

# L'automatisation de l'observation météorologique sur les aérodromes français

Denis Lambergeon<sup>(1)</sup> et Michel Leroy<sup>(2)</sup>

(1) Météo-France - Direction générale - 1, quai Branly - 75340 Paris Cedex 07  
denis.lambergeon@meteo.fr

(2) Météo-France - Direction des systèmes d'observation - Trappes  
michel.leroy@meteo.fr

## Résumé

Cet article décrit la mise en place de l'automatisation de l'observation météorologique sur les aérodromes en France, à la fois dans ses aspects techniques et réglementaires. La démarche de Météo-France a été progressive et prudente, mais finalement efficace, à la satisfaction des usagers aéronautiques ; le service rendu est en effet globalement amélioré. La définition de « niveaux de service » conduit à optimiser la prestation d'observation météorologique sur les aérodromes et à rechercher le meilleur rapport efficacité/coût.

## Abstract

### Automation of meteorological observations at French airports

This paper describes the technical and regulatory aspects of the implementation by Météo-France of automated meteorological observation at French airports. This procedure was careful and progressive, but finally effective, satisfying users' needs; an all-round improvement. The definition of "service levels" allows the optimization of the observation service at airfields in the most cost-effective way.



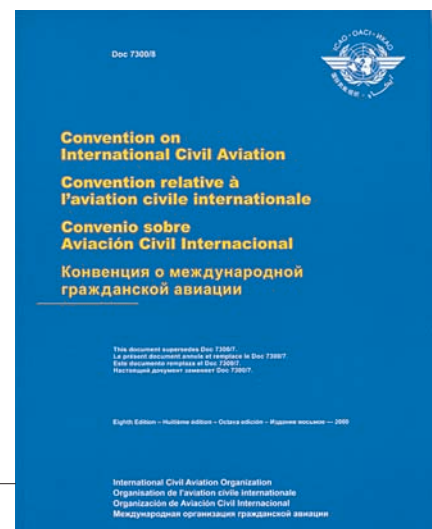
La salle météo d'observation et de prévision sur l'aéroport de Roissy. (Photo Météo-France, P. Taburet)

L'automatisation de l'observation météorologique sur les aérodromes est l'une des actions prioritaires prévues par le « plan stratégique à dix ans » de Météo-France, élaboré à la fin des années 1990. Cette volonté résultait de deux constatations principales :

- La première est d'ordre technique. Les progrès des techniques d'observation permettaient d'obtenir des mesures d'excellente qualité avec une commodité d'exploitation renforcée, et cela pour des coûts de plus en plus faibles, du moins dans les conditions économiques de l'Europe occidentale.

- La seconde est d'ordre social. L'évolution de la réglementation sociale en France renchérisait progressivement le coût de l'observation humaine, tandis que la pénibilité du travail posté 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7 était de moins

en moins bien acceptée par le corps social, notamment dans les jeunes générations, ce qui se traduisait notamment par une diminution progressive du nombre d'observations disponibles la nuit sur les aérodromes.



La couverture de la « Convention de Chicago » de l'OACI relative à l'aviation civile internationale.



L'un des éléments d'un transmissomètre sur une piste de Roissy. (Photo Météo-France, P. Taburet)

Le plan stratégique de Météo-France reconnaissait cependant que cette évolution devrait être menée avec prudence. En effet :

- La stricte application de la réglementation internationale en matière de service météorologique à la navigation aérienne – au premier chef l'Annexe 3 de la Convention de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) – ne permettait pas la mise en œuvre d'une observation entièrement automatisée sur les aéroports.
- Les usagers aéronautiques de la météorologie, au premier rang desquels on trouve les autorités de la navigation aérienne, devaient être associés à une éventuelle évolution et informés en conséquence.
- Pour ce faire, les modalités techniques de l'observation sur les aéroports devaient être soigneusement analysées.

Suivant la voie tracée par le plan stratégique, Météo-France a donc engagé deux démarches, l'une d'analyse technique et l'autre d'analyse réglementaire, pour examiner les conditions d'un déploiement de l'observation météorologique automatique sur les aéroports.

## Analyse technique

### L'observation classique sur les aéroports

Des capteurs classiques – et non spécifiques à l'aéronautique – sont utilisés pour la mesure de la température, de l'humidité, du vent et de la pression. Une instrumentation spéciale est employée pour mesurer la hauteur de la

## Les messages météo-aéronautiques

Un message **Metar** contient les observations météorologiques effectuées sur un aéroport et destinées à l'extérieur de l'aéroport. Il est utilisé par les usagers aéronautiques pour la planification des vols (pour connaître le temps qu'il fait sur l'aéroport de destination et les éventuels aéroports de décollage) et par les météorologistes pour le suivi des messages de prévision TAF. Le Metar est un message alphanumérique bien connu des usagers aéronautiques et dont la lecture est assez facile.

Les messages Metar sont émis toutes les heures et, souvent en Europe, toutes les demi-heures. En cas de franchissement de certains seuils, des messages spéciaux sont émis entre deux messages Metar réguliers : ce sont des messages **Speci**, dont le format est très proche. En Europe, la transmission de messages Metar semi-horaires dispense de l'émission de messages Speci et, donc, de la veille continue nécessaire de la part de l'observateur.

Avec les systèmes d'observation actuels, le codage du message Metar est élaboré par un ordinateur (appelé Caobs en France), mais l'observateur doit saisir les observations visuelles de la visibilité, des couches nuageuses et du temps présent. Lorsque ces observations sont effectuées automatiquement, le message porte le nom de **Metar Auto**. Le codage de Metar Auto semi-horaires dispense du codage de Speci Auto.

Exemples de Metar Auto pour l'aéroport fictif de Trappes, site de test du logiciel de codage :

- METAR TRAP 281300Z AUTO 20003KT 120V250 9999NDV VCTS FEW048/// BKN110/// /////CB 23/20 Q1010=
- METAR TRAP 290300Z AUTO 18004KT 140V220 5000NDV +RA FEW032/// SCT044/// BKN056/// /////TCU 16/15 Q1013=

Dans les couches nuageuses, le type de nuage n'est pas indiqué, sauf lorsque c'est un nuage de type convectif, potentiellement dangereux pour l'aviation. C'est le cas des cumulonimbus indiqués CB et des cumulus bourgeonnants indiqués TCU (pour Towering cumulus). Dans le premier exemple donné, la présence de cumulonimbus a été déterminée à partir des images radar et des données foudre. L'étendue et l'altitude de la couche nuageuse ne sont pas connues, ce qui explique le codage avec des /////.

