrantes, il faut :**
- Assurer un **suivi des paramètres de vol, des conditions extérieures et des indices visuels spécifiques** afin d'évaluer rapidement l'intensité du phénomène.
  - Ne pas hésiter à **anticiper** l'utilisation des systèmes de protection même si le givrage paraît faible : le givre transparent est difficile à détecter !
  - Reporter à l'ATC le phénomène rencontré.
- **Lorsqu'il s'avère que l'aéronef se trouve en conditions de givrage fort, il faut :**
- Appliquer les **procédures et limitations** spécifiques de l'AFM (reprises dans le manuel d'exploitation).
  - Continuer à assurer un **suivi des paramètres de vol, des conditions extérieures et des indices visuels spécifiques**.
  - **Modifier sans tarder le profil du vol** (changement de niveau et/ou de cap).
- **Se préparer à sortir en urgence** de conditions pouvant devenir sévères.
  - **Informers sans délai l'ATC** des difficultés rencontrées.
- **Quand l'utilisation des systèmes de protection devient inefficace à éliminer la contamination de l'appareil ou que l'accrétion s'effectue sur des surfaces non protégées ou situées en arrière des dispositifs de protection :**
- Quittez **immédiatement** ces conditions (voir introduction).
- Sauf cas exceptionnel (certitude de retrouver des conditions favorables après une brève montée), la sortie par la montée est généralement à proscrire en cas de givrage sévère car les performances de l'appareil auront été fortement dégradées par la contamination. La montée peut s'avérer particulièrement laborieuse (taux de montée et  $V_i$  faible).
- Rappel : lorsque la perte de contrôle intervient néanmoins : « **Go to basics !** » : appliquez les manœuvres de base de récupération définies par le constructeur (Stall recovery).

Le but de ce chapitre est de faire l'inventaire de la réglementation applicable dans les domaines de la navigabilité de l'aéronef et de celui des opérations. Et ce pour ce qui concerne les conditions de givrage lors du séjour au sol et le givrage en vol<sup>5</sup>.

## 5-1 NAVIGABILITÉ DE L'AÉRONEF

La réglementation applicable porte sur la partie « en vol » du vol afin de certifier les moyens de détection et de protection<sup>6</sup>:

- CS 25 (EASA) ainsi que l'Appendice « C » pour les avions redevables de ce règlement, dits avions de transport<sup>7</sup>.

Lorsque l'avion est certifié pour le vol en conditions (de vol) givrantes cela valide sa capacité à opérer dans ces conditions avec le niveau de sécurité visé par le règlement lorsque les systèmes de protection sont utilisés conformément au manuel de vol.

L'appendice « C » est l'enveloppe des conditions givrantes qui doivent être explorées lors du processus de certification. Or cette enveloppe ne couvre que les nuages contenant de l'eau en surfusion. Cet appendice est par essence limité.

La certification ne peut couvrir toutes les conditions qui pourraient être rencontrées dans l'atmosphère. L'expérience en vol des cinquante dernières années ainsi que les recherches menées sur les phénomènes atmosphériques ont confirmé l'existence de conditions non couvertes par l'appendice « C » et pouvant conduire à des effets sur avion plus sévères que ceux acceptés au titre du CS-25 et de l'appendice « C ».

Des évolutions de la réglementation et notamment de l'appendice « C » sont en chantier. Elles seront applicables aux nouveaux aéronefs, mais ne permettront cependant pas de couvrir toutes les conditions susceptibles d'être rencontrées.

Il reste et il restera, en vol, des conditions rencontrées dépassant les capacités de détection et de protection pour le type d'aéronef impliqué.

- CS 23 pour les avions redevables de cette réglementation.
- Respectivement CS 29/CS 27 pour les hélicoptères dits de transport/hélicoptères légers.

Il est à noter que très peu d'hélicoptères sont déclarés « certifiés » pour le vol en conditions givrantes.

Pour ces derniers, on fixe des obligations et on utilise des outils de certification comparables à la CS25.

## 5-2 EXPLOITATION DE L'AÉRONEF

Les points de réglementation vont couvrir essentiellement les domaines suivants :

- Obligations et procédures
- Equipement : obligation, descriptif et fonctionnement
- Formation et entraînements des personnels impliqués
- Reports d'incidents

La réglementation d'exploitation couvre avec des modalités différentes, le givrage consécutif à un stationnement au sol (pour lequel il n'y a pas de processus de certification de navigabilité) et l'exploitation en vol, en conditions givrantes prévues ou rencontrées.

### → 5-2-1 AU SOL

*Remarque préliminaire. Au sol on ne parlera pas de « conditions givrantes », même si la définition de celles-ci existe, parce que cela ne couvre qu'une (petite) partie des préoccupations. Il faut parler de « conditions conduisant à la présence de contaminant givré sur un aéronef, suite à formation ou dépôt, lors de son stationnement au sol ».*

#### 5-2-1-1 Pour les avions exploités dans le cadre d'une activité commerciale (Transport Public avion)

- OPS 1.345 § de l'EU OPS (OPS 1) applicable au 16 juillet 2008 et Instruction 2008-13 § 1.345 publiée au BO, applicable au 16 juillet 2008.

Ces textes remplacent et reprennent respectivement :

- la section de l'OPS 1 pour ce qui concerne l'obligation de détecter et enlever, au sol, les contaminants givrés de toutes les surfaces de l'aéronef.
- la section 2 de l'OPS 1, § AMC 1.345 après amendement par l'incorporation de différentes NPA des JAA.

- La Consigne Opérationnelle 2001-2 du 1<sup>er</sup> octobre 2001 relative aux résidus de fluides épaissis d'antigivrage a été incorporée dans le texte qui figure maintenant dans l'Instruction 2008-13 §1.345. Des éléments figurent également dans la Part M de l'EASA.
- OPS1.420 sur les reports d'incidents (vient en plus des obligations légales créant le nouveau statut du BEA).
- OPS 1.345 et Instruction 2008-13 § 1.345, 1.1005 et 1.1015 relatifs à l'information à délivrer aux PNC. C'est une nouveauté incorporée à l'EU OPS par la prise en compte de la NPA 52 OPS des JAA acceptée en 2007.
- Sous-partie M (manuel d'exploitation) et N (PNT) de l' (EU) OPS 1 pour les références sur les procédures et les formations, ainsi que les paragraphes correspondants de l'Instruction 2008-13.

#### 5-2-1-2 Pour les hélicoptères exploités dans le cadre d'une activité commerciale (Transport Public hélicoptère)

- OPS 3.345 contient l'obligation d'enlever, au sol, les contaminants de toutes les surfaces de l'aéronef. Il n'y a pas d'AMC (moyen de conformité acceptable) ou d'instruction faisant référence à des procédures standardisées. Pas de procédures développées pour l'utilisation de fluides. Suivre les instructions du constructeur, appropriées à chaque type.

*Remarque. Dans le monde de l'hélicoptère, plusieurs facteurs contribuent à un moindre développement de procédures, en raison d'un moindre besoin de celles-ci.*

*Lorsque des hélicoptères sont présents au sol dans des conditions adverses, ils bénéficient plus souvent de possibilité d'abri (hangar ou auvent) ou au moins de l'utilisation de protections : bâches, obturateurs...*

*Cette situation est de plus associée à un très faible taux de machines autorisées à voler en conditions givrantes.*

Pour les hélicoptères qui n'ont pu être protégés, leur « décontamination tardive » est acceptée comme une contrainte d'exploitation.

(5) Pour ce qui concerne la météorologie et la fourniture des éléments s'y rapportant ce sera indirectement évoqué dans l'exposé spécifique sur la météorologie.



# 5- Réglementation

- OPS 3.420 sur les reports d'incidents (vient en plus des obligations légales créant le nouveau statut du BEA).
- Subpart M (Manuel d'exploitation) et N (PNT) de l' OPS 3/JAR OPS 3 pour les références sur les procédures et les formations. Ainsi que les AMC et ACJ correspondantes.  
Reprendre les instructions du constructeur appropriées à chaque type.

## 5-2-1-3 Pour tout aéronef exploité en privé ou pour le travail aérien

- Arrêté de juillet 1991, Annexe § 5.10.2 contient l'obligation d'enlever, au sol, les contaminants de toutes les surfaces de l'aéronef.
- Il n'y a pas d'AMC (moyen de conformité acceptable) ou d'instruction faisant référence à des procédures standardisées. Pas de procédures développées et rendues obligatoires pour l'utilisation de fluides.

Néanmoins, pour les avions et eux seuls il est recommandé de suivre ce qui est développé pour le transport public avion (voir ci-dessus). Y compris pour ce qui concerne les résidus de fluides d'antigivrage épaissis. La Consigne Opérationnelle 2001-2 du 1<sup>er</sup> octobre 2001 relative aux résidus de fluides épaissis d'antigivrage a été incorporée dans le texte qui figure maintenant dans l'Instruction 2008-13 §1.345.) Des éléments figurent également dans la Part M de l'EASA.

Pour les hélicoptères (exploitation 1991) les remarques faites ci-dessus sont pertinentes. Pas d'impératifs commerciaux. Très peu d'exploitations avec des stationnements en pleine nature. Suivre les instructions du constructeur appropriées à chaque type.

*Pour mémoire : avec les autres aéronefs (ballons, dirigeables...) c'est encore plus pertinent.*

- Incidents reportés Annexe §6.2.1.3 (vient en plus des obligations légales créant le nouveau statut du BEA).