Un message **TAF** est un message de prévision météorologique pour l'aéroport, couvrant une période pouvant aller de 6 à 24 heures. Le format du message TAF est proche de celui du Metar.

Les différences à la réglementation OACI sont déclarées dans une Circulaire d'information aéronautique (AIC), ce qui rend alors le service conforme aux règles de l'OACI (les écarts sont déclarés). En cas de problème ou d'écart ponctuel et temporaire, l'information est communiquée par un message spécifique appelé **Notam** (pour Notice to air men).

Sur l'aéroport de Nantes-Atlantique, Ronan Le Marec (Météo-France) prépare un message TAF à l'aide du logiciel approprié. (Photo Météo-France, J. Maury)



base des nuages, à savoir des **télé-mètres de nuages**, et pour mesurer la portée visuelle de piste, à savoir des **luminancemètres** et des **transmissomètres** ou des **diffusomètres** à diffusion latérale avant (voir l'annexe page 26). Ces instruments existent maintenant depuis des années et leur technique est bien maîtrisée par de nombreux industriels. Leurs performances sont reconnues, au point que les mesures instrumentales sont obligatoires pour certaines catégories d'aérodromes.

On recourt à l'observation visuelle humaine pour mesurer la visibilité, la couverture nuageuse (étendue et hauteur des couches nuageuses, type de nuages lorsqu'ils sont convectifs) et le **temps présent**<sup>(1)</sup>. L'observateur humain renseigne aussi les conditions météorologiques à proximité de l'aérodrome.

L'observation météorologique locale sur un aérodrome se traduit par deux types de messages, codifiés par l'OACI. Pour répondre aux besoins locaux de l'aérodrome, les observations doivent être représentatives des zones d'atterrissage et de décollage ; elles sont rafraîchies et diffusées toutes les minutes. Pour répondre aux besoins « distants », les observations doivent être représentatives de l'aérodrome et de son voisinage ; elles sont codées sous la forme de messages **Metar** et **Speci** (voir l'encadré page 19), à une fréquence horaire ou semi-horaire.

## L'automatisation de l'observation visuelle

Il existe des capteurs permettant d'accéder aux paramètres déterminés par l'observation visuelle. Le problème potentiel est que ces capteurs n'observent pas l'atmosphère de la même façon qu'un observateur humain. Celui-ci étant traditionnellement considéré comme une référence indiscutable, les performances des capteurs et de l'observation automatique sont souvent établies par comparaison à l'observation humaine. Cela conduit parfois à un jugement assez négatif sur les performances des systèmes automatiques et cela peut occulter la valeur réelle d'une observation automatique qui a ses caractéristiques propres. Il est donc préférable de juger les performances d'un système de mesure automatique en termes de service rendu à l'utilisateur.

(1) L'observation du temps présent recouvre l'observation de la présence de précipitations, de leur type et de leur intensité, celle de la présence de brouillard et celle de la présence d'orage.

On peut aussi mentionner l'existence prochaine d'un guide, édité par l'OACI, sur l'utilisation des systèmes météorologiques automatiques sur les aérodromes.

## L'observation de la visibilité

De nombreuses campagnes d'essais, dont une comparaison internationale organisée par l'OMM en 1988-1989 (Griggs et al., 1989), ont montré que les diffusomètres à diffusion latérale avant peuvent mesurer la **portée optique météorologique** (voir l'encadré ci-contre) de façon tout à fait correcte et répétitive sur la gamme de mesures utile pour l'aéronautique, c'est-à-dire de 50 à 10 000 mètres.

L'Annexe 3 de l'OACI et le guide OMM 731 décrivent les méthodes d'observation de la visibilité. L'observation humaine s'effectue depuis le point d'observation. Elle présente l'avantage de s'effectuer avec un tour d'horizon ; d'ailleurs, la valeur minimale de la visibilité suivant la direction doit être indiquée dans les messages Metar et Spec. Mais une observation depuis un point présente aussi des inconvénients : par exemple, si l'observateur est situé dans un banc de brouillard, il ne peut voir les conditions au-delà alors que son observation est censée être représentative de l'aérodrome ; inversement, s'il observe un banc de brouillard à 2 kilomètres dans la direction sud, il devra indiquer une visibilité de 2000S, alors que la visibilité au sud est nettement inférieure puisqu'il y a un banc de brouillard (figure 1).

La mesure instrumentale est ponctuelle et n'est donc représentative que de l'état de l'atmosphère à l'emplacement du capteur. Cela pose un problème en cas de visibilité non homogène sur l'aérodrome.

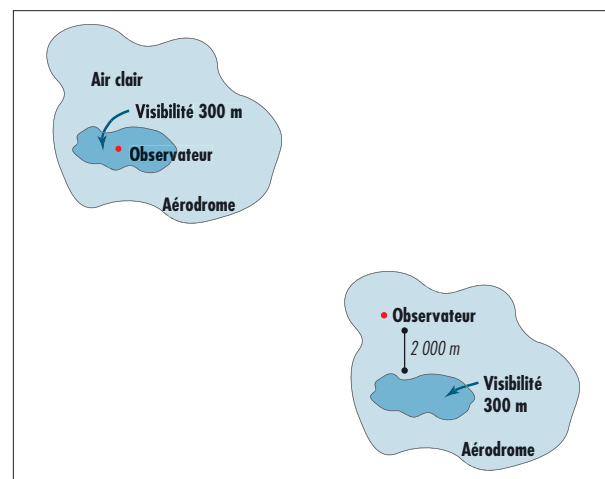


Figure 1 - Illustration de la difficulté pour un observateur de mesurer une visibilité représentative de l'aérodrome.

## La visibilité en aéronautique

Il existe, dans le domaine aéronautique, plusieurs notions permettant de caractériser la visibilité :

- La **portée optique météorologique** (POM) est définie par l'OMM comme le paramètre devant représenter la visibilité. C'est la distance à laquelle l'intensité d'un faisceau lumineux est atténuée par l'atmosphère à 5 % de son intensité d'origine. Cette définition ne dépend que de la transparence de l'atmosphère, est objective et équivalente, en moyenne, à la distance limite de la vision humaine de jour.

- La **portée visuelle de piste**, ou *Runway visual range* (RVR), est la meilleure estimation de la distance à laquelle le pilote voit les marques ou les lumières balisant la piste. Elle dépend de la transparence de l'atmosphère (la portée optique météorologique), de l'intensité des sources lumineuses (le balisage de la piste) et de la luminance de fond (mesurée par un luminancemètre). La portée visuelle de piste est définie par un système de formules : la loi d'Allard pour la vision des sources lumineuses et la loi de Koschmieder pour la vision par contraste.

- La **visibilité dominante** a été introduite en 2004 par l'OACI pour représenter au mieux la visibilité représentative de l'aérodrome. C'est la visibilité maximale qui couvre au moins 180 degrés du tour d'horizon d'un observateur ou la moitié de la surface de l'aérodrome. Un ensemble de capteurs peut donc être utilisé pour évaluer au mieux cette visibilité dominante. Celle-ci est codée dans les messages Metar et est complétée par la visibilité minimale, dans certaines conditions.

Par contre, la mesure instrumentale est beaucoup plus répétitive et objective que l'observation humaine. Actuellement, Météo-France n'utilise qu'un seul diffusomètre pour l'observation automatique de la visibilité. Mais la structure des systèmes sera prochainement adaptée pour exploiter les mesures de plusieurs capteurs, qui seront bientôt présents sur certains aérodromes équipés pour la **portée visuelle de**

**pisto**, après le remplacement prévu des transmissomètres par des diffusomètres. Cela permettra aussi de renseigner le mieux possible le nouveau paramètre de **visibilité dominante**.

L'expérience accumulée par Météo-France montre que, malgré son caractère ponctuel, l'observation automatique de la visibilité fournit une information très utile aux usagers.

### L'observation des couches nuageuses

Les algorithmes automatiques de détermination des couches nuageuses utilisés dans le monde reposent tous actuellement sur l'analyse d'une suite de détections d'un télémètre de nuages, sur une période de temps comprise entre 10 et 60 minutes. Météo-France utilise l'algorithme Asos développé par les États-Unis (Nadolski, 1998), qui analyse la suite des détections du télémètre sur une période de 30 minutes. Un poids double est donné aux dix dernières minutes pour favoriser la prise en compte rapide d'un changement. Le résultat est une série de couches nuageuses de nébulosité et de hauteur croissantes (figure 2). Les comparaisons avec l'observation humaine montrent un bon accord pour un ciel bien dégagé et pour un ciel complètement couvert. L'accord est moins bon pour un ciel partiellement nuageux : à la limite, un cumulus isolé stationnaire à la verticale du télémètre pourrait conduire à une indication automatique de ciel couvert. Mais, en pratique, un cumulus isolé est rarement stationnaire. Ce qui arrive plus souvent, c'est que des nuages isolés ne soient pas détectés automatiquement.

Lorsque plusieurs télémètres sont présents sur l'aérodrome, ils sont utilisés pour le calcul automatique des couches

nuageuses, mais l'expérience ne montre pas de différences significatives avec le résultat obtenu avec un seul télémètre.

Malgré ces limitations de principe, il ressort de l'expérience des pays pratiquant l'observation automatique que le calcul des couches nuageuses est considéré comme acceptable et tout à fait utile pour les usagers (Bradley et Lewis, 1998 ; OACI, 2003). Cette observation automatique est disponible en permanence, avec en particulier les mêmes caractéristiques de jour comme de nuit, ce qui n'est pas vraiment le cas pour l'observation humaine.

Une lacune importante est l'impossibilité actuelle de détecter et de renseigner la présence de nuages convectifs (indications CB et TCU). Des études sont en cours à Météo-France pour ajouter cette information à partir de l'analyse des images radar (détection de zones avec une réflectivité dépassant un certain seuil) et des données du réseau de détection de la foudre. Des tests préopérationnels ont été menés en 2005 et donnent de très bons résultats, qui vont conduire à une généralisation prochaine.

### L'observation du temps présent

Plusieurs types de **capteurs de temps présent** (figure 3) existent sur le marché depuis une dizaine d'années (Leroy et Zanghi, 2002), mais tous les types de temps présent requis ne peuvent à l'heure actuelle être observés automatiquement. Les capteurs détectent la présence de précipitations et sont capables d'en déterminer la nature liquide ou solide (pluie ou neige), mais ne sont pas capables de déterminer tous les genres d'hydrométéores. Ces capteurs sont presque toujours complétés de logiciels spécifiques de combinaison de don-

nées utilisant les autres paramètres mesurés – température, humidité, variations de visibilité, etc. (OACI, 2004a) –, ces logiciels servant aussi à valider ou à infirmer un diagnostic établi par le capteur de temps présent. C'est le cas à Météo-France. Par exemple, la bruine ne se produit qu'en présence de nuages

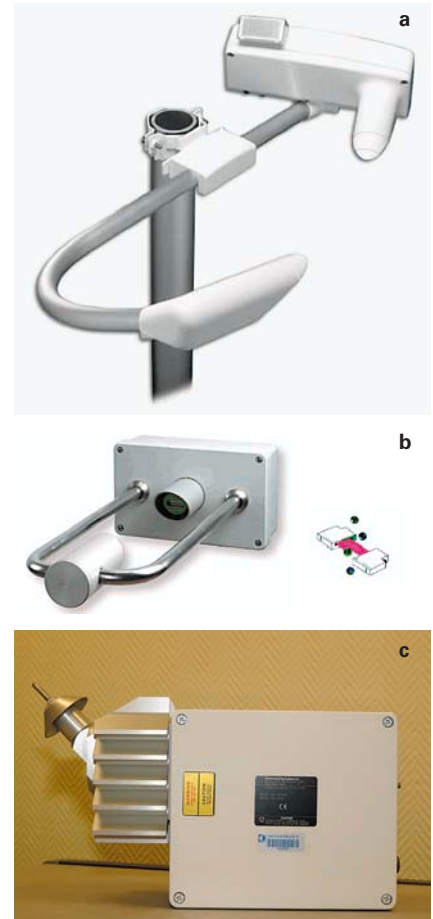
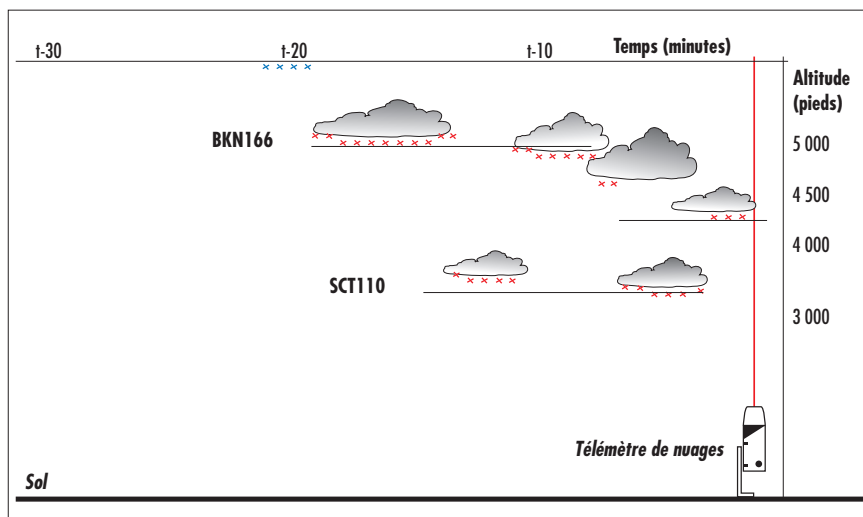