## → 5-2-2 EN VOL

*Remarque préliminaire : la prise en compte d'une certification de navigabilité pour le vol en condition givrante est pour l'aéronef considéré un élément déterminant. Les conditions givrantes sont spécifiées dans le manuel de vol pour permettre leur détection et définir les procédures d'activation des protections. Elles sont reprises, voire développées, dans le manuel d'exploitation.*

### 5-2-2-1 Pour les avions exploités dans le cadre d'une activité commerciale (Transport Public avion)

- OPS 1.346 § de l'EU OPS (OPS 1) applicable au 16 juillet 2008 et Instruction 2008-13 § 1.346 au BO, applicable au 16 juillet 2008.

Ces textes remplacent et reprennent respectivement:

- la section de l'OPS 1 pour ce qui concerne l'obligation d'être équipé (spécifiée en sous-partie K) pour voler en conditions givrantes,
- la section 2 de l'OPS 1, § ACJ 1.346 amendée par l'incorporation de différentes NPA des JAA.

- OPS 1.420 sur les reports d'incidents (vient en plus des obligations légales créant le nouveau statut du BEA).
- OPS 1.346 et Instruction § 1.346, 1.1005 et 1.1015 relatifs à l'information à délivrer aux PNC. C'est une nouveauté incorporée à l'EU OPS par la prise en compte de la NPA 52 OPS des JAA acceptée en 2007.

- Subpart M (Manuel d'exploitation) et N (PNT) de l' OPS 3 pour les références sur les procédures et les formations. Ainsi que les AMC et ACJ correspondantes.

### 5-2-2-2 Pour les hélicoptères exploités dans le cadre d'une activité commerciale (Transport Public hélicoptère)

- L'OPS 3.345 pour ce qui concerne l'obligation d'être équipé (spécifiée en sous-partie K) pour voler en conditions givrantes. Noter que très peu d'hélicoptères sont déclarés « certifiés » pour le vol en conditions givrantes.

*Remarque : Le JAR OPS 3 (en anglais) contient des évolutions non encore retranscrites dans l'OPS 3 français. L'obligation d'être équipé pour voler en conditions givrantes est transférée dans le nouveau paragraphe JAR OPS 3.346. Une AMC 3.346 fournit des éléments de conformité (d'une façon similaire aux avions et avec des spécificités hélicoptère).*

Ces retards de mise à jour réglementaire feront partie des actions post séminaire.

- En attente il est recommandé de se référer à cette ACJ 3.346 du JAR OPS 3.  
Nota : l'OPS 3R devra lui aussi faire partie de la mise à jour des règlements.
- OPS 3.420 sur les reports d'incidents (Vient en plus des obligations légales créant le nouveau statut du BEA).
- Subpart M (Manuel d'exploitation) et N (PNT) de l' OPS 3 pour les références sur les procédures et les formations. Ainsi que les AMC et ACJ correspondantes.

### 5-2-2-3 Pour tout aéronef exploité en privé ou pour le travail aérien

- Arrêté de juillet 1991, Annexe § 5.10.3 concerne l'obligation d'être équipé pour voler en conditions givrantes. Il n'y a pas d'AMC (moyen de conformité acceptable) ou d'instruction faisant référence à des procédures standardisées.

Néanmoins, pour les avions il est recommandé de suivre ce qui est développé pour le transport public avion. Voir ci-dessus Instruction 2008-13 §1.346.

Pour les hélicoptères il est recommandé de suivre ce qui est développé pour le transport public hélicoptère dans l'ACJ 3.346 du JAR OPS 3.

Pour mémoire : avec les autres aéronefs (ballons, dirigeables...) pour l'exploitation desquels l'arrêté de 1991 est applicable, aucune certification identifiée pour autoriser le vol en conditions givrantes.

- Incidents reportés Annexe §6.2.1.3 (Vient en plus des obligations légales créant le nouveau statut du BEA).
- Connaissance des équipements Annexe § 4.1.3.

*Rappel : Le descriptif et l'utilisation des équipements de détection et protection font normalement partie de la qualification de classe ou de type.*

- (6) Pour ce qui concerne les conditions au sol conduisant un aéronef à être contaminé pendant son stationnement, la certification de navigabilité peut être amenée à intervenir très ponctuellement (et donc partiellement) pour définir des conditions d'emploi de certains équipements intégrés sur l'aéronef (revêtement chauffant, utilisation temporaire, au sol, du réchauffage de bord d'attaque...). Mais elle n'a pas vocation à couvrir l'ensemble du champ des conditions au sol conduisant un aéronef à être contaminé pendant son stationnement au sol. Tant pour ce qui concerne la détection de ces conditions que les actions de « décontamination » de l'aéronef rendues nécessaires.
- (7) Les règlements de certification sont dénommés Certification Specifications (CS) dans le système EASA. Les aéronefs certifiés initialement par la FAA l'ont été au moyen de la FAR correspondante.

## 6-1 OBJECTIFS DU GROUPE DE TRAVAIL

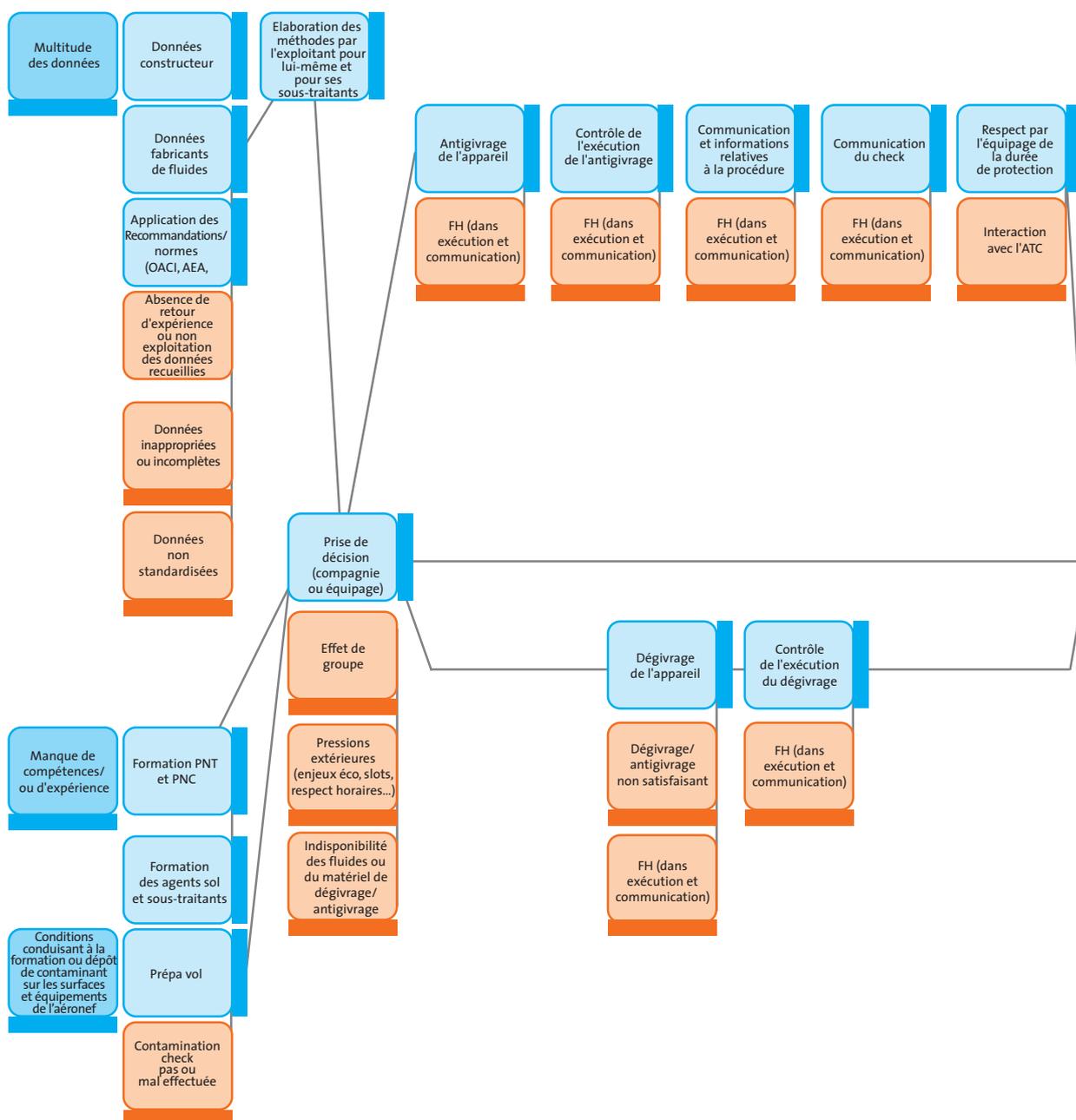
Comme il a été évoqué en introduction, l'action de réduction du risque givrage s'inscrit dans le contexte du Programme de Sécurité de l'Etat mis en place en France.

C'est pourquoi, en parallèle à l'organisation de ce symposium, un groupe de travail a été créé pour produire des outils pérennes qui vont permettre la surveillance du risque et le lancement d'actions d'amélioration de la sécurité dans le domaine.

Le mandat du groupe est de produire une fiche descriptive de l'événement givrage comprenant notamment :

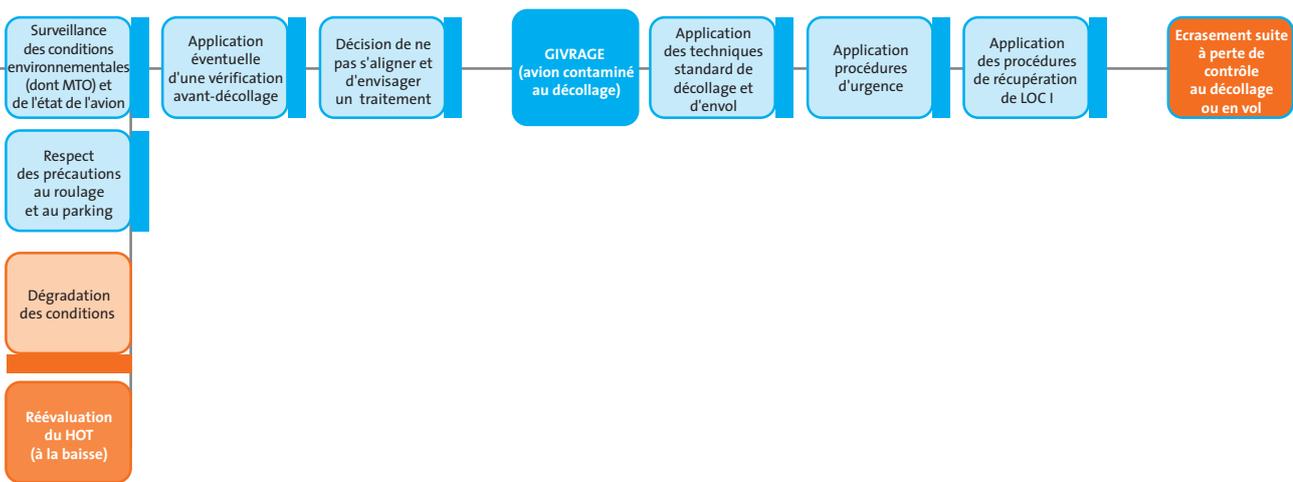
- un diagramme détaillant l'arbre de défaillances et d'événements du givrage (ou diagramme en nœud papillon),
- des indicateurs pertinents qui permettent autant que possible de « surveiller » les précurseurs de l'évènement redouté,
- un plan d'action de réduction des risques.

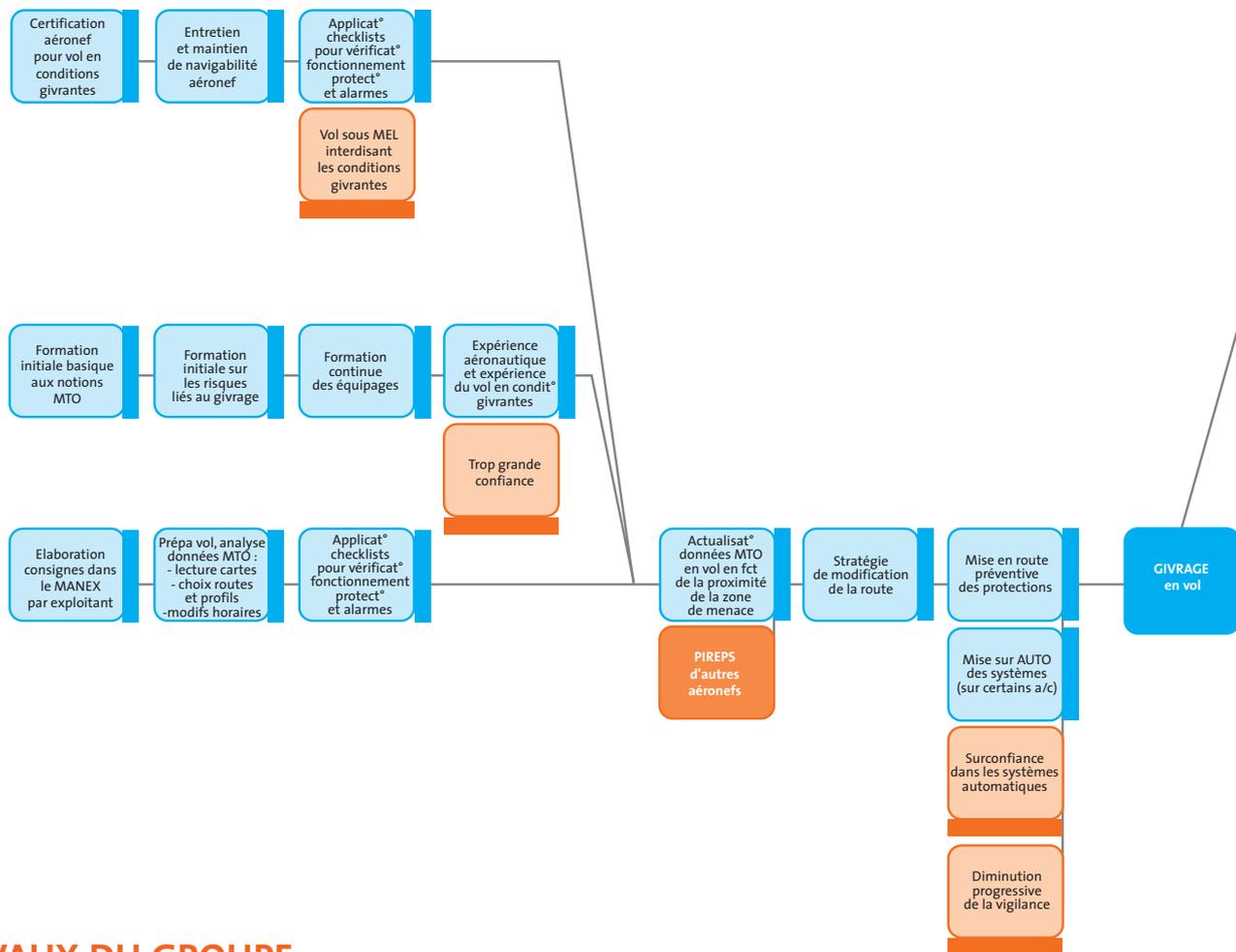
Le groupe a élaboré deux diagrammes synthétiques, le premier concernant la situation de givrage en vol, le second de givrage au sol. Les deux diagrammes simplifiés sont représentés dans les pages suivantes.





## 6- ACTIONS DE RÉDUCTION DU RISQUE « GIVRAGE »





## 6-2 TRAVAUX DU GROUPE

### → 1<sup>ER</sup> AXE DE TRAVAIL : AMÉLIORER LA COMMUNICATION ET LA CIRCULATION DE L'INFORMATION MÉTÉO

#### Formaliser un circuit de transmission en temps réel des constatations des pilotes (PIREPS ou Pilots Reports)

On a vu que la prévention des situations était notamment assurée par les deux barrières « prise en compte des prévisions météo lors de la préparation du vol » et « suivi continu de l'évolution des conditions extérieures ». Il est donc important que, d'une part les prévisions fournies par Météo France puissent être affinées grâce aux constatations faites en vol par les pilotes. D'autre part, il serait également très utile aux pilotes de disposer en temps réel des constatations d'autres pilotes sur les conditions effectivement rencontrées au cours de leur vol de façon à améliorer leur conscience de la situation.

Aujourd'hui des constatations sont rapportées par des pilotes sur la fréquence et sont souvent retransmises par les contrôleurs aux aéronefs potentiellement concernés. Toutefois ce circuit n'est pas utilisé systématiquement surtout lorsqu'il s'agit de rapporter une situation météo rencontrée mais n'ayant pas entraîné de réel événement de sécurité pour l'équipage. De la même façon la transmission de l'information par l'ATC aux autres équipages potentiellement concernés

n'est pas systématique et repose essentiellement sur le jugement du contrôleur. Enfin, ces constatations ne sont pas enregistrées dans une base de données spécifique et Météo France n'en a donc pas connaissance. L'opportunité de rédiger des SIGMET pertinents est ainsi perdue. A titre de comparaison, les Etats-Unis ont mis en place un système où les constatations des pilotes sont enregistrées par les contrôleurs sur une base dédiée, base à laquelle les services météo ont accès en temps réel. De tels mécanismes sont prévus par l'OACI (Annexe 3, Chapitre 1) et dans les PANS-ATM (Doc 4444) sous l'appellation « PIREP » (Pilots REports) / « AIREP » (Air REport).