Figure 3 - Quelques capteurs de temps présent. a, le capteur Vaisala PWD22 : la partie diffusomètre détecte le passage de particules dans son volume optique et le capteur en déduit une « intensité optique ». Sur la partie droite, un détecteur de précipitations capacitif détecte la quantité d'eau déposée sur sa surface, d'où une « intensité liquide ». La neige se traduit par une intensité optique forte et une intensité liquide faible. C'est le contraire pour la pluie. b, le disdromètre Thies : le pinceau lumineux voit passer des particules. L'atténuation de la lumière est proportionnelle à la taille de la particule. La durée de l'atténuation dépend de sa vitesse de chute. L'analyse du passage de toutes les particules donne ainsi une distribution de taille et de vitesse qui est caractéristique du type de précipitations. c, le détecteur de givrage Rosemount : la fréquence de résonance d'une tige vibrante varie en présence de glace. La tige est chauffée périodiquement.

Figure 2 - Le télémètre de nuages détecte des impacts provenant de la base des nuages sur la période de 30 minutes. L'algorithme Asos classe et regroupe ces impacts en couches et leur attribue une « étendue » qui est fonction du rapport entre le nombre d'impacts dans la couche et le nombre de mesures du télémètre.

bas. Autre exemple, une isothermie à 0 °C, observée par une sonde de température non protégée par un abri, indique souvent la présence de neige fondante.

Des développements sont en cours pour compléter les types de temps présent que les capteurs peuvent détecter. Mais il est clair qu'un automate ne pourra pas tout renseigner. Cependant, il faut noter que tous les phénomènes météorologiques n'ont pas la même importance pour l'utilisateur aéronautique : il est plus important de détecter et d'identifier une précipitation congelante que de distinguer la neige de la neige en grains.

### Surveillance des conditions de Spec

La détection automatique des conditions donnant lieu à un message Spec est possible. L'expérience des États-Unis montre qu'une application stricte et objective des seuils de Spec conduit à un nombre de messages Spec émis automatiquement supérieur d'un facteur 3 au nombre émis par l'observation humaine (OACI,

Météo-France a résolu simplement ce problème en ne codant pas de messages Spec Auto, grâce au codage de messages Metar Auto semi-horaires. Dans ces conditions, le règlement de la région Europe de l'OACI autorise à ne pas coder de Spec.

## Analyse réglementaire et contextuelle

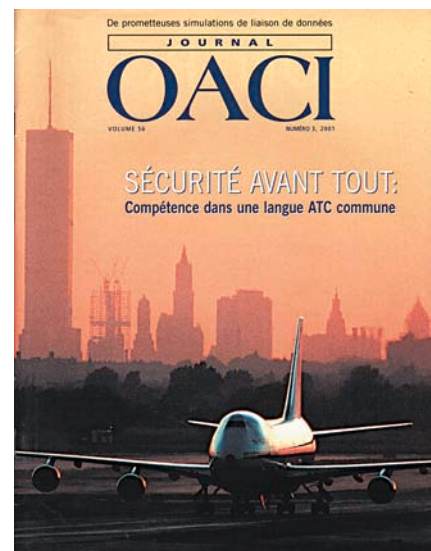
### La réglementation de l'OACI

Le service météorologique d'observation sur les aéroports est décrit de manière détaillée dans l'Annexe 3 de l'OACI. Cette annexe comporte :

- Des normes obligatoires que les États signataires de la Convention de Chicago s'engagent à appliquer, à moins, conformément à cette Convention, de notifier officiellement à l'OACI les différences que comportent leurs pratiques.

plification que ceux de l'OACI. C'est pourquoi l'analyse réglementaire réalisée par la France s'est surtout fondée sur les textes de l'OACI, plus stricts. Qui plus est, le fait de choisir les textes de l'OACI comme cadre allait ensuite faciliter la coordination avec les usagers aéronautiques, pour lesquels la référence à l'OACI est incontournable.

Outre l'Annexe 3, d'autres textes de l'OACI devaient être pris en compte : ce sont les Plans régionaux de navigation aérienne (ANP). Pour la France métropolitaine, l'ANP pour la région Europe devait être considéré. Pour la France d'outre-mer, il fallait bien entendu tenir compte des ANP régionaux pertinents.



L'OACI possède un journal.



Un capteur de temps présent sur l'aéroport de Dinard. (Photo Météo-France)

2004b). En effet, l'observateur anticipe ou filtre les observations pour éviter des Spec trop nombreux : imaginez l'aéroport de Roissy-Charles-de-Gaulle avec ses douze transmissomètres ou celui de Schiphol avec ses dix-sept points de mesure de la portée visuelle de piste ; chacun de ces capteurs peut franchir un seuil de Spec et l'ensemble pourrait donc générer un nombre important et inutile de messages Spec Auto.

- Des recommandations que l'OACI préconise, mais qui n'ont pas de caractère obligatoire.

On notera que, selon l'article 9 de la Convention de l'OMM, il en va en principe de même pour cette dernière organisation, mais la tradition de travailler par consensus y est plus développée et les textes de l'OMM laissent généralement de ce fait une plus grande souplesse d'ap-

L'analyse de ces textes, en regard de nos connaissances techniques, a révélé les limites suivantes en ce qui concerne l'automatisation de l'observation sur les aéroports :

- La visibilité mesurée automatiquement ne serait pas complètement conforme aux spécifications de l'Annexe 3, car les mesures instrumentales ne permettent aujourd'hui que de mesurer ce paramètre en un point donné, alors que la visibilité à communiquer aux usagers doit être représentative de l'aéroport.
- L'observation du temps présent était à la limite de la conformité, certains types de temps présent ne pouvant être observés ; mais la liste des types de temps à observer n'est qu'une recommandation et non une norme.
- L'observation de la couverture nuageuse pouvait présenter certaines imperfections, également liées au fait que l'observation automatique en est ponctuelle.
- Le signalement des nuages convectifs devenait impossible.