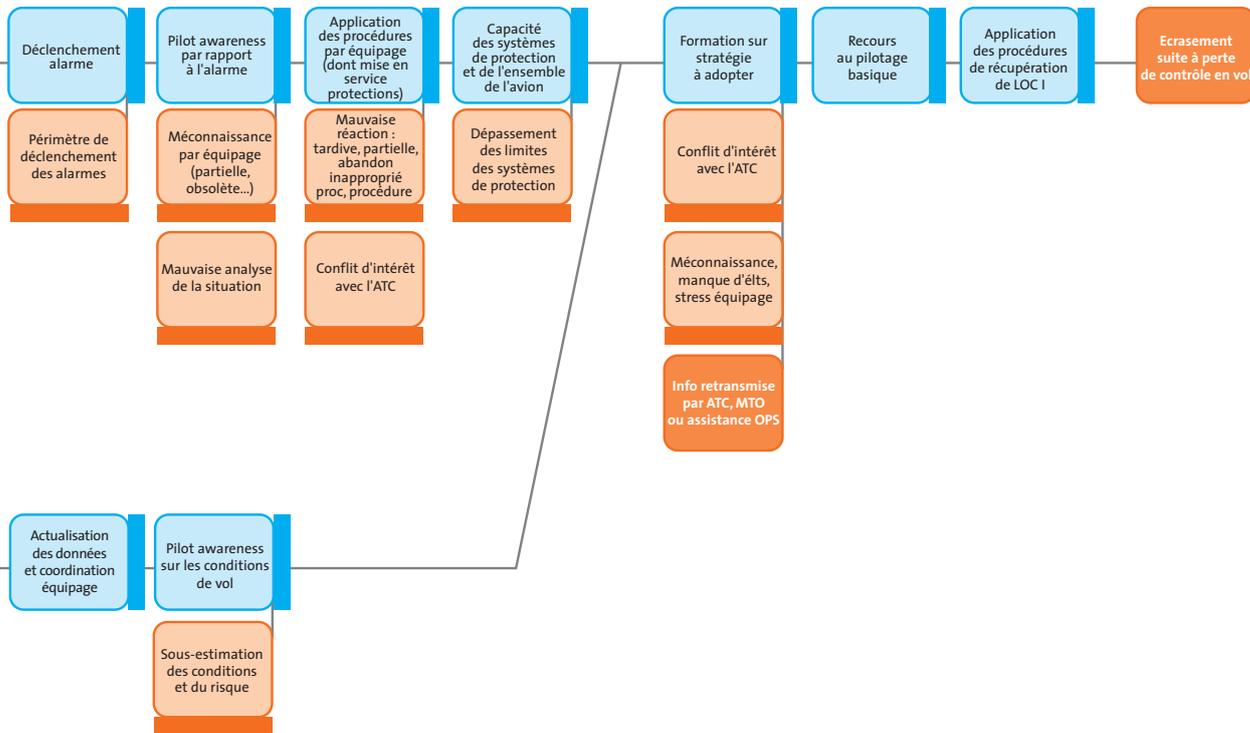
Bien sûr, la mise en place d'un tel circuit ne concerne pas uniquement les situations de givrage mais l'ensemble des phénomènes météorologiques rencontrés par les équipages. Les actions devraient se concentrer autour des points suivants :

- la relance par les compagnies de la culture du PIREP/AIREP par des campagnes de sensibilisation auprès du Personnel Navigant,
- la définition par la DGAC (groupe de travail DCS-DSNA-Météo France-compagnies) du circuit que l'information suivra et des acteurs concernés ainsi que, le cas échéant, la mise en place des outils nécessaires.

Dans l'attente de l'organisation de ce circuit on peut noter qu'il est possible, pour un pilote, de rapporter en temps différé un phénomène météo rencontré en se connectant sur le site Aéroweb (<https://www.meteofrance.com/FR/aviation/index.jsp>)



## ACTION DE RÉDUCTION DU RISQUE « GIVRAGE »



### Améliorer les prévisions météo

Au-delà de la création d'un circuit pour l'information des pilotes en temps réel, les prévisions météo pourraient être affinés à la lumière non seulement des PIREPS mais aussi des événements de sécurité rapportés conformément aux exigences de notification des événements. Il serait par conséquent souhaitable que Météo France puisse recevoir et exploiter ces comptes-rendus. Dans un premier temps, un protocole de communication des données pertinentes de la base de données ECCAIRS pourra être signé entre la DGAC et Météo France et dans un second temps les exigences sur ce point pourraient être ensuite complétées pour que Météo France soit destinataire direct des rapports des opérateurs.

### → 2<sup>E</sup> AXE DE TRAVAIL : PROMOUVOIR AUPRÈS DE L'AGENCE EUROPÉENNE DE LA SÉCURITÉ AÉRIENNE (AESA) LA MODIFICATION DES EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES CONCERNANT L'EMPORT DE SYSTÈMES PERMETTANT D'ALERTE LES ÉQUIPAGES EN CONDITIONS GIVRANTES

L'analyse des événements passés a montré que, dans plusieurs cas, la perte de contrôle n'a pas pu être récupérée car l'équipage n'a eu conscience de la situation que très tardivement. De

nombreuses actions peuvent être menées pour rehausser la conscience de la situation de la part des équipages ; une d'entre elles porte sur l'installation de systèmes d'alerte à bord.

A partir de 1997, un groupe de travail, l'IPHWG (Ice Protection Harmonization Working Group), mandaté par l'ARAC et réunissant des partenaires européens et américains a identifié un certain nombre de recommandations concernant le givrage. Le mandat du groupe portait notamment sur l'opportunité d'exiger l'emport de détecteurs de givre ou de tout autre système qui alerte l'équipage en cas de modification sensible des performances.

L'ensemble des travaux du groupe est accessible sur le site de la FAA ([http://www.faa.gov/regulations\\_policies/rulemaking/committees/arac/issue\\_areas/tae/iph/](http://www.faa.gov/regulations_policies/rulemaking/committees/arac/issue_areas/tae/iph/)).

Des suites ont été données par la FAA, il serait pertinent que ces recommandations soient étudiées également par l'AESA dans le cadre des exigences réglementaires européennes.

Dans le même ordre d'idée et à la suite de l'étude de plusieurs incidents de givrage en vol, la DGAC a sollicité l'AESA pour étudier l'opportunité de rendre obligatoire l'installation de l'APM (Aircraft Performance Monitor) sur tous les ATR. La DGAC suivra avec attention le traitement de ce dossier par l'AESA.

### → 3<sup>e</sup> AXE DE TRAVAIL : AMÉLIORER LA FORMATION ET LA SENSIBILISATION DES PN AU RISQUE GIVRAGE

Une barrière amont identifiée dans le schéma synthétique en nœud papillon est celle de la formation initiale et récurrente des pilotes.

En ce qui concerne la formation initiale, des travaux avaient été initiés dans le cadre du comité national givrage français. Cette instance active entre 1997 et 2001 rassemblait tout l'éventail des parties intéressées par le sujet givrage. Une partie des réflexions issues de ce comité a été portée au sein du Research Committee des JAA. Toutefois les conclusions relatives à la formation des personnels et en particulier la formation des PN dès le stade de l'apprentissage n'ont pas été suffisamment exploitées au niveau national. Il conviendrait que ces conclusions soient réétudiées et réactualisées si nécessaire.

En ce qui concerne la formation récurrente des équipages, force est de constater que les programmes des ECP sont déjà très chargés. Il s'agit donc plutôt de « faire autrement » que de « faire plus ». Les exploitants devraient cibler de façon plus précise et concrète le contenu de ces formations en fonction des événements recensés dans un contexte d'exploitation comparable ou au sein même de la compagnie. Les supports de cours correspondants devraient être revus si nécessaire.

Enfin le pôle d'expertise du personnel navigant de la DCS et l'Organisme du Contrôle en Vol s'attacheront à déterminer la façon la plus pertinente pour vérifier que les procédures associées décrites dans les MANEX et les documents d'organisation des exploitants sont effectivement mises en œuvre.

### → 4<sup>e</sup> AXE DE TRAVAIL : PARTICIPER ACTIVEMENT AUX TRAVAUX DE L'AESA VISANT À MIEUX DÉFINIR LES EXIGENCES RELATIVES AUX TRAITEMENTS DE DÉGIVRAGE ET D'ANTIGIVRAGE AU SOL ET À LA COMPÉTENCE DES AGENTS AU SOL

En 2007 l'AESA a publié la A-NPA 2007-11 relative aux fluides de dégivrage et d'antigivrage. A travers cette A-NPA, l'agence a souhaité recueillir l'avis des parties intéressées sur le problème des résidus issus de l'application de fluides de dégivrage et d'antigivrage. Le document résumant les avis reçus par l'AESA (CRD) a été publié le 02 septembre 2008. Ces documents sont accessibles sur le site de l'AESA :

[http://www.easa.europa.eu/ws\\_prod/r/doc/CRD%202007-11.pdf](http://www.easa.europa.eu/ws_prod/r/doc/CRD%202007-11.pdf)  
[http://www.easa.europa.eu/ws\\_prod/r/doc/NPA/A-NPA-2007-11.pdf](http://www.easa.europa.eu/ws_prod/r/doc/NPA/A-NPA-2007-11.pdf)

Il ressort que la majorité des entités qui se sont exprimées sur cette A-NPA se sont prononcées en faveur de l'écriture d'exigences relatives à :

- la mise à disposition de fluides adaptés sur les plates-formes,
- la création d'une approbation pour les entités assurant les tâches de dégivrage et antigivrage,
- la « certification » des fluides de dégivrage et antigivrage.

L'AESA approuve ces actions sur le principe mais n'envisage pas de les mettre en place à court terme car la réglementation de sécurité pour les aérodromes ne figure pas encore dans son champ de responsabilité et d'autre part les fluides ne peuvent pas être

considérés, avec les définitions actuelles, comme suivant la réglementation sur les produits, pièces et équipements.

L'AESA envisage toutefois à court terme de sensibiliser les détenteurs de certificat de type à l'importance de l'activité de dégivrage/antigivrage et de leur demander de revoir les consignes qu'ils ont établies pour l'application des fluides et la maintenance à réaliser en conséquence. Ensuite une NPA sera rédigée pour modifier la Part-M dans ce sens et des consignes de navigabilité pourront être rédigées pour garantir que la révision des manuels de maintenance soit bien réalisée avant la fin de l'année 2008.

A plus long terme, l'AESA prendra en compte ce point dans ses études et tâches planifiées mais n'affiche pas aujourd'hui d'intention claire de mettre en place les exigences souhaitées par les parties intéressées.

La DGAC soutiendra toute action de l'Agence visant à mieux encadrer le processus de dégivrage/antigivrage au sol et étudiera, en collaboration avec les opérateurs impliqués, les moyens de mettre en place un système d'encadrement des prestataires de services car l'aboutissement des travaux de l'AESA sur ce sujet sont envisagés à très long terme. Dans cette étude la DGAC s'attachera à prendre en compte les conclusions du groupe ISAGO, groupe lancé par l'IATA visant à mettre en place un label des prestataires d'assistance en escale et s'appuyant sur des audits réalisés par les compagnies aériennes.

### → 5<sup>e</sup> AXE DE TRAVAIL : PROMOUVOIR LA TRANSMISSION DES COMPTES-RENDUS DES ÉVÉNEMENTS GIVRAGE

Lors du premier trimestre 2008, la DCS a organisé des réunions d'information pour l'ensemble des opérateurs concernant l'entrée en vigueur du dispositif réglementaire français relatif à la notification obligatoire d'événements à l'Autorité.

A ce jour, il arrive fréquemment que la DGAC et les entités en charge de la sécurité chez les opérateurs soient informées des événements par des sources autres que celles mises en place réglementairement pour recueillir les informations sur les incidents. Il est donc important que l'effort mené ces derniers mois soit poursuivi et qu'une attention particulière soit portée sur les événements givrage au sol et en vol dans le contexte de ce symposium.

Dans ce cadre, l'action de la DGAC s'articulera d'une part à améliorer l'accès à tous les documents utiles pour la notification des événements (référentiel réglementaire, documents explicatifs, modèles de formulaires de compte-rendu...) et, d'autre part, à inciter les assistants en escale à participer de façon plus active et systématique à la remontée des événements givrage au sol. Une meilleure connaissance par la DGAC de l'activité de dégivrage et antigivrage réalisée sur les différents aéroports est également nécessaire pour pouvoir exploiter les événements recensés, et produire des analyses pertinentes relatives aux risques correspondants.

Enfin la DGAC réorganisera les rubriques pertinentes de son site Internet pour faciliter l'accès à tout document utile sur le dossier du givrage au sol et en vol qu'il s'agisse de la réglementation correspondante, des rapports d'accidents ou d'adresses de sites externes. Le manuel produit dans le cadre de la coopération avec les JAA en l'an 2000 figurera également parmi les documents mis en ligne.



## 7- LISTE D'ACCIDENTS

### → CONCEPTION DE LA LISTE

Cette liste des accidents de transport public ayant pour cause principale des phénomènes de givrage a été élaborée à partir des données présentées sur les sites du NTSB, d'ASN, de la Flight Safety Foundation et a été complétée avec des données du BEA et de différents bureaux d'enquête étrangers.

Ces données sont accessibles sur les sites Internet suivants :

- Flight Safety Foundation, rapport de sécurité relatif au givrage : [http://www.flightsafety.org/fsd/fsd\\_jun-sep97.pdf](http://www.flightsafety.org/fsd/fsd_jun-sep97.pdf)
- Aviation Safety Network, base de données givrage : <http://aviation-safety.net/database/dblist.php?Event=WXI>
- National Transportation Safety Board, base de donnée des accidents : <http://www.ntsb.gov/ntsb/query.asp>
- BEA, base donnée des rapports : <http://www.bea-fr.org/francais/rapports/rap.htm>

### → RAPPORTS D'ENQUÊTE INCIDENTS/ACCIDENTS

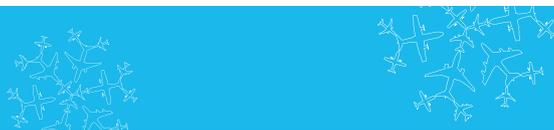
L'étude de certains de ces accidents peut enrichir la connaissance des phénomènes de givrage d'autant plus que certains rapports d'enquêtes sont désormais facilement accessibles sur internet. On peut recommander la consultation des rapports ou études suivants :

- Accident d'un hélicoptère AS 355 à Swalcliffe (GB) le 8/04/1986 : perte de puissance des moteurs due à l'ingestion de neige accumulée dans les entrées d'air : [http://www.aai.gov.uk/cms\\_resources/7-1987%20G-BKIH.pdf](http://www.aai.gov.uk/cms_resources/7-1987%20G-BKIH.pdf)

- Accident d'un DC-9 à Cleveland (USA) le 17/02/1991 : perte de contrôle au décollage suite à l'absence de dégivrage pendant l'escale malgré des chutes de neige : <http://amelia.db.erau.edu/reports/ntsb/aar/AAR91-09.pdf>
- Accident d'un ATR 72 à Roselawn (USA) le 31/10/1994 : perte de contrôle pendant la descente après une attente de 30 min en conditions givrantes : <http://www.ntsb.gov/Publictn/1996/aarg601.pdf>
- Accident d'un Embraer 120 Brasilia à Monroe (USA) le 09/01/1997 : perte de contrôle pendant l'approche après la rencontre de conditions givrantes au cours de la descente : [http://www.ntsb.gov/Publictn/1998/AAR9804\\_body.pdf](http://www.ntsb.gov/Publictn/1998/AAR9804_body.pdf)
- Incident sur un DASH 8-100 à Sydney (Nouvelle Ecosse), 03/04/2001 : Givrage moteur, extinctions multiples des 2 moteurs <http://www.tsb.gc.ca/fr/reports/air/2001/A01A0030/A01A0030.pdf>
- Incident sur un Beech 200 à Kelowna (Colombie-Britannique) le 19/01/2005 : Givrage sévère cellule. Descente incontrôlée de 4000' <http://www.bst.gc.ca/fr/reports/air/2005/a05p0018/a05p0018.asp>
- Incident sur un BAe-146-300 à Stuttgart, Allemagne, 12/03/2005 : Perte de contrôle en vol suite congélation de résidus de fluides réhydratés [http://www.bfu-web.de/clin\\_o09/nn\\_53140/EN/Publications/Investigation\\_20Report/2005/Report\\_05\\_5X007\\_BAE146\\_Stuttgart,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/Report\\_05\\_5X007\\_BAE146\\_Stuttgart.pdf](http://www.bfu-web.de/clin_o09/nn_53140/EN/Publications/Investigation_20Report/2005/Report_05_5X007_BAE146_Stuttgart,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/Report_05_5X007_BAE146_Stuttgart.pdf)

Date	Type	Cat.	Immat.	Compagnie	Lieu	†	BI	Description
10/01/1988	NAMC YS-11	T	JA8662	TOA Domestic	Yonago (Japon)	0		Décollage interrompu, sortie longitudinale de piste. Profondeur trop lourde pour assurer la rotation. Chutes de neige et suspicion de slush projeté sur les gouvernes, avion non dégivré.
02/11/1988	Rockwell 1121	J	N44	FAA	Oak Grove, PA	3		Accrétion rapide de glace et ingestion par les moteurs. Extinction de 2 moteurs (sur 4). <b>Source ASN - Aucune information disponible sur le site NTSB</b>
16/12/1988	Mitsubishi MU-2B-60	T	?	Broughton Air Service	near Leonora (Australie)	10		Après 15 min de vol, le pilote demande à monter au FL 210. Il indique la présence de nombreux nuages. 7 min plus tard l'avion percute le sol. L'enquête a montré que le pilote avait rencontré des conditions givrantes et qu'il ne s'était rendu compte de l'importante accrétion de glace qu'à l'instant de la perte de contrôle.
21/12/1988	Cessna 207	P	?	Baker Aviation	Kotzebue (Alaska, USA)	0	6	Au cours de l'arrondi, l'avion décroche et prend contact violemment avec la piste. Le pilote rapporte qu'au cours du vol il a rencontré des conditions givrantes et de la pluie en surfusion entraînant un dépôt de glace d'un centimètre sur les surfaces de l'avion.
10/03/1989	Fokker F-28	J	C-FONF	Air Ontario	Dryden, (ON, Canada)	24		L'avion heurte les arbres peu après le décollage. L'équipage n'a pas dégivré en raison de la panne de l'APU et de l'impossibilité de dégivrer moteurs tournants.
15/03/1989	NAMC YS-11	T	N128MP	Mid Pacific Airlines	Lafayette	2		En approche, fort taux de descente incontrôlé, Atterrissage dur : bris du train. 0,5 cm de givre mixte retrouvé sur aile + empennage.
25/11/1989	Fokker F-28	J	HL7285	Korean Air	Seoul Kimpo	0		Décollage interrompu, perte de contrôle, sortie de piste. Perte de puissance du moteur gauche, probablement dû à l'ingestion de glace.
26/12/1989	Bae Jetstream 31	T	N410UE	NPA/ United Express	Pasco	6		Perte de contrôle en approche ILS de nuit. Le pilote aurait volé en conditions givrantes pendant 9 min et demie.
26/01/1990	Mitsubishi MU-2B-60	T	?	Great Western Aviation	near Meekatharra (Australie)	2		L'avion vole en croisière au FL 210. Une minute après un message de position, le pilote annonce qu'il a perdu le contrôle de l'avion recouvert de glace.
29/01/1990	Cessna 208 Caravan	T	N854FE	FedEx, opf. Wiggins Airways	near Plattsburgh	1		Le pilote décolle sous une averse de neige. En montée, passant 700 pieds, l'avion décroche et percute le sol, L'avion avait été sorti d'un hangar juste avant le vol et n'avait pas été dégivré.
29/01/1990	Cessna 208 Caravan	T	N4688B	Airborne Express	near Burlington	2		Au décollage sous une averse de neige, le pilote perd le contrôle de l'avion en roulis, Une accumulation de glace est observée sur l'épave, L'avion n'a pas été dégivré,
27/02/1990	Cessna 208 Caravan	T	N820FE	Federal Express	near Denver	1		En finale ILS l'avion décroche et heurte le sol. Les informations météorologiques relevées sur l'aérodrome indiquaient des chutes de neige et de bruine.
30/01/1991	Bae Jetstream 31	T	N167PC	CC Air	Raleigh (USA)	0		En finale ILS de nuit, le pilote constate une accumulation de contaminants givrés sur les surfaces. Il augmente la vitesse et à la sortie des pleins volets l'avion décroche. Le pilote ne peut empêcher le contact violent du train d'atterrissage avec la piste.