Maintenance d'un transmissomètre à Roissy.  
(Photo Météo-France, P. Taburet)

En revanche, les autres informations réclamées par les usagers aéronautiques (pression, vent, température, point de rosée, portée visuelle de piste) n'étaient pas affectées par l'automatisation, étant déjà mesurées automatiquement en France.

La question était donc : faut-il se passer complètement de certaines informations très utiles et disponibles sous prétexte que certaines autres ne répondent pas strictement aux normes réglementaires ? La réflexion sur cette question devait également tenir compte d'un autre aspect important : la norme imposée par l'OACI d'une « veille météorologique d'aérodrome continue » ainsi qu'« un suivi permanent » des prévisions météorologiques d'aérodrome (messages TAF), nécessitant de disposer d'observations. Or, cette veille et ce suivi continus sont un élément primordial de la sécurité météorologique de la navigation aérienne : en l'absence d'observations permanentes, la mise en œuvre de ce suivi était loin d'être conforme à la réglementation. Même incomplète, l'observation automatique permet d'assurer cette permanence.

Un autre aspect du sujet était la recommandation de conformité de l'assistance météorologique délivrée à la navigation aérienne aux normes ISO de gestion de la qualité (Annexe 3, paragraphes 2.2). L'application de cette norme imposait d'informer les usagers du fait que l'observation dont ils disposaient était une observation automatique. Heureusement, l'OMM avait déjà

introduit une telle éventualité dans le code Metar, puisqu'il est possible d'introduire dans ce message le mot Auto. Ainsi, l'utilisateur serait dûment informé.

## La réglementation française

Sans entrer dans le détail des textes français traitant, d'une manière ou d'une autre, de météorologie aéronautique, il faut savoir que de tels textes existent. Élaborés par l'administration en charge de la navigation aérienne, ils sont signés par les autorités ministérielles. Il convenait donc de les examiner pour vérifier que la mise en œuvre de l'observation automatique sur les aérodromes n'entraînerait pas de conflit avec ces textes, auquel cas il aurait fallu, soit trouver une solution technique appropriée pour résorber ce conflit, soit faire évoluer ces textes, ce qui n'aurait pas été immédiat.

L'analyse ainsi conduite a montré que les modalités techniques de fonctionnement de l'observation automatique sur les aérodromes n'entraient pas en conflit avec ces textes.



La Direction générale de l'aviation civile (DGAC) française vient tout juste de se réorganiser.

## La concertation avec les usagers aéronautiques

Selon les textes de loi français qui officialisent les fonctions du service météorologique français, Météo-France est, selon les termes de l'Annexe 3 de l'OACI, paragraphe 2.1.4, « l'administration météorologique désignée par la France pour procurer ou faire procurer

l'assistance météorologique à la navigation aérienne internationale ». Cela confère indéniablement une autorité en la matière<sup>(1)</sup> et on aurait pu imaginer que, fort de cette autorité conférée par la législation, Météo-France décide unilatéralement de mettre en œuvre l'observation automatique sur les aérodromes. Dans le contexte français d'esprit « gaulois », il ne fait cependant pas de doute qu'une telle attitude n'aurait pu qu'entraîner un rejet pur et simple de cette automatisation par les usagers, et aurait été la source de nombreux conflits. Par ailleurs, nous avons pu tirer profit, lors d'échanges informels avec certains pays, d'expériences malheureuses ayant montré que, sans une étroite concertation avec les usagers, l'automatisation de l'observation sur les aérodromes se heurtait à de fortes réticences. Météo-France a donc choisi la voie de la concertation, pas toujours aisée, mais finalement plus productive à terme.

Après l'analyse réglementaire décrite plus haut, Météo-France a donc engagé, en étroite concertation avec les usagers des aérodromes concernés (contrôleurs, gestionnaires d'aérodrome, représentants de compagnies aériennes opérant sur l'aérodrome et pilotes y évoluant), un petit nombre d'expériences pilotes d'automatisation de l'observation.

Le premier site choisi a été un aérodrome de l'est de la France, Metz-Nancy-Lorraine. Sur cet aérodrome, il faut le reconnaître, l'observation



L'aéroport de Metz-Nancy-Lorraine.  
(Photo Météo-France, S. Kluska)

(1) Depuis l'entrée en vigueur du Règlement européen du Ciel unique (1<sup>er</sup> janvier 2005), cette autorité est désormais dévolue à la Direction des affaires stratégiques et techniques de la Direction générale de l'aviation civile (DGAC), Météo-France ayant le statut de prestataire de service météorologique à la navigation aérienne.

humaine, sous-traitée, était particulièrement de piètre qualité, car irrégulière (en violation de l'Annexe 3, paragraphe 4.1.3) et effectuée en concurrence avec d'autres tâches plus prioritaires. La proposition de produire à Metz-Nancy-Lorraine des observations régulières (toutes les trente minutes), permanentes et d'une qualité constante, avec néan-

vols dans de bien meilleures conditions.

- Aucun phénomène météorologique affectant l'exploitation de la navigation aérienne n'a échappé à l'observation automatique.
- Aucun changement significatif de la qualité intrinsèque des messages TAF de Metz-Nancy-Lorraine n'a été décelé suite à l'automatisation de l'observation.



L'assemblée plénière annuelle du Conseil supérieur de la météorologie. (Photo Météo-France)

moins les restrictions décrites plus haut, a immédiatement retenu l'attention de tous les usagers auxquels le projet a été présenté.

En outre, la situation du terrain se prêtait particulièrement bien à l'expérience : un relief faible, l'absence d'hétérogénéités marquées des paramètres météorologiques sur l'aérodrome et ses environs (au sens de l'Annexe 3 de l'OACI) et, surtout, la présence dans un rayon de quelques dizaines de kilomètres d'autres stations météorologiques permettant éventuellement de recouper facilement les observations automatiques de Metz-Nancy-Lorraine pour en vérifier la cohérence. Ce recoupement était réalisé par un observateur humain opérant dans la station météorologique de rattachement, en l'occurrence la station de Nancy-Essey.

Une fois les concertations réalisées et les moyens et procédures définis et mis en place, Metz-Nancy-Lorraine est passé en mode automatique le 1<sup>er</sup> avril 2001. Compte tenu du caractère limité de cette expérience, seul un message Notam annonçant ce changement a été publié pour informer officiellement les usagers de Metz-Nancy-Lorraine de ces nouvelles dispositions.