Date	Type	Cat.	Immat.	Compagnie	Lieu	†	BI	Description
17/02/1991	DC-9-10	J	N565PC	Ryan Int, Airlines	Cleveland	2		Perte de contrôle au décollage. Neige pendant 35 min. Absence de dégivrage. Pas de visite prévol extérieure.
26/11/1991	Antonov 24	T	CCCP-47823	Aeroflot/Privolzhsk	near Bugulma	41		Pendant l'approche, l'avion embarque vers la droite et l'équipage doit remettre les gaz. L'avion s'écrase à 800m de la piste.
27/12/1991	MD-80	J	OY-KHO	SAS	Gottröra (Suède)	0	8	Pompage puis arrêt des moteurs au décollage. Atterrissage d'urgence. Avion dégivré
22/03/1992	Fokker F-28	J	N485US	USAir	New York La Guardia	27		Perte de contrôle au décollage, Avion dégivré type I. Hold over time dépassé de 35 min. Rotation à V1 - 5 kts.
02/01/1993	Saab 340	T	N342PX	Express Airlines	Hibbing-Chisholm (USA)	0	31	En approche, fort taux de descente incontrôlé, Atterrissage dur, affaissement du train d'atterrissage, torsion du longeron. 18 heures après l'accident, 0,5 cm de givre étaient observés sur le bord de fuite de l'aile et de l'empennage.
05/03/1993	Fokker 100	J	PH-KXL	Palair Macedonian	Skopje		83	Perte de contrôle au décollage, oscillations importantes en roulis. Avitaillement par température négative. Chute de neige modérée, OAT 0°. Absence de dégivrage.
29/04/1993	Embraer 120	T	N24706	Continental Express	Pine Bluff	0		En montée, passant 17400 pieds en IMC, l'avion décroche, Atterrissage d'urgence manqué, Vol effectué en conditions givrantes, Accumulation de glace non prise en compte par l'équipage
01/12/1993	Short 330	T	C-FPQE	Gvt of Quebec	near Umiujaq	0		Décrochage en dernier virage, atterrissage manqué, Un dépôt de glace s'était accumulé sur les bords d'attaque,
24/02/1994	Antonov 12	T	RA-1118	Aeroflot	Nalchik	13		Perte de contrôle en approche
24/02/1994	Vickers Viscount	T	G-OHOT	British World	near Uttoxeter (GB)	1	1	Givrage cellule et extinctions multiples des moteurs en croisière cause accréton de glace dans les entrées d'air et sur la surface des ailes. Impossibilité de maintenir l'altitude. Collision avec le sol.
29/10/1994	Antonov 12	T	RA-11790	Aeronika	near Ust-Ilmisk	23		En approche au-dessus de l'OM, en IMC et conditions givrantes, l'avion part en piqué à 50° et s'écrase à 2100 m de la piste. <a href="#">Source ASN</a>
31/10/1994	ATR-42	T	N401AM	American Eagle	Roselawn (Indiana, USA)		68	Attente à 10000 ft pendant 35 min en conditions givrantes. Perte de contrôle en début de descente due à la formation d'un bourrelet de glace en aval des boudins de dégivrage des extrémités d'ailes.
18/01/1995	Cessna 208 Caravan	T	N9461B	Martinaire	near Lubbock	0		Avion déneigé mais pas dégivré (présence d'une couche de glace sur 80% des ailes). Perte de puissance après le décollage à 400 ft. Atterrissage d'urgence. <a href="#">Source ASN - Aucune information disponible sur le site NTSB</a>
02/03/1995	Cessna 208 Caravan	T	?	Martinaire	Ardmore (Oklahoma, USA)	0	1	Givrage sévère. Atterrissage d'urgence dans un champ.
13/12/1995	Antonov 24	T	YR-AMR	Romavia, opf. Banat Air	near Verona (I)	49		Perte de contrôle au décollage. Absence de dégivrage/anti givrage malgré les conditions givrantes. <a href="#">Source ASN - Aucune information disponible sur le site ANSV</a>
30/12/1995	Cessna Citation V	J	N991PC	Iowa Packing Compagny	near Eagle River (WI, USA)	2		L'avion heurte le sol en finale VOR, Des conditions givrantes prévalaient sur l'aérodrome.
26/05/1996	BAe 146	J	N608AW	Air Wisconsin	Des Moines (Iowa, USA)	0		En croisière au FL 290, le pilote constate une perte de poussée sur les quatre moteurs Deux seront coupés, Le pilote indique qu'il a traversé une zone de givrage sévère au dessus du FL 260.
09/01/1997	Embraer 120	T	N265CA	Comair/ Delta Connection	near Monroe (MI, USA)		29	Perte de contrôle en vol, à 4000 ft, train et volets rentrés après mise en virage. Facteur contributif : vol en atmosphère givrante à une vitesse trop faible et une utilisation tardive des boots et non déconnection du PA.
04/03/1997	Cessna 208 Caravan	T	C-FESJ	Air Georgian	Lake Simcoe (Canada)	1		Sortie de piste à l'atterrissage. <a href="#">Source ASN - Aucune information disponible sur le site TSB</a>
10/04/1997	Cessna 208 Caravan	T	N408GV	Hageland Aviation services	near Wainwright (AK, USA)	5		Le pilote effectue deux tentatives d'atterrissage puis remet les gaz afin de revenir à l'aérodrome de départ, Il heurte le sol quelques minutes plus tard, Les conditions météorologiques ont pu conduire à la formation de glace sur les surfaces de l'avion.
08/11/1997	Cessna 208 Caravan	T	N750GC	Hageland Aviation services	near Barrow Point (AK, USA)	8		Le pilote effectue un avitaillement qui entraîne une dissymétrie de masse (aile gauche plus lourde de 200 kg environ); Au cours du premier virage (à gauche) après le décollage, l'avion décroche, Un dépôt de givre avait été observé sur les véhicules et les avions stationnés, Le pilote n'avait pas dégivré.
25/11/1997	Cessna 208 Caravan	T	C-FESA	Air Georgian	North Bay Airport (Canada)	0		Rencontre de conditions de givrage sévère. Demi-tour. L'appareil percute la piste à l'atterrissage. <a href="#">Source ASN - Aucune information disponible sur le site NTSB</a>
02/01/1998	Douglas DC-6	P	N861TA	Woods Air Fuel	Nixon Fork (AK, USA)	0		Pendant la course au décollage, les vitres du pare-brise sont obscurcies par de la glace, Le pilote perd le contrôle de l'avion
30/01/1998	Cessna 208 Caravan	T	N9316F	Penair	near Port Heiden (AK, USA)	0		En vol à 1200 pieds MSL, le pilote traverse une zone de pluie en surfusion, La glace s'accumule rapidement sur la structure et le pare-brise, Le pilote ne peut rejoindre l'aérodrome de départ et réalise un atterrissage en campagne, Une couche de 1,5 cm de glace recouvre l'ensemble de la structure
05/03/1998	Cessna 208 Caravan	T	N840FE	FedEx, opf. Baron Aviation	near Clarksville (TN, USA)	1		Le pilote perd le contrôle de l'avion à 8 mille marins en finale. L'avion avait traversé une couche nuageuse où prévalaient des conditions givrantes,
07/04/1998	Cessna 208 Caravan	T	N868FE	FedEX, opf. Corporate Air	near Bismark (ND, USA)	1		Le pilote perd le contrôle de l'avion en finale. Le pilote n'avait aucune expérience d'opérations en conditions givrantes,
07/12/1998	BN-2 Islander	P	C-FCVK	Air Satellite	Baie Comeau (QC, Canada)	7		Peu après le décollage, vers 500 pieds, à la rentrée des volets, le pilote perd le contrôle de l'avion qui heurte la surface du fleuve.
07/04/1999	Boeing 737-400	J	TC-JEP	THY	near Ceyhan (Turquie)	6		Mauvaises conditions météo. Crash 9 min après le décollage. Givrage du système anémométrique dont l'antigivrage était coupé.
06/12/1999	Cessna 208 Caravan	T	N5187B	Arctic Circle Air Service	near Bethel airport (AK, USA)	0		En montée initiale, à 100 pieds, le pilote perd le contrôle de l'avion en roulis, Il réussit à atterrir dans le prolongement de la piste, Neige sur les surfaces balayées par le pilote avant le départ, décollage retardé de 2 heures, Pas de nouvelle vérification
28/12/1999	Cessna 208 Caravan	T	C-FGGG	Seair	near Abbotsford (BC, Canada)	0		En montée initiale, à 400 pieds, à la rentrée des volets le pilote perd le contrôle de l'avion
13/01/2000	Short 360	T	HB-AAM	Avisto, opf. Sirte Oil Compagny	near Marsa el-Berga (Libye)	22		Extinction des deux moteurs au cours de la descente. Pas d'activation de l'antigivrage des moteurs malgré les mauvaises conditions. Amerrissage. <a href="#">Source ASN - Aucune information disponible sur le site du BEAA</a>
09/03/2000	Yakovlev 40	J	RA-88170	Vologodskiy Airlines	Moskva-Sheremetyevo (Russie)	9		Avion déneigé mécaniquement sans application de fluide. Perte de contrôle après la rotation (taux important + mauvais braquage des volets). <a href="#">Source ASN - Absence d'informations complémentaires</a>
19/03/2001	Embraer 120	T	N266CA	Comair/ Delta Connection	near West Palm Beach (FL, USA)	0		En croisière à 17000 pieds MSL, le pilote perd le contrôle de l'avion, Il réussit à le récupérer à 10000 pieds, Atterrissage normal, rencontre de conditions givrantes sévères (super-cooled large droplets)



Date	Type	Cat.	Immat.	Compagnie	Lieu	†	BI	Description
28/04/2001	Cessna 208 Caravan	T	LV-WSC	Les Grands Jorasses	near Roque Pérez (BA, Argentine)	10		Vol en conditions givrantes au FL 100. Demande de montée au FL 120 pour sortir des nuages. Perte de contrôle et collision avec e sol. <a href="#">Source ASN – Absence d'informations complémentaires</a>
05/05/2001	Cessna 208 Caravan	T	N948FE	FedEX, opf. Corporate Air	near Steamboat Springs (CO, USA)	1		En finale VOR-DME le pilote perd le contrôle de l'avion, Conditions givrantes avérées et manque d'expérience du pilote, <a href="#">Source ASN – Absence d'informations complémentaires</a>
06/10/2001	Antonov 2	P	RA-40480	Mirny Air Enterprise	near Polyarnyj (Russie)	0		Givrage hélice et carburateur. Perte de puissance. Atterrissage d'urgence. <a href="#">Source ASN – Absence d'informations complémentaires</a>
10/10/2001	Cessna 208 Caravan	T	N953OF	Penair	Dillingham (AK, USA)	10		En montée initiale, le pilote perd le contrôle de l'avion, L'avion avait été dégivré mais le pilote n'avait pas vérifié l'état des surfaces après le traitement
26/12/2001	BN-2 Islander	P	D-IAAI	Bremerhaven Airline	Bremerhaven (Allemagne)	8		Chutes de neige sur l'aéroport pendant 15'. Le pilote enlève avec la main de la neige sur les bords d'attaque mais ne fait pas dégivrer. Perte d'altitude peu après le décollage. S'abime en mer. <a href="#">Source ASN - Information non disponible sur le site du BFU</a>
04/01/2002	Canadair CL-600 Challenger	J	N90AG	Agco Corp.	Birmingham	5		Perte de contrôle en roulis. lors du décollage. L'avion a passé la nuit à l'extérieur, un ravitaillement a été effectué le matin. Pas de dégivrage
16/02/2002	Fokker 70	J		KLM Cityhopper	Turin	0	0	Perte de puissance du réacteur droit suite à l'ingestion de glace. Atterrissage d'urgence.
15/03/2002	Cessna 208 Caravan	T	N228PA	Piority Air Charter	near Alma (WI, USA)	1		Après le décollage, le pilote perd le contrôle de l'avion, Avant le départ un dépôt de glace a été observé sur les ailes de l'avion par plusieurs témoins et le pilote lui-même
08/11/2002	Cessna 208 Caravan	T	N514DB	Brown Country Financial Svc	near Parks (AZ, USA)	4		En croisière au FL150 le pilote perd le contrôle de l'avion, Conditions givrantes avérées dans la zone d'évolution,
27/12/2002	ATR 72	T		TransAsia	Taiwan	2	0	L'avion évolue au FL 180 en conditions givrantes pendant 20 min. Perte de contrôle, procédure de récupération non appliquée. S'écrase en mer.
24/01/2003	Cessna 208 Caravan	T	N944FE	FedEx, opf. Baron Aviation	San Angelo-Ducote (TX, USA)	0		Au cours d'un exercice d'atterrissage forcé, le pilote perd le contrôle de l'avion, conditions givrantes avérées, non utilisation des boudins de bord d'attaque
08/04/2003	Falcon 20	J	N183GA	Grand Aire Express	near Toledo (OH, USA)	3		En finale ILS, en instruction, au cours de la deuxième approche, le pilote perd le contrôle de l'avion, Non utilisation des systèmes anti-givrage,
03/10/2003	Convair CV-580	T	ZK-KFU	Air Freight NZ	Paraparaumu (Nouvelle Zélande)	2		Givrage sévère. Perte de contrôle pendant la descente. Avion disloqué pendant la chute. <a href="#">Source ASN - Information non immédiatement disponible sur le site NZ</a>
29/10/2003	Cessna 208 Caravan	T	N791FE	FedEX, opf. Corporate Air	near Cody-Yellows	1		Le pilote effectue une attente à 12000 pieds avant d'effectuer une finale VOR, L'avion est vu en vent arrière, à 500 pieds, basculer à gauche, à droite puis sur le dos avant de heurter les arbres, La neige tombait de façon abondante,
20/12/2003	Cessna 208 Caravan	T	N9469B	Martinaire	Cincinnati	0		En montée initiale, entre 300 et 400 pieds, l'avion devient incontrôlable en tangage, Le pilote tente un atterrissage d'urgence, Sur l'épave on observe un important dépôt de glace
22/12/2003	Boeing 737-700	J	G-EZJM	EasyJet	Amsterdam	0		Sortie du taxiway pendant le roulage. <a href="#">Source ASN - Aucune information disponible sur le site de l'OVV</a>
05/01/2004	Fokker 70	J	OE-LFO	Austrian Airlines	near Munchen	0		Ingestion de glace dans le réacteur droit, En finale, le pilote ne peut pas maintenir la pente de descente ILS, Il atterrit avant la piste,
17/01/2004	Cessna 208 Caravan	T	C-FAGA	Georgian Express	near Peel Island	10		Précipitations givrantes pendant l'escalade. Très longue course de décollage. <a href="#">Source ASN - Aucune information disponible sur le site du TSB</a>
21/11/2004	CRJ	J	B-3072	China Yunnan	near Baotou	53+2		Perte de contrôle au décollage. L'avion heurte le sol fortement incliné à gauche
28/11/2004	Canadair Challenger	J	N873G	Hop a Jet, Inc, opf. Global Aviation	Montrose (CO, USA)	3		Le pilote perd le contrôle de l'avion au décollage, Les conditions météorologiques étaient dégradées et il neigeait, Le pilote n'a pas dégivré alors que la neige recouvrait les ailes,
06/12/2004	Cessna 208 Caravan	T	N25SA	Salmon Air	near Bellevue (ID, USA)	2		En finale aux instruments, en sortie de couche nuageuse, l'avion est vu osciller en roulis et tangage puis prendre une forte assiette à piquer avant de heurter le sol, Des conditions givrantes prévalaient sur l'aérodrome,
01/01/2005	Cessna Citation II SP	J	N35403	Jet Services	Ainsworth (NE, USA)	0		En finale, le pare-brise se couvre rapidement de glace empêchant le pilote de voir la piste, Il n'a pas réalisé la procédure d'approche manquée, Il a atterri en dehors de la piste,
21/01/2005	Cessna 208 Caravan	T	CP-2412	Amazonas	near Colquiri (Bolivie)	0	12	45 minutes après le décollage, l'appareil ne peut maintenir son altitude en raison des conditions givrantes. Il s'abime en tentant un atterrissage d'urgence. <a href="#">Source ASN – Enquête gouvernement bolivien - Information non disponible</a>
31/01/2005	Cessna 208 Caravan	T	SE-KYH	NTD Air Cargo	Helsinki	0		Au parking, le pilote balaie la neige recouvrant les surfaces le l'aile. Peu après l'envol, il perd le contrôle de l'avion qui heurte le sol,
16/02/2005	Cessna Citation V	J	N500AT	Circuit City Stores	near Pueblo (CO, USA)	8		En finale ILS, l'avion décroche et heurte le sol, Les systèmes de dégivrage/anti-givrage n'avaient pas été mis en fonctionnement
30/09/2005	Cessna Citation II	J	N77ND	University of north Dakota	near Fort Yukon (AK, USA)	0		En croisière, le pilote constate une accumulation de glace d'une épaisseur estimée à 3 cm sur les bords d'attaque, Il active le gonflage des boudins, 4 min après les deux moteurs s'arrêtent. Les tentatives de rallumage seront vaines, Le système de dégivrage des entrées d'air n'ont pas été mis en fonctionnement,
06/10/2005	Cessna 208 Caravan	T	C-FEXS	FedEx/Morningstar	near Winipeg	1		Givrage sévère. Impossibilité de maintenir le niveau. Tentative de retour vers le terrain. Perte de contrôle et collision avec le sol.
19/11/2005	Cessna 208 Caravan	T	P4-OIN	Ivolga-Avia	near Stupino	8		Givrage sévère à 1500 m. Perte de contrôle.
04/02/2006	AS 355 Ecureuil	H	F-GIYB	Sté de travail aérien	Fontenoy (89)	0		Givrages des entrées d'air des 2 moteurs lors du vol dans des conditions propices au givrage mais non identifiées par le pilote. Atterrissage d'urgence raté.
03/06/2006	Antonov 12	T	?	China AF	near Yaocun	40		Rencontre de conditions givrantes à 8000 m. Perte de contrôle. Collision avec le sol.
25/01/2007	Fokker 100	J	F-GMPG	Régional	Pau	0+1		Chute de neige et température extérieure de 0 °C pendant l'escalade intermédiaire. Perte de contrôle au décollage.
17/03/2007	Cessna Citation I	J	N511AT	Air Trek	Beverly	0		Givrage sévère. Perte de contrôle en approche finale à 100 ft. Avion endommagé.
01/01/2008	Fokker 28	J		Iran Air	Téhéran	0		Perte de contrôle au décollage. Chute de neige et température extérieure de 0 °C. Avion non dégivré.
14/02/2008	CRJ 100ER	J	EW-101PJ	Belavia	Erewan (Arménie)	0		Perte de contrôle au décollage. L'avion heurte le sol sur le dos.