Ce premier essai s'est montré concluant et les résultats espérés ont été atteints :

- Les usagers se sont déclarés très satisfaits de la qualité et de l'abondance des informations mises à leur disposition, qui leur ont permis une planification des

La question a alors été présentée à l'instance nationale officielle de concertation avec les usagers, le Conseil supérieur de la météorologie (CSM), placé sous l'autorité du ministre de tutelle de la météorologie. Reconnaisant l'amélioration du service rendu, le CSM s'est prononcé en faveur de la production et de la fourniture du plus grand

nombre d'informations possible et a approuvé la démarche d'information des usagers conduite par Météo-France.

### L'accompagnement de la mise en œuvre de l'observation automatique

À la suite des analyses précédentes, Météo-France a décidé, en concertation avec les usagers et les autorités de la navigation aérienne, de mettre en exploitation l'observation météorologique automatique sur les aérodromes. Pour ce faire, les démarches suivantes ont été engagées :

- Une notification officielle des écarts à l'Annexe 3 a été adressée à l'OACI à travers les autorités nationales de navigation aérienne, qui sont le contact technique convenu entre l'OACI et l'administration française.
- Le Service d'information aéronautique (SIA) français a publié une circulaire d'information aéronautique, disponible sur le site Web du SIA aux adresses [www.sia.aviation-civile.gouv.fr/dossier/aicfrancea/AIC\_A\_2002\_10\_FR.pdf] (en français) et [www.sia.aviation-civile.gouv.fr/dossier/aicfrancea/AIC\_A\_2002\_10\_EN.pdf] (en anglais).
- Météo-France, sur son propre site Web aéronautique, a mis en ligne des informations sur les caractéristiques de l'observation automatique.
- Un mode opératoire de mise en production des observations automatiques sur les aérodromes a été rédigé à l'in-

tenion des services techniques de Météo-France ; ce mode opératoire a été présenté à la réunion du groupe de météorologie pour la région Europe de l'OACI en septembre 2003.

Bien entendu, une étroite coordination avec les autorités de navigation aérienne et les usagers a continué d'être assurée, tant au niveau local qu'au niveau des directions.

### L'élargissement de l'expérience acquise

Fort de cette expérience, Météo-France a poursuivi son action et sa réflexion dans le sens indiqué par son plan stratégique pour étendre l'observation automatique sur les aérodromes. Mais très rapidement, cette réflexion a révélé un problème réglementaire.

Dans la description de l'assistance météorologique à la navigation aérienne, l'Annexe 3 de l'OACI n'envisage qu'un service « tout ou rien », c'est-à-dire l'obligation de fournir un service complet respectant totalement les normes. La rédaction de ces spécifications de l'Annexe 3 est relativement ancienne et date d'une époque où il était fait peu de cas du coût du service demandé à la météorologie, service qui allait de soi. Aujourd'hui, la question des coûts météorologiques donne lieu à d'âpres débats et il arrive parfois que le fournisseur du service météorologique se retrouve entre enclume et marteau, à savoir entre des usagers aéronautiques (les pilotes) qui veulent un service immédiat, complet, totalement fiable et strictement conforme aux normes et d'autres usagers aéronautiques (par exemple, les directeurs financiers des compagnies aériennes) dont la première préoccupation est la réduction des coûts météorologiques<sup>(1)</sup>.

Il se trouve que la France métropolitaine comporte plus de cent aérodromes ouverts à la circulation aérienne publique internationale, dont soixante-quatre étaient soumis à l'époque à redevance de navigation aérienne<sup>(2)</sup>, le trafic trop faible des autres ne générant pas de ressources suffisantes vis-à-vis du coût du recouvrement. Le trafic traité par ces aérodromes va d'un très

(1) Ces coûts météorologiques représentent pourtant une très faible part des coûts de navigation aérienne, même dans les pays ayant adopté la politique d'une facturation au coût complet.

(2) La DGAC publie chaque année au Journal Officiel la liste de ces aérodromes ; on en compte 62 en 2005.

petit nombre de vols quotidiens à des dizaines de millions de passagers par an, comme à Roissy-Charles-de-Gaulle. Le bon sens a conduit rapidement à s'interroger sur la meilleure manière de rendre le service météorologique sur ces différents aérodromes, sans compromettre la sécurité météorologique de l'exploitation aérienne, mais en tenant compte d'un certain optimum économique. On ne peut manquer d'observer que de telles dispositions, tenant compte des réalités économiques, existent dans le domaine du contrôle aérien et dans les annexes correspondantes de l'OACI. La question se pose donc naturellement : une fois notifiée à l'OACI la différence relative à la mise en œuvre de l'observation automatique sur les aérodromes, pourquoi ne pas envisager des niveaux de service différents pour le service météorologique d'aérodrome ?

## Les niveaux de service

C'est dans cette voie que la réflexion a été poursuivie, toujours en concertation avec les autorités françaises de navigation aérienne et les usagers, dont on soulignera l'ouverture à la recherche d'une optimisation économique dans le respect des règles de sécurité.

Météo-France et les autorités de navigation aérienne ont convenu en mai 2003 de retenir en France trois niveaux de service d'observation météorologique sur les aérodromes, faisant plus ou moins appel à l'observation automatique :

- Le niveau Metobs1 : niveau de service où l'observation reste très largement confiée à l'homme, sauf éventuellement pendant de courtes périodes pendant lesquelles elle est automatique ; pendant ces périodes, l'observation humaine peut être réactivée dans un très court délai (30 minutes maximum).
- Le niveau Metobs2 : combinaison d'observation humaine aux heures d'activité aérienne notable et d'observation automatique aux autres heures (en général, la nuit).
- Le niveau Metobs3 : observation entièrement automatique.

Bien entendu, quel que soit le niveau de service, la situation météorologique est continuellement suivie à distance pendant les périodes d'observation automatique, en général par le Centre

de veille météorologique de la *Flight Information Region* (FIR) où se trouve l'aérodrome concerné.

Météo-France et les autorités de navigation aérienne ont convenu d'examiner aérodrome par aérodrome, en étroite concertation avec leurs usagers et leurs gestionnaires, le déploiement de ces niveaux de service. Cette redéfinition complète du niveau de service d'observation d'aérodrome a été menée en 2004 et a abouti à une liste de référence de 69 aérodromes, pour lesquels le niveau de service a été défini entre Metobs1 et Metobs3. 63 aérodromes émettront des Metar Auto pendant une partie du jour, dont 21 aérodromes 24 heures sur 24 (niveau Metobs3). Compte tenu des caractéristiques climatologiques et orographiques de leur site, une étude préalable est nécessaire à Colmar-Houssen, Calvi et Cannes. Enfin, il n'est pas prévu de Metar Auto à Roissy-Charles-de-Gaulle, Nice et Ajaccio (niveau Metobs1 sans période d'observation automatique).