#### Légende du tableau :

Colonne 3 : Cat. = Catégorie d'appareil J=jet, T=turbopropulseur, P=moteur à piston, H=Hélicoptères

Colonne 4 : Immat. = Immatriculation

Colonne 7 : † = nombre de victimes

Colonne 8 : BI = nombre de blessés

Colonne 9 : ANSV = Agenzia nazionale per la sicurezza del volo (Italie), ASN = Aviation safety network,

NSTB = National transportation safety board (USA), OVV = Dutch safety board (PB), TSB = Transportation safety board of Canada

Réalisé à l'aide des documents suivants :

- TP 13832/novembre 2001 de Transports Canada, de l'AEA.
- AEA Recommendations for De-Icing / Anti-Icing of Aircraft on the Ground - 22nd Edition - September 2007  
[http://files.aea.be/Downloads/AEA\\_Deicing\\_v22.pdf](http://files.aea.be/Downloads/AEA_Deicing_v22.pdf).
- Droit au but – Document de la direction de la sécurité des vols
- Force aérienne canadienne.
- OPS 1 (document du SIA).

### → ANTIGIVRAGE (ANTI-ICING)

Action préventive consistant à empêcher la formation de givre ou de glace.

Au sol, désigne la protection par Fluides (type 2 ou 4) contre la formation de givre ou de glace et l'accumulation de neige sur les surfaces de l'aéronef traitées pour une période limitée (temps de protection).

En vol, désigne les systèmes (électrique ou à air chaud) destinés à empêcher le dépôt de contaminants givrés sur les surfaces protégées par ces mêmes systèmes.

### → BROUILLARD GIVRANT

Suspension de nombreuses minuscules gouttelettes d'eau qui gèlent au contact du sol ou de tout autre objet exposé en formant une pellicule de glace blanche ou translucide. Par définition, cette suspension réduit la visibilité au sol à moins de 1 km.

### → BRUINE GIVRANTE

Précipitation pratiquement uniforme, composée exclusivement de fines gouttes (de diamètre inférieur à 0,5 mm) très serrées et qui gèlent à l'impact sur le sol ou avec tout objet exposé.

### → COLD-SOAK WING (AILE IMPRÉGNÉE DE FROID)

Une aile d'avion est qualifiée de "cold-soaked" (froide-détrempée) :

- lorsqu'elle contient du carburant très froid (après un vol à haute altitude ou si le plein a été effectué avec du carburant très froid).
- Toutes les fois que des précipitations tombent sur un avion "cold-soaked" lorsqu'au sol, du givre transparent pourrait se former.
- Lorsqu'à des températures ambiantes comprises entre -2° et +15° C, de la glace ou du givre peuvent se former en présence d'humidité visible ou d'un fort taux d'humidité si la cellule de l'avion se maintient à une température inférieure ou égale à 0° C.

### → CONDITIONS GIVRANTES

En ce qui concerne le sol, le terme « conditions givrantes » tel que défini autrefois dans l'OPS 1 était trop restrictif car faisant abstraction de certains paramètres favorisant la contamination de l'avion. On parle désormais de « **Conditions conduisant à la formation ou au dépôt de contaminant givré sur les surfaces de l'aéronef** ».

Pour le vol, la définition des « conditions givrantes » est propre à chaque avion. Ces conditions sont spécifiées dans le manuel de vol pour permettre leur détection et définir les procédures d'activation des protections.

### → CONTAMINATION

Accumulation de givre, de glace, de neige fondante ou de neige sur les surfaces critiques d'un aéronef (*Définition Forces Aériennes Canada-Droit au but*).

### → DÉGIVRAGE (DE-ICING)

Action qui consiste à enlever le givre, la glace, la neige fondante ou la neige accumulée sur un aéronef afin d'en éliminer la contamination.

Par extension, fonctionnement à but curatif d'un système de protection.

### → DURÉE D'EFFICACITÉ (HOLDOVER TIME (HOT))

Délai entre le début de l'application d'un liquide antigivre sur un avion et le moment où le liquide ne peut plus être considéré comme pouvant garantir une protection jusqu'au moment prévu du décollage.

### → FLUIDE NON-NEWTONIEN

Fluide dont la viscosité diminue lorsque les forces de cisaillement augmentent.

### → GELÉE BLANCHE (WHITE/HOAR FROST)

Mince dépôt uniforme d'aspect cristallin qui se forme sur des surfaces exposées au cours d'une nuit calme et sans nuages lorsque la température descend au-dessous du point de congélation et que l'humidité de l'air à la surface se rapproche du point de rosée. Ce phénomène n'est pas lié aux précipitations. (*Définition Forces Aériennes Canada-Droit au but*).

### → GIVRAGE (ICING)

Cristaux de glace formés sur une surface par le dépôt de vapeur d'eau provenant de l'atmosphère. (*Définition SAE*).

### → GIVRE BLANC OU OPAQUE (RIME ICE)

C'est un dépôt de glace constitué par des granules plus ou moins séparés par des inclusions d'air, orné parfois de ramifications cristallines. Ce dépôt est opaque et friable.



## 8- GLOSSAIRE

### → GIVRE MIXTE (MIXED ICE)

Mélange de givre blanc et de givre transparent, d'aspect souvent hétérogène avec des accrétions de glace claires et compactes mêlées à des accrétions plus blanches et friables.

### → GIVRE TRANSPARENT/VERGLAS/GLACE (CLEAR ICE/GLAZE)

Dépôt de glace généralement homogène et transparent, d'aspect vitreux et lisse provenant de la congélation de gouttelettes de bruine ou de gouttes de pluie, en surfusion, sur les objets dont la surface est à une température inférieure à 0°C ou très peu supérieure.

### → GRÊLE (HAIL)

Précipitation sous forme de petites billes ou de petits morceaux de glace dont le diamètre varie de 5 mm à plus de 50 mm et qui tombent soit séparément soit agglomérés les uns aux autres. (*Définition Forces Aériennes Canada*).

### → NEIGE (SNOW)

Précipitation de cristaux de glace blancs et opaques dont la plupart sont ramifiés en forme d'étoile ou mélangés avec des cristaux simples. A des températures supérieures à -5°C, les cristaux sont généralement agglomérés en flocons.

### → NEIGE FONDANTE (SLUSH)

Neige ou glace partiellement fondue, à teneur élevée en eau, dont l'eau peut facilement s'écouler.

Dans un environnement de givrage au sol, la neige fondante peut contenir des produits chimiques.

### → PLUIE VERGLAÇANTE

Gouttelettes de pluie qui gèlent au contact des structures ou des véhicules.

**Rédaction :** Christine Le Bot, METEO FRANCE  
Christophe Wermelinger, REGIONAL  
Gérard Legauffre, BEA  
Jean-Claude Albert, DCS/NO  
Jean-Pierre Hénault, DCS/PN/PEPN  
Guillaume Adam, DCS/MQ/QAD  
Fabienne Herlédan, DCS/MQ/QAD  
Jean-Michel Biscarat, DCS/MQ/QAD.

Merci à Didier Cailhol (ATR) pour sa contribution à la rédaction de ce document.

**Synthèse rédactionnelle :** Jean-Michel Biscarat, DCS/MQ/QAD.

**Directeur de la publication :** Maxime Coffin, directeur du Contrôle de la sécurité.

**Coordination :** Yannick Robert, Communication et Relations publiques de la direction du Contrôle de la sécurité.

### **Crédits photographiques :**

Air France (\*\*): I-12, I-13, I-14

(extraits du film « Antigivrage », 2006, Centre de Formation du Personnel Navigant – Unité Support Instruction).

Flight Option (\*): I-11.

Leading Edge (Walter Randa) (\*): I-19, I-20.

Luxair (\*\*): I-16.

National Aeronautics and Space Administration (NASA) (\*): I-2, I-7, I-15, I-21,

Régional (\*\*): I-17.

Transport Canada (\*): I-1, I-6, I-26.

Wesjet (\*): I-5, I-27.

**Pour les droits de reproduction et d'utilisation :** (\*) = voir <http://aircrafticing.grc.nasa.gov/resources/copyright.html>  
-(\*\*) = consulter les compagnies concernées.



**AUTORITÉ DE  
SURVEILLANCE**

direction générale  
de l'Aviation civile

**direction  
du Contrôle  
de la sécurité**

50, rue Henry Farman  
75720 Paris cedex 15

téléphone : 01 58 09 43 21  
[www.aviation-civile.gouv.fr](http://www.aviation-civile.gouv.fr)