## La situation fin 2005

En plus des capteurs classiques, le codage de messages Metar Auto nécessite la présence d'au moins un télémètre de nuages, un visibilimètre et un capteur de temps présent. Presque tous les sites aéronautiques sont déjà équipés d'un télémètre, beaucoup d'un diffusomètre. Avant d'activer le codage du Metar Auto (et de l'observation locale automatique, Obsmet Auto), il est donc nécessaire d'installer un capteur de temps présent. Le capteur retenu par Météo-France, le Vaisala PWD22, mesure aussi la visibilité. La Direction des systèmes d'observation de Météo-France a validé cette mesure de visibilité pour les besoins aéronautiques. L'installation de ce capteur de temps présent est donc nécessaire avant l'activation de l'observation automatique, avec une information préalable des autorités locales. En novembre 2005, plus de quarante capteurs PWD22 sont installés et trente-sept sites émettent régulièrement des Metar Auto<sup>(1)</sup>.

L'objectif est que les soixante-trois sites prévus puissent émettre des Metar Auto avant la fin 2006. Au cours de l'année 2006, le codage de la présence de nuages convectifs et d'orages sera ajouté de façon automatique à partir de

l'analyse centrale des données du réseau radar et du réseau foudre. Les principes et la technique permettant un tel ajout seront décrits dans un article spécifique, à paraître. La France sera alors le premier pays à produire des messages d'observation automatique aussi complets.

Outre-mer, deux aérodromes ont été équipés : Bora-Bora en Polynésie française et Lifou en Nouvelle-Calédonie (à l'aide de crédits territoriaux). Sur son budget, Météo-France équipera trois sites d'outre-mer en 2006 et les territoires de Polynésie française et de Nouvelle-Calédonie ont des projets ambitieux d'équipement pour une vingtaine d'aérodromes.

## Conclusion

L'expérience acquise par plusieurs pays montre que le déploiement de l'observation météorologique automatique sur les aérodromes, sans offrir pour le moment toute la souplesse de l'observation humaine, ouvre des voies nouvelles d'amélioration du service rendu à l'utilisateur. C'est en particulier le cas dans les conditions socio-économiques et techniques de la France métropolitaine. L'extension de cette expérience à d'autres contextes ainsi que son partage, notamment avec les pays en développement, mériterait d'être examinée.

En outre, il ne fait pas de doute que la réglementation évoluera en ce qui concerne l'observation automatique sur les aérodromes et sa mise en œuvre opérationnelle.

L'amendement 73 de l'Annexe 3 de l'OACI, entré en vigueur le 25 novembre 2004, introduit l'observation météorologique automatique sur les

La 35<sup>e</sup> session de l'assemblée de l'OACI s'est tenue à Montréal (Canada) du 28 septembre au 8 octobre 2004. (© OACI)



(1) La liste de ces sites, régulièrement mise à jour, figure dans la Publication d'information aéronautique du SIA à l'adresse [[www.sia.aviation-civile.gouv.fr/aip/enligne/METROPOLE/AIP/GEN/3/AIP%20FRANCE%20GEN%203.5.pdf](http://www.sia.aviation-civile.gouv.fr/aip/enligne/METROPOLE/AIP/GEN/3/AIP%20FRANCE%20GEN%203.5.pdf)].

aérodromes, mais, pour le moment, seulement en dehors des heures d'ouverture de l'aérodrome. L'introduction de l'observation automatique pendant les heures d'ouverture est à l'étude pour l'amendement 74 (à paraître en novembre 2007). Les auteurs de cet article jouent d'ailleurs un rôle actif dans l'évolution de l'Annexe 3 de l'OACI, en tant que participants à un groupe d'experts de l'OACI, le AMOSSG<sup>(1)</sup>.

D'autres résolutions prises à une récente réunion météorologique de l'OACI (Montréal, septembre 2002) vont dans le même sens. Cette réunion a également retenu le principe d'étudier des niveaux de service en météorologie, sujet étroitement lié au précédent. La réflexion se poursuit donc et l'OMM sera amenée à contribuer à cette évolution par son expertise technique du domaine de la météorologie et de l'observation météorologique. Ce qui est certain, c'est que

cette évolution devra continuer à se faire en étroite concertation avec les usagers de la météorologie aéronautique, même si l'on sait aujourd'hui que les expériences de plusieurs pays pionniers de l'observation météorologique automatique sur les aérodromes se recourent complètement, ce qui facilitera cette évolution.

(1) AMOSSG : Aerodrome Meteorological Observing System Study Group.

## Les instruments météorologiques spécifiques à l'aéronautique

### LE TÉLÉMÈTRE DE NUAGES



Cet instrument est un lidar simplifié. Une diode laser émet une impulsion lumineuse vers le zénith. Une partie de la lumière est rétrodiffusée par les différentes couches de l'atmosphère rencontrées. Dans le même appareil, une optique de réception mesure le signal retour, dans des portes temporelles successives correspondant à des tranches d'altitude croissante (le délai de retour est donné par la distance aller-retour divisée par la vitesse de la lumière). La résolution en altitude est de l'ordre de 10 mètres. Le profil du signal rétrodiffusé présente une augmentation brusque dans la zone correspondant à la base des nuages. Pour éviter un risque pour l'œil, l'intensité de l'impulsion laser est limitée et le rapport signal sur bruit est donc très faible. Aussi les signaux correspondant à de nombreux tirs laser sont-ils moyennés par l'instrument, qui fournit une mesure de hauteur de la base des nuages avec une périodicité comprise entre 15 et 60 secondes.

Le télémètre de nuages Vaisala CT25K.

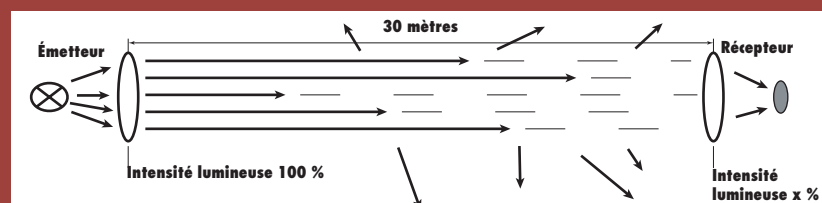
### LE TRANSMISSOMÈTRE



Cet instrument mesure directement l'atténuation d'un faisceau lumineux entre un émetteur et un récepteur distants de 30 mètres (figure 4). Cette distance est appelée la base du transmissomètre. Elle détermine la gamme de mesure de l'appareil (en portée optique météorologique) : pour les très faibles visibilité (inférieures à 20 mètres), le signal lumineux est trop atténué pour être mesuré précisément. Pour les visibilité supérieures à 1 500 mètres, le signal n'est pas assez atténué et l'influence de l'incertitude de mesure et d'éventuelles salissures de l'optique devient prépondérante. Pour assurer une bonne précision, le signal reçu est asservi au signal émis à l'aide d'une fibre optique qui transmet une portion de la lumière émise par la lampe. L'alignement optique doit être strictement respecté et l'optique régulièrement nettoyée. Les caractéristiques d'émission de la lampe doivent rester stables dans le temps, ce qui nécessite son changement régulier. Les contraintes et le prix de l'instrument sont donc élevés. Mais jusqu'en 2001, le transmissomètre était le seul instrument mentionné par l'Annexe 3 de l'OACI pour la mesure de la transparence de l'air nécessaire au calcul de la portée visuelle de piste. Un transmissomètre bien entretenu demeure un instrument de référence pour la mesure de la visibilité, car son principe donne directement accès au coefficient d'atténuation, dont dépend la portée optique météorologique.

Un transmissomètre avec son émetteur et son récepteur. (Photo Météo-France)

Figure 4 - Schéma de principe du fonctionnement d'un transmissomètre.



## LE DIFFUSOMÈTRE

Une partie de la lumière provenant d'un émetteur est diffusée par un petit volume d'air situé entre l'émetteur et le récepteur (figure 5). L'instrument mesure cette lumière diffusée. La diffusion latérale avant, dans un angle voisin de 40 degrés, est utilisée, car elle est peu sensible à la nature des particules diffusantes. Le coefficient de diffusion mesuré est proportionnel au coefficient d'atténuation. La mesure est donc indirecte, et potentiellement moins précise que celle d'un transmissomètre. Toutefois, elle est moins sensible aux salissures des optiques et se révèle donc de qualité opérationnelle équivalente.

Le diffusomètre possède plusieurs avantages par rapport au transmissomètre :

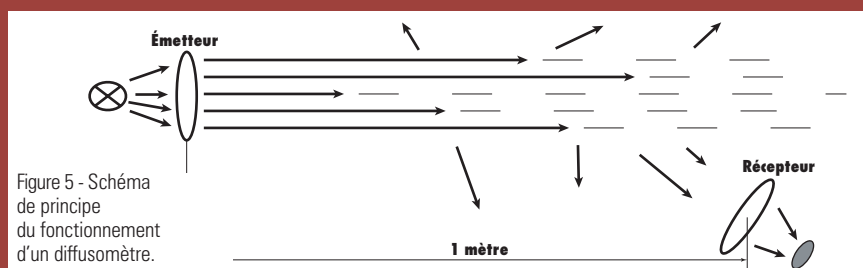
- il est monobloc, la distance entre l'émetteur et le récepteur étant de l'ordre d'un mètre ;
- sa gamme de mesure est très étendue (de 10 mètres à plus de 10 km, voire souvent 50 km) et il peut donc servir à la fois à la mesure de la visibilité et au calcul de la portée visuelle de piste ;
- les contraintes d'entretien sont moindres ;
- son coût est très inférieur.

En 2006 et 2007, Météo-France va donc remplacer les transmissomètres installés par des diffusomètres.

En revanche, le diffusomètre nécessite un système d'étalonnage (par plaque diffusante) soigneusement maîtrisé, avec des étalonnages des plaques sur des instruments témoins. Il est nécessaire de comparer constamment l'étalonnage du diffusomètre témoin à au moins un transmissomètre de référence. La Direction des systèmes d'observation (DSO) possède à Trappes un tel transmissomètre et organise ces étalonnages.



Le diffusomètre Degréane DF20. En arrière-plan, la tour radar de Trappes. (Photo Météo-France, P. Taburet)



## LE LUMINANCEMÈTRE



Cet instrument mesure la luminance du fond du ciel. Il est dirigé vers le nord, pour éviter l'éblouissement dû au Soleil. La luminance est mesurée en candelas (Cd), entre 10 et 20 000 Cd. La luminance est nécessaire au calcul de la portée visuelle de piste et de la visibilité prenant en compte des sources lumineuses. Pour l'aéronautique, le luminancemètre est toujours associé à un transmissomètre ou à un diffusomètre.

Le luminancemètre dirigé vers le ciel, juste au-dessus du transmissomètre. (Photo Météo-France, P. Taburet)

## Bibliographie

- **Bradley J. T. et R. Lewis**, 1998 : Comparability of ASOS and human observations. 14th International conference on interactive information systems, American Meteorological Society, Boston, États-Unis.
- **Griggs D. J., D. W. Jones, M. Ouldrige et W. R. Sparks**, 1989 : First WMO international intercomparison of visibility measurements. Rapport WMO TD-401, Organisation météorologique mondiale, Genève, Suisse.
- **Leroy M. et F. Zanghi**, 2002 : L'offre actuelle en capteurs de temps présent. *La Météorologie* 8<sup>e</sup> série, 39, 65-70.
- **Nadolski V. L.**, 1998 : Asos program update. Preprints of 14th International conference on interactive information and processing systems for meteorology, oceanography and hydrology, 11-16 janvier 1998, Phoenix, Arizona, États-Unis. American Meteorological Society, Boston, p. 175-177.
- **OACI**, 2003 : Aerodrome meteorological observing systems study group. Summary of discussions of the fourth meeting, Montréal, 15-18 septembre 2003 [[www.icao.int/anb/sg/amoss/Report/amoss4-SoD.pdf](http://www.icao.int/anb/sg/amoss/Report/amoss4-SoD.pdf)].
- **OACI**, 2004a : Manual on automatic meteorological observing systems at aerodromes (Doc 9837), chapitre 6 [[www.icao.int/anb/SG/AMOSS/manual/chap6.pdf](http://www.icao.int/anb/SG/AMOSS/manual/chap6.pdf)].
- **OACI**, 2004b : Manual on automatic meteorological observing systems at aerodromes (Doc 9837), chapitre 11 [[www.icao.int/anb/SG/AMOSS/manual/chap11.pdf](http://www.icao.int/anb/SG/AMOSS/manual/chap11.pdf)].